



TMMOB Kimya Mühendisleri Odası

Ankara Şubesi



TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası

Ankara Şubesi

Uluslararası Yapılarda Kimyasal Katkılar 5. Sempozyumu ve Sergisi

**Chemical Admixtures on Structures
5th International Symposium and Exhibition**

Bildiriler Kitabı

Proceedings

19-20 Ekim/October 2017

Ankara

Uluslararası Yapılarda Kimyasal

Katkılar 5. Sempozyumu ve Sergisi

Chemical Admixtures on Structures 5th International Symposium and Exhibition

19-20 Ekim/October 2017

Ankara

ISBN: 978-605-01-1074-6

İletişim/Contact



TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası

Ankara Şubesi

Necatibey Cad. No: 57/Kızılay/ANKARA

Tel: +90 312 294 30 62 • Fax: +90 312 294 30 77

e-mail: imoankara@imoankara.org.tr

www.imoankara.org.tr



TMMOB Kimya Mühendisleri Odası

Ankara Şubesi

Karanfil Sok. No: 19/5 Kızılay/ANKARA

Tel: +90 312 418 20 51-419 92 61 • Fax: +90 312 418 16 54

e-mail: ankara@kmo.org.tr • kimyamuhoda@yahoo.com

www.kmo.org.tr

Tasarım - Baskı

Ses Reklam ve Matbaacılık Ltd. Şti.

Ayten Sok. 28/7 Tandoğan/ANKARA

Tel: +90 312 215 62 00 • Fax: +90 312 215 61 81

ses@sesreklam.net • www.sesreklam.net

DESTEKLEYEN KURULUŞLAR

Ana Sponsor



Destekleyen Kuruluş



09:00 - 09:30 Kayıt / Registration
 09:30 - 10:00 Açılış Konuşmaları / Opening Speeches
 10:00 - 11:00 Sergi Açılışı / Opening of the Exhibition
 11:00 - 11:30 AÇILIŞ KONUŞMASI / Keynote Speech

Microstructural Evaluation of Admixture Incorporating Cementitious Systems
 Doç.Dr.Oğuzhan ÇOPUROĞLU Delft University of Technology

11:30 - 13:00 **1. OTURUM / First Session**
 Oturum Başkanı / Session Chair: Prof. Dr. İ. Özgür YAMAN

Çimento-Katkı Uyumu Açısından Silis Dumanı ve Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Bileşik Etkisi
Combined Effect of Silica Fume and Superplasticizer Admixtures in Relation
with the Aspects of Cement-Admixture Compatability
 Şakir ERDOĞDU, Şirin KURBETÇİ, Ufuk KANDİL, Memduh NAS, Safa NAYIR

TEA ve TİPA İlaveli Sıcak Hava Dökümü İçin Uygun Modifiye Süperakışkanlaştırıcıların Çimento Harcının Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi
The Effect of Tea and TIPA Added Chemical Admixtures for Hot Weather Concreting on Compressive Strength of Mortars
 Kadir KILINÇ, Saadet Gökçe GÖK, Safiye GÜNDOĞAN

Polikarboksilat-Esaslı Su Azaltıcı Katkının Anyonik Monomer Değişiminin Çimento Hamuru ve Harç Karışımlarının Taze Hal Özelliklerine Etkisi
Effect of Polycarboxylate Based Water Reducing Admixture Anionic Monomer Change on the Fresh State Properties of Cement Paste and Mortar Mixtures
 Ali MARDANI-AGHABAGLOU, Tolga KAPTİ, Süleyman ÖZEN, Muhammet Gökhan ALTUN, Ece GEVEN, Ali NEMATZADEH, Kambiz RAMYAR, Uğur Başak ÖZTÜRK

The Applications of Cross-Linked Polymers as Superplasticisers in Cement Pastes
 Gülce ŞENTÜRK GÜZEY, S.Gamze ERZENGIN, Ebru CENGİZ, Sibel SELEK

Beton Kimyasal Katkılarında Kimyasal Analiz Sonuçlarının Belirsizlik Hesap Parametrelerinin Belirlenmesi ve İstatistiki Açından Değerlendirilmesi
Determination and Statistical Evaluation of Uncertainty Calculation Parameters of Chemical Analysis Results on Admixtures
 Havva Yıldız ÖZGÜL, Nazlı AYYILDIZ TURAN

13:00 - 14:00 Yemek / Lunch

14:00 - 15:30 **2. OTURUM / Second Session**
 Oturum Başkanı / Session Chair: Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU

Hiper Akışkanlaştırıcı Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonun Segregasyon Özellikleri
Segregation Properties of Hyper Plasticizer Containing Self-Compacting Concrete
 H.Süleyman GÖKÇE, Özge ANDIÇ ÇAKIR

Rheological Approach of Ready Mixed Concrete with Different PCE Admixtures: Comparison of Workability Between Mortar Paste and Concrete Mix
 Passalacqua Danilo, Surico Francesco, Stefano Carrà, Fabio Curto

Sürdürülebilir Yapılar İçin Beton Katkılarında Çevresel Ürün Beyanları
Environmental Product Declarations in Concrete Admixtures for Sustainable Constructions
 Alev ÇANKAYALI

Efficiency of Shrinkage-Reducing Admixtures in Reducing Autogenous Shrinkage of UHPC Containing Mineral Admixtures
 Çağlar YALÇINKAYA, Halit YAZICI

Influence of GGBFS on Autogenous Shrinkage and Rheology of UHPC Paste with PCE Based Superplasticiser
 Çağlar YALÇINKAYA, H.Murat TANARSLAN, Halit YAZICI

15:30 - 16:00

Ara / Break

16:00 - 17:30

3. OTURUM / Third Session

Oturum Başkanı / Session Chair: Prof. Dr. Kambiz RAMYAR

Akışkanlaştırıcı Özellikleri ve Çimento Sıcaklığının Harç Özelliklerine Etkileri

Effects of Plasticizer Properties and Cement Temperature on the Mortar Characteristics

Gökhan KAPLAN, M.Uğur YILMAZOĞLU, Selçuk MEMİŞ, İ.Gamze MÜTEVELLİ ÖZKAN, Hasbi YAPRAK

Kâgir Blok Harcı Üretiminde Yeni Bir Katkı Maddesinin Performansa Etkisi

Performance Effect on a New Additive Material in Production of Masonry Block Mortar

Lütfullah GÜNDÜZ, Serhat SONUGELEN

Donma-Çözölmeye Maruz Kalan Mineral ve Antifriz Katkılı Harçların Özelliklerinin İncelenmesi

Influence of Antifreeze Additives in Mineral Additive Mortars Subjected to Freeze-Thaw

Fatma KARAGÖL, Rıza POLAT, Yeşim TOSUN

Gevşek Yapı Zeminlerinin ve Zayıf Yapıların Ko-polimer Uçucu Kül ile Çimentolanması ve Güçlendirilmesi

Şırnak Kentsel Dönüşüm Yapılandırma

Co-Polymer-Fly Ash Cementing for Weak Foundations and Weak Constructions

The Case for Şırnak Urban Reconstruction

Yıldırım İsmail TOSUN

FT-IR Spektroskopisinin Kantitatif Değişimlere Karşı Duyarlılığının İncelenmesi

Examining the FTIR Spectroscopy's Sensitivity to Quantitative Changes

Uğur Erşen ŞENBİL, Kemal KÖSEOĞLU

October 19th 2017, Thursday

09.00 - 10.30

4. OTURUM / Fourth Session

Oturum Başkanı / Session Chair: Prof. Dr. Mustafa TOKYAY

Yeni Nesil Kompozit Harçlarda Polimer Kullanımları Üzerine Bir İnceleme
An Investigation on Polymer Uses in New Generation Composite Mortars

Şevket Onur KALKAN, Lütfullah GÜNDÜZ

Hafif Agregalı Kompozit Harçların Hidrofobluk Özelliğinin Geliştirilmesinde Biopolimer Katkı Kullanımı Üzerine Bir İnceleme

An Analysis on the Use of Biopolymer Contribution in the Development of Hydrophobic Properties of Lightweight Aggregated Composite Mortars

Şevket Onur KALKAN, Lütfullah GÜNDÜZ

Selüloz Türevi Viskozite Düzenleyici Katkıların Çimento Harcı Taze ve Sertleşmiş Özelliklerine Etkileri
The Effects of Cellulose Derivative Viscosity Modifying Admixtures on Fresh and Hardened Properties of Cement Mortar

Ercan BOZKURT, Eren GÖDEK, Burak FELEKOĞLU

Potasyum Humat İlaveli Kimyasal Katkıların ve Polikarboksilat Esaslı Katkıların Kirli Agregalar ile Kullanımı

The Use of Potassium Humate Added Chemical Admixtures and Polycarboxylate Based Admixtures with Clay-Bearing Aggregates

Saadet Gökçe GÖK, Kadir KILINÇ, Safiye GÜNDOĞAN

Farklı Su İtici Ajanların İnorganik Bağlı Lifli Kompozit Levhalarda Hidrofobik Özelliğe Etkisi

The Effect of Different Water Repellent Agents on Hydrophobicity of Fiber Reinforced Inorganic Binder Based Composite Boards

Lütfullah GÜNDÜZ, Şevket Onur KALKAN, A.Münir İSKER, Bengi GÜRELİ, Sibel HACIOĞLU

11.00 - 12:30

5. OTURUM / Fifth Session

Oturum Başkanı / Session Chair: Prof. Dr. Halit YAZICI

NaOH ile Aktifleştirilen Sugözü Uçucu Küllü Geopolimerlerin Mekanik Özellikleri

Mechanical Properties of Sodium Hydroxide-Activated Sugozu Fly Ash Geopolymers

İsmail İsa ATABEY, Okan KARAHAN, Cahit BİLİM, Cengiz Duran ATİŞ

Riyolit Mineralinin Puzolanik Özellik ve Basınç Dayanımı Açısından Uçucu Kül ile Karşılaştırılması

Comparison of Pozzolanic Properties and Compressive Strength of Rhyolite Mineral with Fly Ash

Şakir ERDOĞDU, İlker USTABAŞ, V.Alperen BAKİ

İnce Öğütülmüş Pomzanın Hava Sürüklenmiş Taze Beton Özelliklerine Etkisi

The Effect of Fine-Ground Pumice on Air-Entrained Fresh Concrete Properties

Fatih ÖZCAN, Mehmet Emin KOÇ

Alkali Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürufllu Harçların Dayanım Özellikleri

Strength Properties of Alkaline Activated Blast Furnace Slag Mortars

Cengiz Duran ATİŞ, Cahit BİLİM, Şinasi BİNGÖL, Okan KARAHAN

İki Farklı Doğal Zeolitin Portland Çimentosu Hidratasyon Isısına Etkileri

Effects of Two Different Natural Zeolites on Heat of Hydration of Portland Cement

Yasemin AKGÜN, Ömer Fatih YAZICIOĞLU

12.30 - 13.30

Yemek / Lunch

13.30 - 15.00

6. OTURUM / Sixth Session

Oturum Başkanı / Session Chair : Doç. Dr. Özge ANDIÇ ÇAKIR

Kirli Agregalar İle Üretilen Betonlarda Tipa İlaveli Akışkanlaştırıcıların Etkisi

The Effect of Tipa Added Plasticizers on Concrete Produced with Dirty Aggregates

Kadir KILINÇ, Saadet Gökçe GÖK, Safiye GÜNDOĞAN

Bazalt ve Kalker Agregası Kullanılmış Geçirimli Betonların Bazı Teknik Özellikleri

Basalt and Limestone Aggregate Pervious Concrete Used for Some Technical Characteristics

İlker Bekir TOPÇU, Ali UĞURLU

Sıvı Kür Malzemelerinin Taze Betonun Teknik Performansına Etkileri Üzerine Bir Analiz

An Analysis on the Effects of Liquid Curing Materials on Technical Performance of Fresh Concrete

Lütfullah GÜNDÜZ, Şevket Onur KALKAN, Elvan GARİP DAĞLI

Priz Hızlandırıcı Katkı Maddelerinin Betonun Yüksek Sıcaklık Dayanımına Etkisi

The Effect of Set Accelerator Additives on High Temperature Strength of Concrete

Harun TANYILDIZI, Ahmet COŞKUN, Murat ŞAHİN

Design and Production of Self-Compacting Concrete by Using Industrial Wastes of Muğla

Hüseyin KARACA, Olkan İltar TAŞ, Süleyman Bahadır KESKİN, Özlem KASAP KESKİN

15:00 - 15:30

Ara / Break

15.30 - 17.00

7. OTURUM / Seventh Session

Oturum Başkanı / Session Chair: Prof. Dr. Mustafa ŞAHMARAN

Mineral Katkılı Harçların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinde Priz Hızlandırıcı Katkının Etkisi

The Effect of Set Accelerating Admixture on Mechanical and Physical Properties of Mortar Containing Mineral Additive

Fatma KARAGÖL, Rıza POLAT, Yeşim TOSUN

Tarımsal Endüstri Atık Suyunun Beton Kimyasal Katkılarının Üretiminde Değerlendirilmesi

Valorization of an Agro-Industrial Wastewater in the Production of Concrete Chemical Admixtures

Elvan DAĞLI, Fulya MEMİOĞLU, Murat ELİBOL

Orman Endüstrisi Atık Külleri ve Yüksek Oranda Su Azaltıcı Katkıların Kendiliğinden Yerleşen Harçlar Üzerindeki Etkileri

Effects on Self-Compacting Mortar Content of High Water-Reducing Admixtures and Forest-Industrial Waste Fly Ash

Selçuk MEMİŞ, Gökhan KAPLAN, M.Uğur YILMAZOĞLU, İ. Gamze MÜTEVELLİ ÖZKAN, Hasbi YAPRAK

Cam Tozu Katkılı Betonun Yarmada Çekme Dayanımına Donma Çözülmenin Etkisi

The Effect of Freezing and Thawing on the Splitting Tensile Strength of Glass Powder Added Concrete

Yüksel ESEN, Murat ŞAHİN, Eyyüp ORHAN

October 20th 2017, Friday

Bilim Kurulu

Scientific Committee

Fevziye AKÖZ
Yılmaz AKKAYA
Haluk AKTAN
Nahit AKTAŞ
Emel AKYOL
Özge ANDİÇ ÇAKIR
Hakan ATAHAN
Cengiz Duran ATİŞ
Upul ATTANATAKE
Levent BALLİCE
Bülent BARADAN
Halil CEYLAN
Oğuzhan ÇOPUROĞLU
Hilal DEMİR KIVRAK
Hüseyin DEVECİ
Ahmet Tuncer ERCİYES
Tahir Kemal ERDEM
Turhan ERDOĞAN
Şakir ERDOĞDU
Gamze S. ERZENGİN
Abdurrahman GÜNER
Şerife Ş. HELVACI
Erdoğan İKİZOĞLU
Hüseyin KARACA
Ali KARADUMAN
Mustafa KARAGÜLER
Okan KARAHAN
Özlem KASAP KESKİN
S. Bahadır KESKİN
Fahriye KILINÇKALE
Jan Lindgård
Yunus ÖNAL
Mine ÖZDEMİR
Hulusi ÖZKUL
Turan ÖZTURAN
Çelik ÖZYILDIRIM
Nilüfer ÖZYURT
Erol PEHLİVAN
Karl PETERSON
Ali Akbar RAMEZANİANPOUR
Kambiz RAMYAR
Erik SCHLANGEN
Mustafa ŞAHMARAN
Özkan ŞENGÜL
Emir Hüseyin ŞİMŞEK
Barış ŞİMŞEK
Mustafa TABAKCI
Mehmet Ali TAŞDEMİR
Mustafa TOKYAY
Selçuk TÜRKEL
Canan URAZ
İ. Özgür YAMAN
Halit YAZICI
Nabi YÜZER

Hasan Kalyoncu University
İstanbul Technical University
Western Michigan University
Yüzüncü Yıl University
Yıldız Technical University
Ege University
İstanbul Technical University
Erciyes University
Western Michigan University
Ege University
Dokuz Eylül University
Iowa State University
Delft University of Technology
Yüzüncü Yıl University
Selçuk University
İstanbul Technical University
İzmir Institute of Technology
Middle East Technical University
Karadeniz Technical University
Süleyman Demirel University
İstanbul Technical University
Ege University
Ege University
İnönü University
Ankara University
İstanbul Technical University
Erciyes University
Muğla Sıtkı Koçman University
Muğla Sıtkı Koçman University
İstanbul University
SINTEF
İnönü University
Osmangazi University
İstanbul Technical University
Boğaziçi University
Virginia Transportation Research Council
Boğaziçi University
Selçuk University
University of Toronto
Amirkabir University of Technology
Ege University
Delft University of Technology
Hacettepe University
İstanbul Technical University
Ankara University
Çankırı Karatekin University
Selçuk University
İstanbul Technical University
Middle East Technical University
Dokuz Eylül University
Ege University
Middle East Technical University
Dokuz Eylül University
Yıldız Technical University

Organizing Committee

İ. Özgür YAMAN
Özge ANDIÇ ÇAKIR
Ali UĞURLU
Berker ALPARDA
Buket ÇELİK
Erkin ETİKE
Eylem GÜMÜŞ
Ömer İÇEMER
Erdinç İKİZOĞLU
Akin KESKİN
Fatih Akin KURT
Binnur ONAT
Ahmet Onur ÖZERGİNE
Mustafa Güner TÜZÜN

Düzenleme Kurulu

Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ege Üniversitesi
Kimya Mühendisleri Odası
Kimya Mühendisleri Odası
İnşaat Mühendisleri Odası
Kimya Mühendisleri Odası
İnşaat Mühendisleri Odası
Kimya Mühendisleri Odası
Kimya Mühendisleri Odası
İnşaat Mühendisleri Odası
İnşaat Mühendisleri Odası
Kimya Mühendisleri Odası
İnşaat Mühendisleri Odası
Kimya Mühendisleri Odası

Advisory Board

Tuna ACAR
Ayşe AKTÜRK BASIK
Yücel ER
Atilla ERENLER
Cemal GÖKÇE
Hakan GÜLSEREN
Mehmet Salih HELVACI
İhsan KAŞ
Cahit KOCAMAN
Yaşar LEVENT
Levent ÖZDEMİR
Nuhay ÖZEL
Aslı ÖZBORA TARHAN
Selim TULUMTAŞ
Süleyman ULUÖZ
Selim YÜCEL

Danışma Kurulu

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
Kimya Mühendisleri Odası
T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
İnşaat Mühendisleri Odası
İnşaat Mühendisleri Odası
Mapei Yapı Kimyasalları
İnşaat Mühendisleri Odası
T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
KÜB
T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
BASF Türk Kimya Sanayi
Türkiye Hazır Beton Birliği
İnşaat Mühendisleri Odası
Kimya Mühendisleri Odası
Sigma Beton

Symposium Secretariat



TMMOB
İnşaat Mühendisleri Odası
UCTEA Chamber of Civil Engineers

Murat KARACAOĞLU

murat1957@gmail.com

+90 532 481 38 70

+90 312 294 30 61

+90 312 294 30 77



Sempozyum Sekreteryası



TMMOB
Kimya Mühendisleri Odası
UCTEA Chamber of Chemical Engineers

Gülşay BAŞKAYA

kmogulay@hotmail.com

+90 533 320 38 09

+90 312 418 20 51

+90 312 418 16 54

İÇİNDEKİLER

Çimento-Katkı Uyumu Açısından Silis Dumanı ve Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Bileşik Etkisi - Combined Effect of Silica Fume and Superplasticizer Admixtures in Relation with The Aspects of Cement-Admixture Compatability	19
--	-----------

Şakir ERDOĞDU,Şirin KURBETCİ, Ufuk KANDİL, Memduh NAS, Safa NAYIR

Tea ve Tipa İçeren Sıcak Hava Dökümüne Uygun Kimyasal Katkıların Çimento Harcının Basınç Dayanımına Etkisi - The Effect of Tea and Tipa Added Chemical Admixtures for Hot Weather Concreting on Compressive Strength of Mortars	35
--	-----------

Kadir KILINÇ, Saadet Gökçe GÖK, Safiye GÜNDOĞAN

Polikarboksilat-Esashlı Su Azaltıcı Katkının Anyonik Monomer Değişiminin Çimento Hamuru ve Harç Karışımlarının Taze Hal Özelliklerine Etkisi – Effect of Polycarboxylate Based Water Reducing Admixture Anionic Monomer Change on the Fresh State Properties of Cement Paste and Mortar Mixtures.....	45
--	-----------

Ali MARDANI-AGHABAGLOU, Tolga KAPTI, Süleyman ÖZEN, Muhammet Gökhan ALTUN, Ece GEVEN, Ali NEMATZADEH, Kambiz RAMYAR, Uğur Başak ÖZTÜRK

The Applications of Cross-Linked Polymers as Superplasticisers in Cement Pastes	59
--	-----------

Gülce ŞENTÜRK GÜZEY,S.Gamze ERZENGİN, Ebru CENGİZ, Sibel SELEK

Beton Kimyasal Katkılarında Kimyasal Analiz Sonuçlarının Belirsizlik Hesap Parametrelerinin Belirlenmesi ve İstatistiki Açidan Değerlendirilmesi - Determination and Statistical Evaluation of Uncertainty Calculation Parameters of Chemical Analysis Results on Admixtures.....	69
--	-----------

Hava Yıldız ÖZGÜL, Nazlı AYYILDIZ TURAN

Hiper Akışkanlaştırıcı Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonun Segregasyon Özellikleri – Segregation Properties of Hyper Plasticizer Containing Self – Compacting Concrete	87
--	-----------

H.Süleyman GÖKÇE, Özge andiç ÇAKIR

Rheological Approach of Ready Mixed Concrete with Different PCE Admixtures: Comparison of Workability Between Mortar Paste and Concrete Mix.....	105
---	------------

Passalacqua Danilo, Surico Francesco, Stefano Carrà, Fabio Curto

Sürdürülebilir Yapılar İçin Beton Katkılarında Çevresel Ürün Beyanları – Environmental Product Declarations in Concrete Admixtures for Sustainable Constructions.....	123
--	------------

Alev ÇANKAYALI

Efficiency of SRA in Reducing Autogenous Shrinkage of UHPC Containing Mineral Admixtures137

Çağlar YALÇINKAYA, Halit YAZICI

Influence of GGBFS on Autogenous Shrinkage and Rheology of UHPC Paste with PCE Based Superplasticiser151

Çağlar YALÇINKAYA, H.Murat TANARSLAN, Halit YAZICI

Akışkanlaştırıcı Özellikleri ve Çimento Sıcaklığının Harç Özelliklerine Etkileri - Effects of Plasticizer Properties and Cement Temperature on the Mortar Characteristics167

Gökhan KAPLAN, M.Uğur YILMAZOĞLU, Selçuk MEMİŞ, İ.Gamze MÜTEVELLİ ÖZKAN, Hasbi YAPRAK

Kâgir Blok Harcı Üretiminde Yeni Bir Katkı Maddesinin Performansa Etkisi – Performance Effect on a New Additive Material in Production of Masonry Block Mortar.....185

Lütfullah GÜNDÜZ, Serhat SONUGELEN

Donma-Çözölmeye Maruz Kalan Mineral ve Antifriz Katkılı Harçların Özelliklerinin İncelenmesi – Influence of Antifreeze Additives in Mineral Additive Mortars Subjected to Freeze - Thaw201

Fatma KARAGÖL, Rıza POLAT, Yeşim TOSUN

Gevşek Yapı Zeminlerinin ve Zayıf Yapıların Ko-polimer -Uçucu Kül ile Çimentolanması ve Güçlendirilmesi- Şırnak Kentsel Dönüşüm Yapılandırma – Co-Polymer-Fly Ash Cementing for Weak Foundations and Weak Constructions the Case for Şırnak Urban Reconstruction221

Yıldırım İsmail TOSUN

FT-IR Spektroskopisinin Kantitatif Değişimlere Karşı Duyarlılığının İncelenmesi – Examining the FT-IR Spectroscopy's Sensitivity to Quantitative Changes237

Uğur Erşen ŞENBİL, Kemal KÖSEOĞLU

Yeni Nesil Kompozit Harçlarda Polimer Kullanımları Üzerine Bir İnceleme – An Investigation on Polymer Uses in New Generation Composite Mortars253

Şevket Onur KALKAN, Lütfullah GÜNDÜZ

Hafif Agregalı Kompozit Harçların Hidrofobluk Özelliğinin Geliştirilmesinde BioPolimer Katkı Kullanımı Üzerine Bir İnceleme – An Analysis on the Use of Biopolymer Contribution in the Development of Hydrophobic Properties of Lightweight Aggregated Composite Mortars.269

Şevket Onur KALKAN, Lütfullah GÜNDÜZ

Selüloz Türevi Viskozite Düzenleyici Katkuların Çimento Harcı Taze ve Sertleşmiş Özelliklerine Etkileri - The Effects of Cellulose Derivative Viscosity Modifying Admixtures on Fresh and Hardened Properties of Cement Mortar287

Ercan BOZKURT, Eren GÖDEK, Burak FELEKOĞLU

Potasyum Humat İlaveli Kimyasal Katkuların ve Polikarboksilat Esaslı Katkuların Kirli Agregalar ile Kullanımı - The Use of Potassium Humate Added Chemical Admixtures and Polycarboxylate Based Admixtures with Clay-Bearing Aggregates.....303

Saadet Gökçe GÖK, Kadir KILINÇ, Safiye GÜNDOĞAN

Farklı Su İtici Ajanların İnorganik Bağlı Lifli Kompozit Levhalarda Hidrofobik Özelliğe Etkisi – The Effect of Different Water Repellent Agents on Hydrophobicity of Fiber Reinforced İnorganic Binder Based Composite Boards.....	317
---	------------

Lütfullah GÜNDÜZ, Şevket Onur KALKAN, A.Münir İSKER, Bengi GÜRELİ, Sibel HACIOĞLU

NaOH ile Aktifleştirilen Sugözü Uçucu Küllü Geopolimerlerin Mekanik Özellikleri - Mechanical Properties of Sodium Hydroxide-Activated Sugozu Fly Ash Geopolymers.....	335
--	------------

İsmail İsa ATABEY, Okan KARAHAN, Cahit BİLİM, Cengiz Duran ATİŞ

Riyolit Mineralinin Puzolanik Özellik ve Basınç Dayanımı Açısından Uçucu Kül ile Karşılaştırılması - Comparison of Pozzolan Properties and Compressive Strength of Rhyolite Mineral with Fly Ash.....	349
--	------------

Şakir ERDOĞDU, İlker USTABAŞ, V.Alperen BAKİ

İnce Öğütülmüş Pomzanın Hava Sürüklenmiş Taze Beton Özelliklerine Etkisi - The Effect of Fine-Ground Pumice on Air-Entrained Fresh Concrete Properties	363
---	------------

Fatih ÖZCAN, Mehmet Emin KOÇ

Alkali Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürufllu Harçların Dayanım Özellikleri - Strength Properties of Alkaline Activated Blast Furnace Slag Mortars.....	377
--	------------

Cengiz Duran ATİŞ, Cahit BİLİM, Şinasi BİNGÖL, Okan KARAHAN

İki Farklı Doğal Zeolitın Portland Çimentosu Hidratasyon Isısına Etkileri - Effects of Two Different Natural Zeolites on Heat of Hydration of Portland Cement	391
--	------------

Yasemin AKGÜN, Ömer Fatih YAZICIOĞLU

Kirli Agregalar İle Üretilen Betonlarda Tipa İlaveli Akışkanlaştırıcıların Etkisi - The Effect of Tipa Added Plasticizers on Concrete Produced with Dirty Aggregates	407
---	------------

Kadir KILINÇ, Saadet Gökçe GÖK, Safiye GÜNDOĞAN

Bazalt ve Kalker Agregası Kullanılmış Geçirimli Betonların Bazı Teknik Özellikleri – Basalt and Limestone Aggregate Pervious Concrete Used for Some Technical Characteristics	419
---	------------

İlker Bekir TOPÇU, Ali UĞURLU

Sıvı Kür Malzemelerinin Taze Betonun Teknik Performansına Etkileri Üzerine Bir Analiz – An Analysis on the Effects of Liquid Curing Materials on Thechnical Performance of Fresh Concrete	435
--	------------

Lütfullah GÜNDÜZ, Şevket Onur KALKAN, Elvan GARİP DAĞLI

Design and Production of Self-Compacting Concrete by Using Industrial Wastes of Muğla.....	449
---	------------

Hüseyin KARACA, Olkan İlter TAŞ, Süleyman Bahadır KESKİN, Özlem KASAP KESKİN

Mineral Katkılı Harçların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinde Priz Hızlandırıcı Katkının Etkisi – The Effect of Set Accelerating Admixture on Mechanical and Physical Properties of Mortar Containing Mineral Additive	463
--	------------

Fatma KARAGÖL, Rıza POLAT, Yeşim TOSUN

Tarımsal Endüstri Atık Suyunun Beton Kimyasal Katkılarının Üretiminde Değerlendirilmesi - Valorization of an Agro-Industrial Wastewater in the Production of Concrete Chemical Admixtures.....	477
---	------------

Elvan DAĞLI, Fulya MEMİOĞLU, Murat ELİBOL

Orman Endüstrisi Atık Külleri ve Yüksek Oranda Su Azaltıcı Katkıların Kendiliğinden Yerleşen Harçlar Üzerindeki Etkileri - Effects on Self-Compacting Mortar Content of High Water-Reducing Admixtures and Forest-Industrial Waste Fly Ash	491
---	------------

Selçuk MEMİŞ, Gökhan KAPLAN, M.Uğur YILMAZOĞLU, i.Gamze MÜTEVELLİ ÖZKAN, Hasbi YAPRAK

Cam Tozu Katkılı Betonun Yarmada Çekme Dayanımına Donma Çözülmenin Etkisi – The Effect of Freezing and Thawing on the Splitting Tensile Strength of Glass Powder Added Concrete	507
--	------------

Yüksel ESEN, Murat ŞAHİN, Eyyüp ORHAN

The Fluidity Behaviours of Cement Systems Superplasticized with Polymers.....	527
--	------------

S.Gamze ERZENGİN, Kübra KAYA, Sabriye PERÇİN ÖZKORUCUKLU, Gizem YILDIRIM

Contribution of an Organic Corrosion-Inhibiting Admixture to Enhance Durability on Reinforced Concrete: 22 Years of Field Experience	539
---	------------

D.G. TAYLOR, M. BAKALLI

Çeviri – Translate	557
---------------------------------	------------

Ömer İÇEMER

SUNUŞ

Uluslararası Yapılarda Kimyasal Katkılar V. Sempozyumu ve Sergisi’ni; bilimi ve tekniği toplum yararına kullanmayı ilke edinmiş ve bu sempozyumlarımızın başlangıcının mimarları olan meslektaşlarımız İnş.Müh. Kemal Türkarslan ve İnş. Müh. Haluk İşözen’in anısına yad ediyoruz.

Dünyada en yaygın kullanılan yapı malzemesi olarak betonun gelecekte de inşaat sektörü için önemli bir potansiyeli bulunmaktadır. Günümüzde, betonun dayanımının dışında istenilen belirli özelliklere sahip olarak üretilebilmesi ancak uygun beton katkılarının kullanımı ile mümkündür. Dahası, beton teknolojisi konusundaki yeniliklerin pek çoğunun özel nitelikteki yenilikçi kimyasal katkıların gelişimi sayesinde olduğu söylenebilir. Dolayısıyla, bu sayede, üstün işlenebilme karakteristiklerine sahip, priz süresinin ve hidrasyon ısının hassasiyetle ayarlanabildiği, erken ve son yaş dayanımlarının ve sünekliğin iyileştirilebildiği, boyutsal stabilitenin kontrol edilebildiği ve permeabilitenin azaltılabildiği “akıllı beton” üretimi mümkün olmaktadır. Betonda yeni geliştirilen polimerlerin kullanıma sunumu, inceden nano-boyuta parçacıkların kontrollü boyut dağılımının sağlanabilmesi, kendi kendine kür ve kendiliğinden iyileştirme ajanlarının kullanılabilir olması, söz edilen yenilikçi beton kimyasal katkıları teknolojileri ile mümkün olmuştur. Ayrıca, gün geçtikçe yeşil çözümlerin de yüksek pazar payına sahip olmaya başladığı görülmektedir.

Değinilmesi gereken önemli bir nokta, kimyasal katkıların mucizevi içerikler olmadığı, kötü beton tasarımı veya kötü kalitedeki beton bileşenleri sebebi ile oluşacak hataları düzeltmeyi sağlayamayacağıdır. Kimyasal katkıların uygun kullanımı için üretici, tedarikçi, uygulayıcı, son kullanıcı ve standart/şartname hazırlayıcı ve düzenleyicilerinin kimyasal katkıları, bunların diğer beton bileşenleri ile etkileşimleri ve katkıların beton özelliklerine etkileri konusunda yeterli bilgiye sahip olması elzemdir. Bu da beraberinde kimya, kimya mühendisi ve inşaat mühendisi gibi farklı disiplinlerde çalışanların bir araya gelerek disiplinler arası işbirliği ile mümkündür.

Birinci “Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyum ve Sergisi” TMMOB İnşaat Mühendisleri ve Kimya Mühendisleri Odaları’nın Ankara Şubeleri’nin ortak

organizasyonu ile 24-25 Mart 2005 tarihleri arasında, ikincisi 12-13 Nisan 2007 tarihleri arasında, üçüncüsü ve dördüncüsü uluslararası katılımlı olmak üzere 02-03 Nisan 2009 tarihleri arasında ve 24-25 Ekim 2013 tarihleri arasında Ankara’da Milli Kütüphane’de düzenlenmiştir. Yapılarda Kimyasal Katkılar 5. Uluslararası Sempozyumu ve Sergisi’nin amacı betonarme yapılarda yaygın olarak kullanılan kimyasal katkıları ile ilgili kişi, kurum ve kuruluşları bir araya getirerek sektördeki gelişmelerin tanıtıldığı, sorunların tartışıldığı bir ortam oluşturulması ve kimyasal katkıların daha bilinçli kullanımının sağlanmasıdır.

Yurtdışından davetli akademisyenlerinin de çağrılı olarak katıldığı 7 oturumda sunulacak 33 adet bildiri ve bir adet poster bildiri ile sempozyum tamamlanacaktır. Tartışmalardan elde edilen bulgu ve beklentiler, kamusal bir hizmet yapmanın bilincinde olan odalarımız tarafından, Sempozyum Sonuç Bildirgesi olarak yayınlanacak ülkemizdeki ilgili kurum ve kuruluşlar ile kamuoyu bilgisine sunulacaktır. Sempozyumun, ülkemizde kimyasal katkıların önemi ve amaca uygun kullanım bilincinin yaygınlaştırılmasında önemli bir işlev göreceğine olan inancımızla Sempozyumun düzenlenmesinde tüm emeği geçenlere, Bilim, Düzenleme ve Danışma Kurullarına, birikim ve bilgilerini bizimle paylaşan değerli akademisyenlere, sektör uzmanlarına ve meslektaşlarımıza şükranlarımızı sunuyoruz.

TMMOB

Kimya Mühendisleri Odası
Ankara Şube Yön.Kur. Başkanı
Erkin ETİKE

TMMOB

İnşaat Mühendisleri Odası
Ankara Şube Yön.Kur.Başkanı
Selim TULUMTAŞ

19 Ekim 2017 Perşembe

October 19th 2017 Thursday

1.Gün/First Day

1.Oturum/First Session

Oturum Başkanı/Session Chair

Prof. Dr. İsmail Özgür YAMAN

ÇİMENTO-KATKI UYUMU AÇISINDAN SİLİS DUMANI VE SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI KATKILARIN BİLEŞİK ETKİSİ

Şakir ERDOĞDU

Prof. Dr.
KTÜ

Trabzon, Türkiye

Şirin KURBETCİ

Yrd. Doç. Dr.
KTÜ

Trabzon, Türkiye

Ufuk KANDİL

Arş. Gör.
KTÜ

Trabzon, Türkiye

Memduh NAS

Arş. Gör.
KTÜ

Trabzon, Türkiye

Safa NAYIR

Arş. Gör.
KTÜ

Trabzon, Türkiye

ÖZET

Son yıllarda kimyasal ve mineral katkı maddelerinin kullanılmadığı beton hayal etmek nerdeyse imkânsız hale gelmiştir. Betonun reolojik ve mekanik özellikleri üzerine olan önemli etkileri nedeniyle süper akışkanlaştırıcılar en yaygın kullanılan kimyasal katkı maddeleridir. Etkinlik düzeyi kimyasal katkı maddesinin kendisine bağlı olduğu kadar kullanılan çimentonun tipine de bağlıdır. Bu açıdan kimyasal katkı maddesi-çimento uyumu önemlidir. Kimyasal katkı maddelerinin yanı sıra mineral katkıların da özellikle durabilite açısından betonun performansına sağladıkları katkı nedeniyle son yıllarda yoğun bir biçimde kullanıldıklarına şahit olmaktayız. Bu itibarla mineral katkıları çimento-kimyasal katkı uyumu açısından önem kazanmaktadır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmada betonda çimento ile ikame edilerek kullanılan silis dumanı içeren beton karışımları üzerinde çimento-süper akışkanlaştırıcı uyumu araştırılmıştır.

Bu amaçla Portland çimentosu %5 ve %10 oranlarında silis dumanı ikameli orta düzey dayanıma sahip betonlar üretilmiştir. Üretimlerde üç farklı kökenli aynı firma ürünü süper akışkanlaştırıcı üretici firmanın önerdiği oranlarda kullanılmıştır. Silis dumanı ikameli betonların taze ve sertleşmiş haldeki bazı özelliklerindeki değişim çimento-akışkanlaştırıcı uyumu açısından değerlendirilmiştir. Değerlendirme, üretilen betonlar üzerinde belirlenen çökme, yayılma çapı ve basınç dayanımı ölçümleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla yalnızca Portland çimentosu içeren beton karışımları da değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Süperakışkanlaştırıcı; Basınç dayanımı; Çökme; Yayılma çapı; Çimento-katkı uyumu

COMBINED EFFECT OF SILICA FUME AND SUPERPLASTICIZER ADMIXTURES IN RELATION WITH THE ASPECTS OF CEMENT- ADMIXTURE COMPATABILITY

ABSTRACT

In recent years, it has become almost impossible to produce concrete without chemical and mineral additives. Among the chemical admixtures, the most widely used ones are superplasticizers due to their significant effect on the rheological and mechanical properties of concrete. The level of effectiveness of the chemical admixture depends on the features of admixture itself as well as the type of cement used. Therefore, the cement-chemical admixture compatibility is vital importance. We have witnessed that mineral additives as well as chemical admixtures have been used extensively in recent years due to their contribution to the performance of concrete especially in relation with durability. In this respect, mineral admixtures gain importance in terms of cement-chemical

admixture compatibility as well. In the experimental study carried out, cement-superplasticizer compatibility was investigated on concrete mixtures containing silica fume.

For this purpose, moderate strength concretes produced by replacing Portland cement with silica fume at ratios of 5% and 10%. Three different-origin super plasticizers of the same company were used in concrete production at determined rates by the manufacturer. Changes in some of the fresh and hardened concrete properties incorporated silica fume was evaluated in terms of cement-super plasticizer compatibility. The evaluation was carried out by taking into consideration slump, flow diameter and compressive strength measures of concrete. For comparison, concrete mixtures containing only Portland cement were also produced.

Keywords: Superplasticizers; Compressive strength; Slump; Flow diameter; Cement-chemical admixture compatibility

GİRİŞ

Beton teknolojisinde süper akışkanlaştırıcı kullanımı 1960 yıllarında başlamış ve günümüzde bu katkı maddeleri betonun vazgeçilmez bileşeni olmuştur. Süper akışkanlaştırıcılar sayesinde günümüzde çok düşük su/çimento oranına sahip betonlar üretilebilmiş ve sonuçta dayanımı yüksek ve çevresel etkilere dayanıklı betonların üretimi mümkün olmuştur [1].

Yıllar içinde beton teknolojisinde çok farklı kökenli süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddeleri kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcılar betonda karışım suyunu azaltmak suretiyle su/çimento oranını düşürmek amacıyla kullanılan su indirgeyiciler olarak da bilinen kimyasal katkı maddeleridir. Betonda karma suyunu %10-15 oranında azaltan kimyasal katkılar normal su indirgeyiciler olarak bilinir. Bunların esasını lignosulfonik asitler, hidroksikarboksilik asitler veya karbonhidratlar oluşturur. Normal su indirgeyiciler yüksek oranda su azaltmak amacıyla fazla miktarda kullanıldıklarında priz, hava içeriği, su kuma (terleme), ayrışma ve sertleşme karakteristikleri üzerinde arzu edilmeyen etkilere neden olabilmektedirler. İşlevleri bakımından süper akışkanlaştırıcılar normal akışkanlaştırıcılardan

oldukça farklı davranış gösterip karışım suyunda %25'e varan oranda azaltma sağlayabilmektedirler. Bu katkı maddeleri yaygın olarak süper plastikleştiriciler ya da yüksek oranda su indirgeyiciler olarak da bilinirler. Bunlar ilk kez 1980'li yılların başında Japonya'da keşfedilmiş olup o yıllarda Montreal'de inşa edilen Olimpiyat Stadı projesinde kullanılan birkaç milyon metreküp beton üretiminde tek başına bu katkı maddeleri kullanılmıştır [2].

Süper akışkanlaştırıcı katkıların temel avantajları, i) çimento miktarında ve dayanımda azalmaya neden olmaksızın betonu kolay yerleştirmek amacıyla betonun işlenebilirliğini arttırmak, ii) normal işlenebilirlikte ancak daha az miktarda su kullanmak ve yüksek dayanımlı beton üretmek, iii) az çimento kullanarak ancak işlenebilir ve normal dayanımda beton üretmek olarak sıralanabilir.

Akışkanlaştırıcılar yaygın olarak kâğıt endüstrisinin bir yan ürünü olan lignosülfonatlardan üretilirler. Süper akışkanlaştırıcıların üretiminde genellikle sülfone naftalin formaldehit (SNF) veya sülfone melamin formaldehit (SMF) ya da modifiye lignosülfonatlar (MLS) kullanılır. Polikarboksilik esterler (PCE) de yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar olarak bilinir [3]. Bu grupların en yaygın olarak kullanılanları SMF ve SNF kökenli olanlarıdır. Bu katkı maddeleri hem katı halde hem de sıvı halde temin edilmektedirler. Polikarboksilik esaslı süper akışkanlaştırıcıların reaktifliği oldukça yüksektir. Bu tür süper akışkanlaştırıcılar sülfonik grubu maddeler içermedikleri için ve alkali ortamda tamamen iyonize oldukları için yüksek reaktif özellik gösterirler. Bunlar yüksek dozajlarda kullanıldıklarında priz süresinin uzamasına neden olmazlar ve böylece yüksek hacimde mineral katkı kullanımına olanak sağlarlar [4-6].

Literatürde süper akışkanlaştırıcı katkıların çimento hamurunu yoğunlaştırdıkları rapor edilmektedir [5,6]. Bazı süper akışkanlaştırıcılar hava sürükledikleri ve betonun boşluk suyunun yüzey gerilimini belirgin bir şekilde azaltmadıkları için yüksek dozajda kullanılabilirler [7]. Süper akışkanlaştırıcı katkıları çimento tanecikleriyle fiziksel ve kimyasal olarak etkileşime girmek suretiyle taze betonun reolojisini olumlu yönde değiştirirler [8]. Fiziksel etkileşim katkı maddesi moleküllerinin çimento taneleri yüzeyine adsorbe edilerek çimento taneciklerinin birbirinden ayrılması biçiminde ortaya çıkan sterik etkidir [9, 10].

Çimento taneleri yüzeyine ince tabaka şeklinde adsorbe olan kimyasal katkı maddesi çimento taneleri arasında itme oluşturmak suretiyle taneciklerin birbirlerinden ayrılmasına neden olur. Meydana gelen bu itici güç sayesinde topaklanmanın önüne geçilerek çimento taneciklerinin yapı içerisinde homojen bir biçimde yayılması sağlanır. Sterik etki sayesinde çimento taneleri arasındaki sürtünme azalır böylece betonun işlenebilirliği önemli ölçüde artar. Süper akışkanlaştırıcı katkıları diğer taraftan çimentonun hidratasyon ürünleriyle de reaksiyona girerler. Örneğin, bazı süper akışkanlaştırıcıların C_3A ve/veya C_3S ile reaksiyona girerek başlangıçta hidratasyon hızının yavaş gelişmesine neden oldukları rapor edilmektedir [11, 12].

Literatürde çimento-kimyasal katkı uyumu ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur. Süper akışkanlaştırıcı katkıların taze çimento harcının reolojik özelliklerine etkisi üzerine yapılan bir çalışmada polikarboksilat asit ve polikarboksilat ester esaslı süper akışkanlaştırıcı katkıların naftalin sülfonat asit esaslı süper akışkanlaştırıcı katılara göre daha etkin olduğu belirtilmiştir [13]. Silis dumanı ikameli betonların çökme kaybına ilişkin yapılan bir çalışmada sülfone naftalin esaslı bir süper akışkanlaştırıcı kullanılmış ve yarım saat sonunda çökme kaybının %55 civarında olduğu belirtilmiştir [14]. Melamin esaslı bir süper akışkanlaştırıcı ile yapılan bir çalışmada ise benzer şekilde yarım saat sonunda ölçülen çökme kaybının %40 civarında olduğu ifade edilmiştir [15].

Montes vd., yaptığı çalışmada kalker, uçucu kül ve silis dumanının Portland çimentosu ve naftalin, melamin, lignosülfonat ve polikarboksilat kökenli katkılarla etkileşimleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Katkılar arasında kalker tarafından en az adsorbe edilen katkıların polikarboksilat eter ve polinaftalin sülfonat esaslı katkıları olduğu belirlenmiştir. Uçucu kül ve polinaftalin sülfanat kökenli katkıları birlikte kullanıldığında çimento hamurunun akma dayanımı azalttığı görülmüştür. Silis dumanı ve daha ince çimento kullanıldığında özgül yüzeyde meydana gelen artış nedeniyle çimento hamurunun işlenebilirliğini iyileştirmek için daha fazla miktarda kimyasal katkı gerekli olduğu ifade edilmektedir [16].

AMAÇ

Çalışmada üretilen orta dayanım düzeyine sahip betonlar üzerinde Portland çimentosu ile ikame edilerek kullanılan silis dumanı ile farklı kökenli süper akışkanlaştırıcıların uyumunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMA

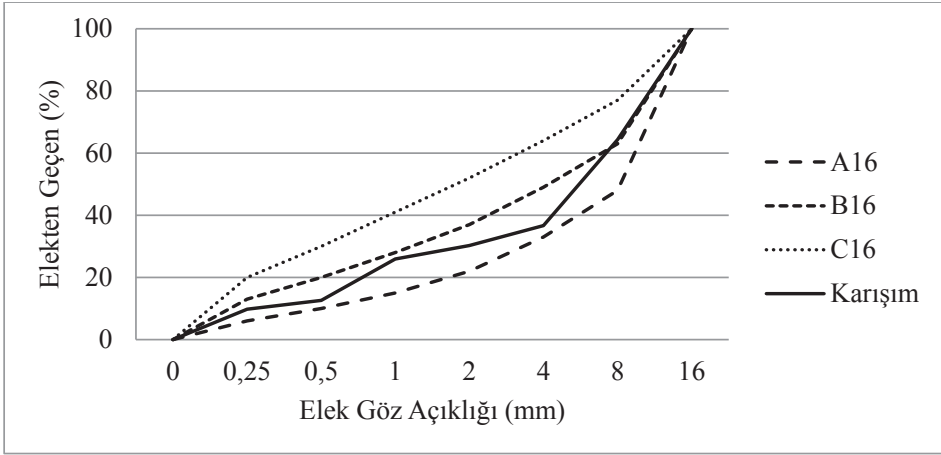
Kullanılan Malzemeler

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada kalker esaslı kırmataş, kırma kum ve dere kumu karışımlarından oluşan ve en büyük tane boyutu 16 mm olan bir karışım agregası kullanılmıştır. Agregalara ilişkin doygun yüzey kuru özgül ağırlıklar ve su emme değerleri Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Agregalara ilişkin özgül ağırlık ve su emme değerleri

Agrega	Özgül ağırlık, g/cm ³	Su emme, %
Kırmataş	2.67	1.5
Kırma kum	2.57	3.0
Dere agregası	2.49	4.7

Çalışmada kullanılan karışım agregasına ait granülometri eğrisi, ilgili sınır eğrileriyle birlikte Şekil 1’de verilmektedir. Deneylerde özgül ağırlığı 3.1 g/cm³ olan Trabzon-Aşkale Çimento Fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 R tip çimento kullanılmıştır. Çalışmada özgül ağırlığı 2.2 g/cm³ olan silis dumanı kullanılmıştır. Çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler Tablo 2’de verilmektedir.



Şekil 1. Karışım agregasına ait granülometri eğrisi ve ilgili sınır eğrileri

Tablo 2. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Kimyasal Özellikler		Fiziksel ve Mekanik Özellikler		
Bileşenler	(%)	45 µm elek üstünde kalan (%)		9.8
SiO ₂	19.46	90 µm elek üstünde kalan (%)		1.0
Al ₂ O ₃	5.11	Özgül Yüzey (Blaine) (m ² /kg)		412.6
Fe ₂ O ₃	3.31	Özgül Ağırlık (g/cm ³)		3.12
CaO	60.23	Priz süreleri (Vicat) (dakika)	Başlangıç	140
MgO	2.08		Bitiş	200
SO ₃	3.05	Norma kıvam suyu (%)		29.2
Na ₂ O	0.27	Hacim genleşmesi (mm)		1.0
K ₂ O	0.69	Basınç dayanımı (MPa)	2 gün	28.0
Cl ⁻	0.02		7 gün	40.4
Kızdırma Kaybı	3.00		28 gün	51.5

Deneyisel çalışmada aynı firma üretimi üç farklı kökenli süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcıların bazı özellikleri Tablo 3’de verilmektedir.

Tablo 3. Süper akışkanlaştırıcılara ilişkin bazı özellikler

Kodu	Kimyasal yapı	Yoğunluk (kg/l)	Önerilen kullanım oranı (%)
MP	Modifiye polimer	1.18-1.22	0.5-1.5
MSP	Melamin sülfonat polimeri	1.15-1.19	0.8-3
NS	Naftalin sülfonat	1.17-1.21	0.5-2

Deney programı

Beton üretimlerinde silis dumanı %5 ve %10 oranlarında kullanılırken süper akışkanlaştırıcılar üretici firmanın önerdiği oranlarda olacak şekilde çimento ağırlığının %0.8, %1.2 ve %1.5'i kadar kullanılmıştır. Tüm karışımlarda toplam bağlayıcı 350 kg/m³ olacak şekilde belirlenmiştir. Her bir üretimde 15 litre beton üretilmiş; taze beton üzerinde çökme ve yayılma tablası deneyi gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı için üç adet 15 cm küp numune alınmıştır. 28 gün standart kür sonunda basınç dayanımı ölçümleri belirlenerek değerlendirme yapılmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan malzeme miktarları Tablo 4’de verilmektedir.

Tablo 4. Gerçekleştirilen çalışmaya ilişkin karışım miktarları

Üretim No	Kimyasal Katkı Tipi	Kimyasal Katkı Oranı (%)	Silis Dumanı İkame Oranı (%)	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Agrega (kg/m ³)	Birim Ağırlık (kg/m ³)
1	-	0	0	350	210	1716	2335
2	MP	0.8					2346
3		1.2					2332
4		1.5					2383
5	MSP	0.8					2352
6		1.2					2371
7		1.5					2342
8	NS	0.8					2344
9		1.2					2321
10		1.5					2327
11	-	0	5	332.5	1710	2326	
12	MP	0.8				2378	
13		1.2				2389	
14		1.5				2347	
15	MSP	0.8				2368	
16		1.2				2343	

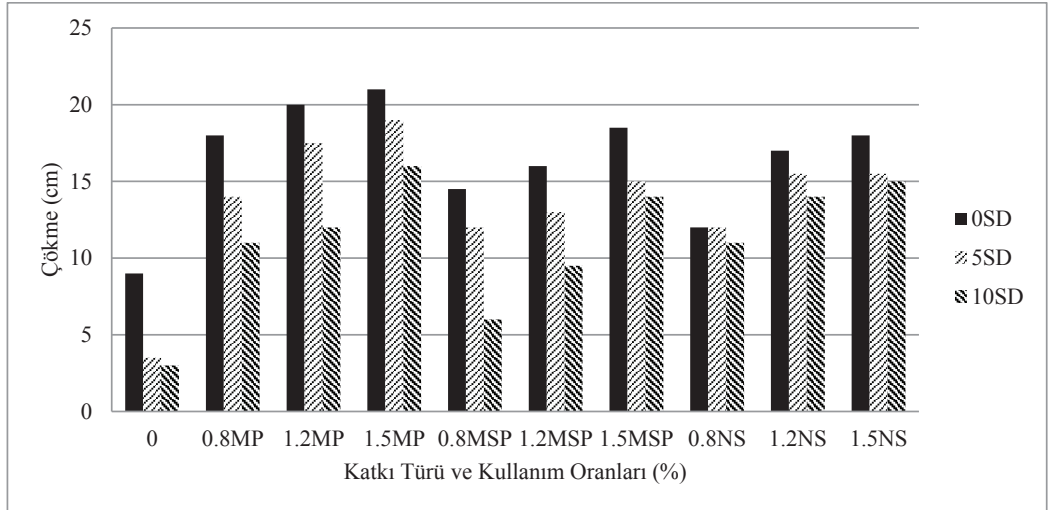
17		1.5					2383
18	NS	0.8					2368
19		1.2					2364
20		1.5					2381
21		0					2320
22	MP	0.8					2365
23		1.2					2348
24		1.5					2372
25		0.8					2326
26	MSP	1.2	10	315		1703	2369
27		1.5					2358
28		0.8					2333
29	NS	1.2					2338
30		1.5					2370

Basınç dayanımı ölçümleri TS EN 12390-3 standardı uyarınca gerçekleştirilirken, çökme deneyi TS EN 12350-2 standardı uyarınca ve yayılma tablası deneyi TS EN 12350-5 standardı uyarınca gerçekleştirilmiştir.

DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME

Çökme Deneyi Ölçümleri

Çökme deneyi ölçümleri hemen karışım sonrası taze beton üzerinde TS EN 12350-2 standardı uyarınca gerçekleştirilmiştir. Tüm karışımlar için elde edilen ölçümler Şekil 2’de verilmektedir.



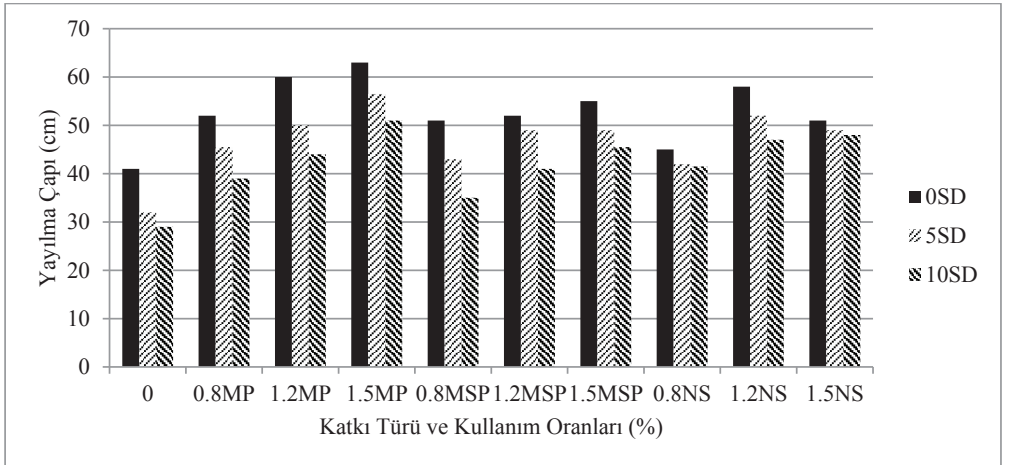
Şekil 2. Beton karışımları üzerinde ölçülen çökme değerleri

Şekil 2’den görüleceği üzere modifiye polimer esaslı (MP) katkının kullanıldığı silis dumanı içermeyen betonlar için ölçülen çökme değeri kimyasal katkı miktarından bağımsız olarak ortalama 20 cm mertebesinde iken bu değer melamin sülfonat polimer esaslı (MSP) katkı için 16 cm ve naftalin sülfonat esaslı (NS) katkı için yine 16 cm mertebesinde. Benzer değerlendirme %5 silis dumanı ikameli betonlar için yapıldığında, MP katkısı için ortalama çökme 17 cm iken MSP katkısı için 13 cm ve NS katkısı için 14 cm olduğu görülmektedir. Yine benzer şekilde %10 silis dumanı ikameli betonlar için ortalama çökme miktarı MP katkısı içeren betonlarda 13 cm iken MSP katkısı içerenlerde 10 cm ve NS katkısı içerenlerde 13 cm olmuştur. Bu değerlendirme esas alındığında çökme itibarıyla MP katkısının MSP ve NS katkılarına kıyasla çimento ve silis dumanı ikilisi ile daha uyumlu bir katkı olduğu söylenebilir.

Yapılan bir çalışmada [15] %1.2 oranında süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı kimyasal katkısız betonda elde edilen 95 mm çökme değerini 170 mm’ye çıkarırken, gerçekleştirilen bu çalışmada 90 mm’den 200 mm düzeyine çıkarmıştır.

Yayılma Tablası Deneyi Ölçümleri

İlgili standart TS EN 12350-5 uyarınca taze beton üzerinde gerçekleştirilen ve ortalama yayılma çapını esas alan yayılma tablası ölçümleri tüm beton karışımları için Şekil 3’de verilmektedir.

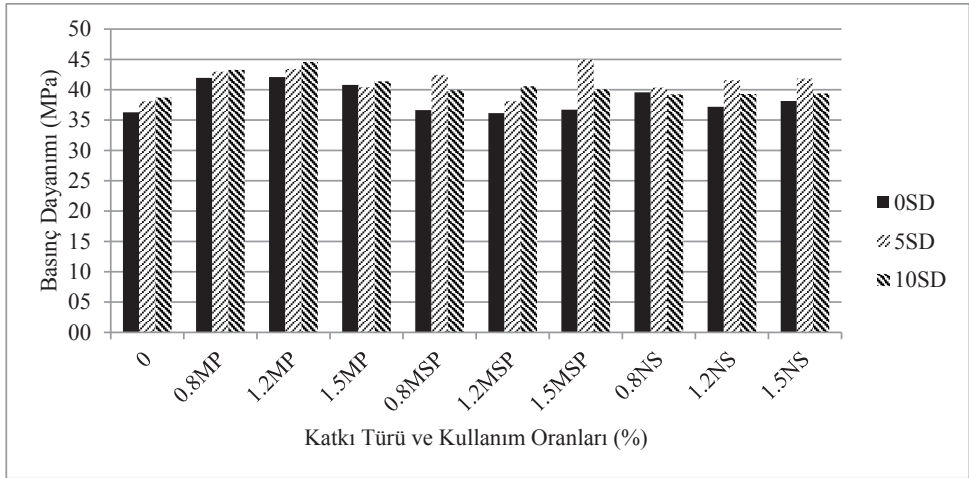


Şekil 3. Beton karışımları üzerinde ölçülen ortalama yayılma çapı değerleri

Şekil 3’den görüleceği üzere MP katkısının kullanıldığı silis dumanı içermeyen betonlar için ölçülen ortalama yayılma çapı kimyasal katkı miktarından bağımsız olarak ortalama 58 cm mertebesinde iken bu değer MSP katkısı için 53 cm ve NS katkısı için 51 cm mertebesinde. Benzer değerlendirme %5 silis dumanı ikameli betonlar için yapıldığında, MP katkısı için ortalama yayılma çapı 51 cm iken MSP katkısı için 47 cm ve NS katkısı için 48 cm olduğu görülmektedir. Aynı şekilde %10 silis dumanı ikameli betonlar için ortalama yayılma çapı MP katkısı içeren betonlarda 45 cm iken MSP katkısı içerenlerde 41 cm ve NS katkısı içerenlerde 46 cm mertebesinde. Ortalama yayılma çapı dikkate alındığında MP katkısının MSP ve NS katkılarına kıyasla daha uygun bir katkı olduğu görülmektedir.

Basınç Dayanımı Ölçümleri

Basınç dayanımı ölçümü ilgili standart TS EN 12390-3 uyarınca 28 gün standart kür gören beton numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiş olup tüm beton karışımları için elde eden ortalama basınç dayanımı değerleri Şekil 4’de gösterilmektedir.



Şekil 4. Beton karışımları üzerinde ölçülen ortalama basınç dayanımı değerleri

Şekil 4’den görüleceği üzere hem silis dumanı içermeyen betona kıyasla hem de MSP ve NS katkılarının kullanıldığı betonlara kıyasla daha yüksek basınç dayanımı sağlaması açısından en uygun

süper akışkanlaştırıcısının MP katkısı olduğu görülmektedir. Sağlanan dayanım artışı tüm süper akışkanlaştırıcı oranları için geçerlidir. Ancak %1.5 oranında MP katkısı içeren beton karışımlarının ortalama dayanımları %0.8 ve %1.2 oranında MP katkısı içerenlere göre daha düşüktür. MP katkısının %1.5 oranında kullanıldığında betonun su kuma ve ayrışma eğilimi göstermiş olmasının buna neden olduğu düşünülmektedir.

Sentetik polimer esaslı bir süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesinin %1.5 oranında kullanıldığı 300 kg/m³ dozajlı betonların basınç dayanımı üzerine etkisinin araştırıldığı bir çalışmada [17], basınç dayanımında %20 oranında bir artış sağlanırken, bu çalışmada MP kimyasal katkı maddesiyle sağlanan artış %15 mertebesindedir.

SONUÇ

Bu çalışmadan çıkarılabilecek bulguları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

- MSP ve NS katkılarına kıyasla kullanıldığı orandan bağımsız olarak sağladığı çökme itibariyle MP katkısı işlenebilirlik açısından çimento-silis dumanı ikilisi ile en uyumlu olan katkıdır.
- MSP ve NS katkılarına kıyasla sağladığı en büyük yayılma açısından MP katkısının yine en uygun katkı olduğunu söylemek mümkündür. Yayılma çapında sağlanan artış özellikle silis dumanı katkısız betonlarda daha belirgindir.
- Silis dumanı ikamesi artışına bağlı olarak MP ve MSP katkılı beton karışımlarının hem çökme hem yayılma çaplarında belirgin azalmalar görülürken, NS katkısıyla üretilen betonlarda bu değerler önemli değişimler göstermemiştir.
- Basınç dayanımı açısından en uygun katkının MP katkısı olduğunu söylemek mümkündür. Zira silis dumanı içermeyen beton karışımına kıyasla tüm katkı maddesi oranlarında MP katkısının kullanıldığı betonların dayanımı daha yüksek çıkmıştır.
- MP katkısının %1.5 oranında kullanımı betonda su kuma ve ayrışmaya neden olmuştur.
- Sonuç itibariyle, silis dumanının CEM I 42.5R tip çimento ile ikame edilerek kullanıldığı betonların çökme, yayılma ve basınç dayanımı özellikleri çimento-silis dumanı-akışkanlaştırıcı uyumu açısından kullanılan süper akışkanlaştırıcısının kökenine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu anlamda modifiye polimer esaslı (MP) süper akışkanlaştırıcı katkının melamin sülfonat polimer ve naftalin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcılara kıyasla daha etkin olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

1. Malhotra V.M., "Innovative Applications of Superplasticizers in Concrete-A Review," Proceedings of Mario Collepardi Symposium on Advances in Concrete Science and Technology, 5th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures, Rome, October 1997, pp. 271-314.
2. Spiratos N., Page M., Mailvaganan N.P., Malhotra V.M., Jolicoeur, C., Superplasticizers for Concrete. Fundamentals, Technology and Practice (2nd ed), Quebec, Canada, 2006.
3. Ramanhandran S., Malhotra V.M. Jolicoeur, Spiratos N., Superplasticizers: Properties, and Applications in Concrete. Ottawa, Canada, 1998.
4. Langley WS, Carette GG, Malhotra VM., "Structure Concrete Incorporating High Volume of ASTM Class F Fly Ash," Materials Journal, ACI, Vol. 86, Issue 5, 1989, pp 507-514.
5. Mailvaganam NP., "Factors Influencing Slump Loss in Flowing Concrete," Special Publication, ACI, Vol. 62, 1979, pp 389-404.
6. Collepardi M., Corradi M. and Valente M., "Low-slump Loss Superplasticized Concrete," Transportation Research Record, Washington DC, 1979.
7. Collepardi M., and Ramachandran V.S., "Effect of Admixtures," 9th International Congress on the Chemistry of Cement, New Delhi 1992.
8. Ramachandran V.S., Bensted J., Collepardi M.M., Dolch W.L., Feldman R.F., Joshi R.C., Lohtia R.P., Mailvaganam N.P., Malhorta V.M., Ohama Y., Ramachandran V.S., Atinov V.B., Rozenberg T.I., "Concrete Admixtures Handbook," Noyes Publications, Park Ridge, NJ, USA 1995.
9. Gu P., Xie P., Beaudoin J.J., and Jolicoeur C., "Investigation of the Retarding Effect of Superplasticizers on Cement Hydration by Impedance Spectroscopy and Other Methods" Cement and Concrete Research, Vol. 24, Issue 3, 1994, pp 433-443.

10. Simard M.A., Nkinamubanzi C., Jolicoeur C., Perraton D., and Aitcin P.C., "Calorimetry, Rheology and Compressive Strength of Superplasticized Cement Pastes," *Cement Concrete Research*, Vol. 23, 1993, pp 939-950.
11. Andersen P.J., and Roy D.M., "Effect of Superplasticizers Molecular Weight on Its Absorption on and Dispersion of Cement," *Cement Concrete Research*, Vol. 18, 1988, pp 980-986.
12. Kadri E.H., Aggoun S. and De Schutter G., Interaction between C₃A, Silica Fume and Naphthalene Sulphonate Superplasticiser in High Performance Concrete," *Construction and Building Materials*, Vol. 23, 2009, pp 3124-3128.
13. Golaszewski J. and Szwabowski J., "Influence of Superplasticizers on Rheological Behavior of Fresh Cement Mortars," *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, 2004, pp 235-248.
14. Erdoğan Ş., "Effect of Retempering with Superplasticizer Admixtures on Slump Loss and Compressive Strength of Concrete Subjected to Prolonged Mixing," *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, 2005, pp 907-912.
15. Alsadey S., "Influence of Superplasticizer on Strength of Concrete," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, Vol. 1, 2012, pp 164-166.
16. Montes, O.B., Palacios, M., Rivilla, P., and Puertas, F., "Compatibility between superplasticizer admixtures and cements with mineral additions," *Construction and Building Materials*, Vol. 31, 2012, pp 300-309.
17. Uysal M. and Yılmaz K., "The Effect of the Use of Excessive Dosages of Plasticizer on Properties of Concrete," *Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University*, Vol. 25, 2012, pp 19-35.

TEA VE TİPA İÇEREN SICAK HAVA DÖKÜMÜNE UYGUN KİMYASAL KATKILARIN ÇİMENTO HARCININ BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ

Kadir KILINÇ

Yardımcı Doçent Doktor

Kırklareli Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü

Kırklareli, TÜRKİYE

kadir.kilinc@klu.edu.tr

Safiye GÜNDOĞAN

Araştırma Görevlisi

Kırklareli Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü

Kırklareli, TÜRKİYE

safiyegundogan@klu.edu.tr

Saadet Gökçe GÖK

Araştırma Görevlisi

Kırklareli Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü

Kırklareli, TÜRKİYE

saadet.gokce.gok@klu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada süperakışkanlaştırıcı sınıfında farklı kimyasal içeriklere sahip akışkanlaştırıcı katkıları kullanılmıştır. CEM I 42.5R Portland çimentosu kullanılarak çimento harcı üretimleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma farklı kimyasal hammaddelerin etkisini görmek amacıyla üç gruptan oluşmaktadır. Birinci grupta farklı miktarlarda sodyum lignosülfonat, naftalin ve su içeren iki farklı kimyasal katkı, ikinci grupta içeriğinde kalsiyum lignosülfonat, trietanolamin (TEA), tribütıl fosfat (TBF) ve formaldehit hammaddeleri yer alan sıcak hava dökümü için uygun modifiye bir kimyasal katkı ve üçüncü grupta ise kalsiyum lignosülfonat, triizopropanolamin (TİPA), TBF ve formaldehit kullanılarak kimyasal katkı hazırlanmıştır. Çimento harcı kıvamı sabit tutularak kimyasal katkıların kullanılmasıyla karışım suyu ihtiyacının değişimi ile TEA ve TİPA'nın basınç dayanımları üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: süperakışkanlaştırıcı, su azaltıcı, kimyasal katkı tasarımı, harç, mekanik özellikler

THE EFFECT OF TEA AND TIPA ADDED CHEMICAL ADMIXTURES FOR HOT WEATHER CONCRETING ON COMPRESSIVE STRENGTH OF MORTARS

ABSTRACT

In this experimental study, plasticizing admixtures in superplasticizer class with different chemical raw material content were used. The cement, one of the raw materials of the concrete, is produced by Traçim Cement Company. CEM I 42.5R Portland cement was used in production of mortars. Experimental study consists of three parts. In the first part, two different chemical additives containing different amounts of sodium lignosulfonate, naphthalene and water were prepared in laboratory conditions. In the second part, a suitable chemical admixture for hot weather concreting was prepared in the laboratory. This chemical admixture contains calcium lignosulfonate, triethanolamine (TEA), tributyl phosphate (TBF), and formaldehyde. The chemical admixtures prepared in the laboratory were used by weight of cement as 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% and 1%. In the third part, a suitable modifying chemical admixture for hot weather concreting was prepared using calcium lignosulfonate, triisopropanolamine (TIPA), TBF and formaldehyde. This chemical admixture was also used by the weight of cement as 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% and 1%. The amount of cement and the amount of natural sand were kept constant in cement mortar mixtures. Cement mortar consistency was same in all mixtures, and the effect of using superplasticizing admixtures on mixing water requirement was determined. The compressive strengths of mortar specimens at the ages of 1, 7 and 28 days were determined by using 40x40x160 mm sized molds. As a result, the effect of TEA and TIPA on compressive strength has been examined.

Keywords: superplasticizer, water reducing, chemical admixture design, mortar, mechanical properties

GİRİŞ

Trietanolamin (TEA), bazı akışkanlaştırıcıların geciktirici etkilerini dengeleyici özelliklere sahip çözünebilir bir organik bileşiktir. TEA, alkanolaminlerin en yaygın olarak bilineni olup priz hızlandırıcıların içinde bileşen halinde ya da nadiren tek başına kullanılabilir [1]. TEA, dozajına bağlı olarak çimentonun reaksiyonunu hızlandırabilir veya geciktirebilir; C_3A hidratasyon kinetiğini hızlandırırken C_3S hidratasyonunu geciktirir [2].

TEA, sıradan Portland çimentosu ile betonun basınç dayanımında azalmaya neden olur, ancak alçıtaşı ile cüruf arasındaki reaksiyon hızını artırır, buna bağlı olarak hidratasyon kinetikleri kireç varlığında hızlandığından, yüksek fırın cürufu çimentolarla farklı davranmaktadır [3]. TEA'nın, Portland çimentosu ile yapılan harçların erken yaş basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı, ancak uçucu kül/çimento ile yapılan harçların erken dayanımında bir artış sağladığı sonucuna varılmıştır [4].

Triisopropanolamin (TİPA) içeren kimyasal katkı maddeleri priz hızlandırıcıları olarak kullanılır. TİPA kullanılarak kazanılan dayanım artışı, klinker minerallerinin ferrit (C_4AF) fazı miktarıyla değişir [5]. TİPA'nın priz hızlandırıcı performansı TEA'dan daha fazladır [6]. Sandberg ve Doncaster, TİPA'nın hem Portland çimentosu hamurunda hem de harçta dayanım artıran bir özellik sunduğunu ve dayanım arttırmanın ara yüzey geçiş bölgesi mekanizmasına bağlı olmadığını tespit etmiştir [7].

AMAÇ

Bu araştırmada, çimento harcı kıvamı sabit tutularak süperakışkanlaştırıcı katkıların kullanılmasıyla karışım suyu ihtiyacının değişimi gözlenmiştir. Ayrıca, TEA ve TİPA'nın basınç dayanımları üzerindeki etkisi detaylıca incelenmiştir. Bu deneysel çalışmada üç farklı grup deneysel çalışma yapılmıştır. Birinci grupta, içeriğinde sodyum lignosülfonat, naftalin ve su bulunan kimyasal

katkının karışım suyu ihtiyacı üzerindeki etkisi ve basınç dayanımı üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmış, iki farklı katkı karışımı hazırlanmış ve deneyler yapılmıştır. İkinci grupta, içeriğinde kalsiyum lignosülfonat, TEA, TBF ve formaldehit yer alan sıcak hava dökümü için uygun bir modifiye kimyasal katkı laboratuvarında hazırlanmıştır ve çimento ağırlığının %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %1'i oranında kullanılarak farklı çimento harcı karışımları üretilmiştir. Üçüncü grupta ise yine aynı şekilde sıcak hava dökümü için uygun bir modifiye kimyasal katkı kalsiyum lignosülfonat, TİPA, TBF ve formaldehit hammaddeleri kullanılarak laboratuvarında hazırlanmış ve kimyasal katkılar çimento ağırlığının %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %1'i oranında kullanılarak farklı çimento harcı karışımları üretilmiştir. Çimento miktarı, doğal kum ve kırma kum miktarı sabit tutulmuştur. Çimento harcı kıvamı sabit tutularak süperakışkanlaştırıcı katkıların kullanılmasıyla karışım suyu ihtiyacındaki değişimin gözlenmesi ve ayrıca, TEA ve TİPA'nın basınç dayanımları üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Malzeme ve Metot

Bu çalışmada süperakışkanlaştırıcı sınıfında farklı kimyasal içeriklere sahip TEA ve TİPA içeren akışkanlaştırıcı katkılar kullanılmıştır. Kullanılan kimyasal katkı hammaddeleri sıvı fazdadır. Betonlu oluşturan hammaddelerden biri olan çimento Traçim Çimento San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilmiş olup CEM I 42.5R Portland çimentosu kullanılmıştır.

Birinci grupta farklı miktarlarda sodyum lignosülfonat, naftalin ve su içeren iki farklı kimyasal katkı laboratuvarında hazırlanmıştır. Hazırlanan katkı dizaynları Tablo 1'de; karışımda kullanılan çimento, su, agrega ve katkı miktarları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Birinci grup çalışmada hazırlanan katkılar için hammadde miktarları.

	Sodyum lignosülfonat (g)	Naftalin (g)	Su (g)	Toplam (g)
Katkı 1	10.8	23.8	15.4	50
Katkı 2	6.4	33.4	10.2	50

Tablo 2: Birinci grup karışımında kullanılan çimento, su, agrega ve katkı miktarları.

Çimento tipi	Karışımlar	Çimento (g)	Su (g)	Doğal Kum (g)	Kırma Kum (g)	Katkı (g)
Traçim	Şahit	450	225	675	675	0
	Katkı 1 içeren karışım	450	202.12	675	675	4.5
	Katkı 2 içeren karışım	450	210	675	675	4.5

Hazırlanan iki karışımın kıvamı sabit tutularak süperakışkanlaştırıcı katkıların kullanılmasıyla karışım suyu ihtiyacının değişiminde katkının etkisi gözlenmiştir. Hazırlanan süperakışkanlaştırıcı katkıların kullanılmasıyla karışım suyu ihtiyacının azaldığı gözlenmiştir. Kimyasal katkılar çimento ağırlığının %1'i oranında kullanılmıştır.

İkinci grupta ise sıcak hava dökümü için uygun bir modifiye kimyasal katkı laboratuvarında hazırlanmıştır. Bu kimyasal katkının içeriğinde kalsiyum lignosülfonat, TEA, TBF ve formaldehit yer almaktadır. Hazırlanan katkı dizaynı Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3: İkinci grup çalışmada hazırlanan katkılar için hammadde miktarları ve hammadde yüzdeleri.

	Kalsiyum lignosülfonat	TEA	TBF	Formalin	Toplam
Miktar (g)	49.25	0.4	0.175	0.175	50
Ağırlıkça Yüzde (%)	98.5	0.8	0.35	0.35	100

Laboratuvarda hazırlanan bu kimyasal katkı çimento ağırlığının %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %1'i oranında kullanılarak farklı çimento harcı karışımları üretilmiştir.

Tablo 4'te çimento ağırlığının %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %1'i oranında kimyasal katkı kullanılarak üretilen farklı çimento harcı karışımları gösterilmiştir.

Tablo 4: İkinci grup çalışma için yapılan çimento harcı tasarımı.

	Şahit	Karışım 1	Karışım 2	Karışım 3	Karışım 4	Karışım 5
Çimento (g)	450	450	450	450	450	450
Doğal kum (g)	675	675	675	675	675	675
Kırma kum (g)	675	675	675	675	675	675
Su (g)	225	210	205	200	225	215
Katkı (%)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	1
Katkı (g)	0	0.45	0.9	1.35	1.8	4.5

Üçüncü grupta ise yine aynı şekilde sıcak hava dökümü için uygun bir modifiye kimyasal katkı kalsiyum lignosülfonat, TİPA, TBF ve formaldehit kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan katkı dizaynı Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5: Üçüncü grup çalışmada hazırlanan katkılar için hammadde miktarları ve hammadde yüzdeleri.

	Kalsiyum lignosülfonat	TİPA	TBF	Formalin	Toplam
Miktar (g)	49.25	0.4	0.175	0.175	50
Ağırlıkça Yüzde (%)	98.5	0.8	0.35	0.35	100

Bu kimyasal katkı da çimento ağırlığının %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %1'i oranında kullanılarak farklı çimento harcı karışımları hazırlanmıştır. Çimento harcı karışımlarında çimento miktarı, doğal kum ve kırma kum miktarı sabit tutulmuştur. Tablo 6'da çimento ağırlığının %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %1'i oranında kimyasal katkı kullanılarak üretilen farklı çimento harcı karışımları gösterilmiştir.

Tablo 6: Üçüncü grup çalışma için yapılan çimento harcı tasarımı.

	Şahit	Karışım 1	Karışım 2	Karışım 3	Karışım 4	Karışım 5
Çimento (g)	450	450	450	450	450	450
Doğal Kum (g)	675	675	675	675	675	675
Kırma Kum (g)	675	675	675	675	675	675
Su (g)	225	235	230	225	220	220
Katkı (%)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	1
Katkı (g)	0	0.45	0.9	1.35	1.8	4.5

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Birinci Deney Grubundan Elde Edilen Sonuçlar

40x40x160 mm boyutlu çelik kalıplar kullanılarak üretilen numunelerin 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Sodyum lignosülfonat ve naftalin esaslı katkılı betonların 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları Tablo 7’de gösterilmiştir. Her bir yaş için basınç dayanımı değeri üç adet numunenin ortalamasıdır.

Tablo 7: Birinci grup çalışmada üretilen sodyum lignosülfonat ve naftalin esaslı katkılı betonların 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları.

	Basınç Dayanımı (MPa) 1 günlük	Basınç Dayanımı (MPa) 7 günlük	Basınç Dayanımı (MPa) 28 günlük
Şahit	11.82	39.18	50.69
Katkı 1 içeren karışım	8.31	37.11	45.93
Katkı 2 içeren karışım	8.98	35.69	54.02

Katkılı numunelerin 1 ve 7 günlük basınç dayanımlarında bir artış gözlenmemesine rağmen 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında Katkı 2 kullanılarak hazırlanan numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarında şahit numunelerin basınç dayanımlarına göre bir artış meydana gelmiştir.

İkinci Deney Grubundan Elde Edilen Sonuçlar

Çimento harcı karışımlarında çimento miktarı, doğal kum ve kırma kum miktarı sabit tutulmuştur. 40x40x160 mm boyutlu kalıplar kullanılarak üretilen numunelerin 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Tablo 8’de modifiye kimyasal katkı ile üretilen beton numunelerinin 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları verilmiştir. Her bir yaş için basınç dayanımı değeri üç adet numunenin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

Tablo 8: İkinci grup çalışmada üretilen beton numunelerin 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları.

	Basınç Dayanımı (MPa) 1 günlük	Basınç Dayanımı (MPa) 7 günlük	Basınç Dayanımı (MPa) 28 günlük
Şahit	11.82	39.18	50.69
Karışım 1	8.41	34.69	36.16
Karışım 2	9.64	37.36	40.31
Karışım 3	12.43	38.39	39.54
Karışım 4	8.66	30.96	49.85
Karışım 5	5.63	34.53	46.89

Üçüncü Deney Grubundan Elde Edilen Sonuçlar

Çimento harcı kıvamı sabit tutularak süperakışkanlaştırıcı katkıların kullanılmasıyla karışım suyu ihtiyacının değişimi gözlenmiştir. 40x40x160 mm boyutlu kalıplar kullanılarak üretilen numunelerin 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Tablo 9’da numunelerin 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları verilmiştir. Her bir yaş için belirtilen basınç dayanımı değeri üç adet numunenin ortalamasıdır.

Tablo 9: Üçüncü grup çalışmada üretilen beton numunelerin 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları.

	Basınç Dayanımı (MPa) 1 günlük	Basınç Dayanımı (MPa) 7 günlük	Basınç Dayanımı (MPa) 28 günlük
Şahit	11.82	39.18	50.69
Karışım 1	15.39	35.41	39.21
Karışım 2	14.58	40.26	45.36
Karışım 3	14.95	39.06	39.4
Karışım 4	14.75	42.04	46.775
Karışım 5	4.73	30.1	51.64

SONUÇ

Sonuç olarak TEA ve TİPA hammaddelerinin basınç dayanımları üzerindeki etkisinin farklı olduğu görülmüştür. TEA hammaddesi içeren katkılı karışımlarda dayanımların genelde şahit karışımın dayanımlarına oranla daha düşük olduğu açıkça görülmektedir. Ancak TİPA hammaddesi içeren katkılı karışımlarda dayanımlardaki davranışın düzenli olmadığı sonucuna varılmıştır. Özellikle TİPA hammaddesi içeren kimyasal katkının çimento ağırlığının %1'i oranında kullanılması durumunda 28 günlük basınç dayanımının şahit karışımın 28 günlük basınç dayanımından daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Burada, hedeflenen özelliklere ulaşabilmede kimyasal katkı dozajının da önemli bir faktör olduğu söylenebilir. Öneri olarak ise hem TEA hem de TİPA hammaddeleri içeren bu deneysel çalışmada kullanılan katkı dizaynı ile beton dökümlerinin gerçekleştirilmesi ve bu hammaddelerin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi sunulabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Myrdal, R., 2007. Accelerating admixtures for concrete, SINTEF Report, Norway. ISBN: 978-82-536-0989-8.

- [2] Hewlett, P. C., 1998. Lea's Chemistry of Cement and Concrete, Fourth Edition, Arnold, London, pp. 837-901.

- [3] Ramachandran, V. S., 1995. Concrete Admixtures Handbook, Second edition, pp. 185-285.

- [4] Heinz, D., Göbel, M., Hilbig, H., Urbonas, L., Bujauskaite, G., 2010. Effect of TEA on fly ash solubility and early age strength of mortar, Cement and Concrete Research, 40, pp. 392-397.

- [5] Ichikawa, M., et al., 1997. "Effect of Triisopropanolamine on Hydration and Strength Development of Cements with Different Character", Proceedings 10th International Congress on the Chemistry of Cement, Gothenburg (Edited by H Justnes), Sweden, June 2-6.

- [6] Aggoun, S., et al., 2008. Effect of some admixtures on the setting time and strength evolution of cement pastes at early ages, Construction and Building Materials, 22, pp. 106-110.

- [7] Sandberg, P. J., Doncaster, F., 2004. On the mechanism of strength enhancement of cement paste and mortar with triisopropanolamine, Cement and Concrete Research, 34, pp. 973-976.

POLİKARBOKSİLAT-ESASLI SU AZALTICI KATKININ ANYONİK MONOMER DEĞİŞİMİNİN ÇİMENTO HAMURU VE HARÇ KARIŞIMLARININ TAZE HAL ÖZELİKLERİNE VE BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ

**Ali MARDANI-AGHABAGLOU¹, Tolga KAPTİ², Süleyman ÖZEN¹, Muhammet
Gökhan ALTUN³, Ece GEVEN¹, Ali NEMATZADEH¹, Kambiz RAMYAR⁴, Uğur
Başak ÖZTÜRK²**

¹Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Nilüfer-Bursa, Türkiye

²Polisan Kimya, İstanbul, Türkiye

³Bursa Büyükşehir Belediyesi, Bursa, Türkiye

⁴Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bornova-İzmir, Türkiye

ÖZET

Günümüzde farklı özelliklere sahip su azaltıcı katkıları üretilmektedir. Su azaltıcı katkı özellikleri çimentolu sistemlerin taze ve bazı sertleşmiş hal özelliklerini ciddi mertebede etkilemektedir. Çimentolu sistemlerin özelliklerini etkileyen, polikarboksilat-esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkılardan kaynaklanan başlıca faktörler, katkının kimyasal bileşimi, molekül ağırlığı, ana zincir uzunluğu, yan zincir uzunluğu ve molekülleri arasındaki bağ türü olarak sıralanabilir. Bu çalışmada, polikarboksilat-eter esaslı su azaltıcı katkının anyonik monomer değişiminin çimento hamuru ve harç karışımlarının davranışlarına etkisi araştırılmıştır. Ana zinciri aynı, ana zincire bağlanan anyonik monomerleri farklı 3 adet polikarboksilat-eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Sülfonat ve fosfat fonksiyonel grubu içeren anyonik monomerler,%10 mol oranında karboksilat esaslı anyonik monomeri ile yer değiştirilmiştir. Anyonik monomerler olarak, birinci katkıda sadece

karboksilat, ikinci katkıda hem karboksilat hem sülfonat üçüncü katkıda ise hem karboksilat hem de fosfat fonksiyonel grubu içeren monomerler kullanılmıştır. Tüm polimerlerin anyonik içeriği sabit tutulmuştur. Bağlayıcı olarak tek tip CEM I 42,5 R çimentosu kullanılarak çimento hamuru ve harç karışımları üretilmiştir. Hamur karışımlarının Marsh-hunisi akış süresi ve mini-yayılma değerleri belirlenmiştir. Tüm harç karışımlarında su/çimento oranı, kum/bağlayıcı oranı ve yayılma değerleri sırasıyla 0,485, 2,75 ve 270 ± 20 mm olarak sabit tutulmuştur. Harç karışımlarının zamana bağlı akış değeri ve V-hunisi akış süresi değişimi incelenmiştir. Buna ilaveten, harç karışımlarının 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları da elde edilmiştir. Deney sonuçlarına göre su azaltıcı katkının karboksilat anyonik grubunun %10 mol oranında sülfonat ve fosfat fonksiyonel grubu ile yer değişimi hamur ve harç karışımlarının taze hal özelliklerini iyileştirmiştir. Söz konusu değişimin harç karışımlarının basınç dayanımına ciddi mertebede etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Polikarboksilat-esaslı su azaltıcı katkı, hamur karışımı, harç karışımı, taze hal özellikleri

EFFECT OF POLYCARBOXYLATE BASED WATER REDUCING ADMIXTURE ANIONIC MONOMER CHANGE ON THE FRESH STATE PROPERTIES OF CEMENT PASTE AND MORTAR MIXTURES

ABSTRACT

Nowadays water reducing admixtures having different properties are manufactured. The properties of water reducing admixture seriously affect the fresh and some hardened properties of cementitious systems. The major factors affecting properties of cementitious systems arisen from the polycarboxylate-based high range water reducing admixture can be listed as chemical composition, molecular weight, length of the main chain, number and length of the side chain and bond type between the molecules. In this study, the effect of anionic monomer change of the polycarboxylate-

ether- based water reducing admixture on the properties of cement paste and mortar mixtures was investigated. For this purpose, three different polycarboxylate ether-based high-range water reducing admixtures having same main chain but different anionic monomers bonded to the main chain were used. The sulfonate and phosphate functional group-containing anionic monomers were replaced with carboxylate anionic groups by 10 molar percent. In the first admixture only carboxylate, in the second admixture both the carboxylate and sulfonate and in the third admixture, both the carboxylate and phosphate functional group- containing monomers were used. The anionic content of all polymers was kept constant. The cement paste and mortar mixtures were prepared by using CEMI 42.5 R type cement. Marsh-funnel flow times and mini-slump values of the paste mixtures were determined. Water/cement ratio, sand/binder ratio and flow values of all mortar mixtures were kept constant as 0.485, 2.75 and 270 ± 20 mm, respectively. The time-dependent flow and V-funnel flow times of mortar mixtures were investigated. In addition, 1, 3, 7 and 28-day compressive strength of the mortar mixtures were obtained. According to the test results, fresh properties of the paste and mortar mixtures improved by replacing 10% of carboxylate based anionic monomers of water-reducing admixture with the sulfonate and phosphate functional groups. It was found that these changes had not a significant effect on the compressive strength of mortar mixtures.

Keywords: Polycarboxylate based water reducing admixture, paste mixture, mortar mixture, fresh state properties

1. GİRİŞ

1981 yıllarında üretimine başlanan su azaltıcı katkıları günümüzde beton sektöründe sıkça kullanılmaktadır[1]. Su azaltıcılar; su azaltma özelliği sayesinde yüksek dayanımlı betonların imal edilmesini, kalıp alma süresini kısaltarak inşaat hızının artmasını, daha işlenebilir ve daha uzun servis ömrü olan betonların daha düşük maliyet ile üretilmesini sağlar. Son zamanlarda farklı özelliklere sahip çeşitli su azaltıcı katkıları üretilmektedir. Söz konusu katkıları, sağladığı olumlu etkilerin yanı sıra beton karışımlarında olumsuz etkilerin oluşumuna da sebep olabilir. Çimentolu sistemlerin taze hal ve bazı sertleşmiş hal özelliklerini etkileyen parametrelerin bir kısmı kullanılan çimentodan, bir kısmı su azaltıcı katkıdan, diğer kısmı ise karışım oranı, sıcaklık ve bakım koşulları gibi faktörlerden

kaynaklanmaktadır [2-4]. Çimento özelliklerinden kaynaklanan etkiler sırasıyla, çimentonunkimyasal kompozisyonu ve ana bileşenlerinin miktarı ile yapısı (C3A ve C4AF miktarı ve C3A'nın kristal yapısı), çimentonun inceliği ile alkali içeriği ve çimento üretimi esnasında klinkere eklenen kalsiyum sülfatın (alçının) miktarı ve türü ile ilişkili olabilmektedir [5-8].Polikarboksilat esaslı su azaltıcı katkıya bağlı etkenler içinde ana zincir uzunluğu, yan zincir sayısı ve uzunluğu, molekül ağırlığı, moleküller arası bağ yapısı, kimyasal bileşimi, yoğunluğu, adsorpsiyon özelliği, beton karışımına katılış şekli ve sırası önem kazanmaktadır [2, 3, 9-13].

2. AMAÇ

Bu çalışmada, polikarboksilat-eter esaslı su azaltıcı katkının anyonik monomer değişiminin çimento hamuru ve harç karışımlarının davranışlarına etkisi araştırılmıştır. Anyonik monomeri olarak, birinci katkıda sadece karboksilat, ikinci katkıda hem karboksilat hem sülfonat üçüncü katkıda ise hem karboksilat hem de fosfat fonksiyonel grubu içeren monomerler kullanılmıştır. Bu bağlamda tüm harç karışımlarında su/çimento oranı (0,485), kum/bağlayıcı oranı (2,75) ve yayılma değerleri (270 ± 20) olarak sabit tutulmuştur. Üretilen tüm harç karışımların 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları elde edilmiş olup, su azaltıcı katkının anyonik monomeri değişimi ile katkıların performansları kıyaslanmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada,bağlayıcı olarak TS EN 197-1 [14] standardına uygun CEM I 42,5 R tipi portland çimentosu,agrega olarak ise TS EN 196-1 [15]standardına uygun standart kum kullanılmıştır. Üretici firma tarafından verilen çimentonun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri ile kullanılan standart kumun tane büyüklüğü dağılımı sırasıyla Çizelge 1 ve 2' de verilmiştir. Agreganın özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi TS EN 1097-6 [16] standardına uygun olarak sırasıyla 2,72 ve kütlece %0,7 olarak elde edilmiştir.

Ana zinciri aynı, ana zincire bağlanan anyonik grupları farklı 3 adet polikarboksilat-eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılarak toplamda 3 seri karışım üretilmiştir. Anyonik yan zincir olarak,

birinci seride sadece karboksilat, ikinci seride hem karboksilat hem defosfat üçüncü seride ise hem karboksilat hem de sülfonat fonksiyonel grupları içeren monomerler kullanılmış olup deneysel çalışma kapsamında sırasıyla SA-K, SA-%10F ve SA-%10S olarak gösterilmiştir. Ayrıca tüm polimerlerin toplam anyonik içeriği sabit tutulmuştur. 2. ve 3. seri su azaltıcı katkılarda kullanılan anyonikmonomerlerinkarboksilat fonksiyonel grubu %10 mol oranında sülfonat ve fosfat grupları ile ikame edilmiştir.

Çizelge 1.Çimentonun kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekanik özellikleri

Oksit (%)		Fiziksel özellikleri	
SiO ₂	18,86	Özgül ağırlık	3,15
Al ₂ O ₃	5,71	Mekanik özellikleri	
Fe ₂ O ₃	3,09	Basınç dayanımı (MPa)	1-günlük 14,7
CaO	62,70		2-günlük 26,8
MgO	1,16		7-günlük 49,8
SO ₃	2,39		28-günlük 58,5
Na ₂ O+0.658 K ₂ O	0,92	İncelik	
Cl ⁻	0,01	Özgül yüzey (Blaine, cm ² /g)	
Çözünmeyen kalıntı	0,32	0,045 mm elekte kalıntı (%)	
Kızdırma kaybı	3,20		
Serbest CaO	1,26		

Çizelge 2. Standart kumun tane büyüklüğü dağılımı ve standart sınırları

Kare Göz Açıklığı	Kalan (%)	Yığılımlı Elekte Kalan (%)
2,00	0	0
1,60	4,32	7±5
1,00	33,98	33±5
0,50	67,11	67±5
0,16	86,85	87±5
0,08	99,83	99±5

İlk aşamada, çimento hamuru karışımları hazırlanarak kullanılan katkıların çimento ile uyumluluğu Marsh-Hunisi akış süresi ve mini-çökme deneyleriyle incelenmiştir. Önceki çalışmalarda su/çimento oranı için önerilen 0,35-0,40 oranları dikkate alınarak bu çalışmadaki tüm hamur karışımlarda su/çimento oranı 0,35 olarak seçilmiş, çimento ve su miktarları sabit tutulmuştur [17]. Her çimento-katkı ikilisi için çimento ağırlığının %0,5' i ile %2,25' i arasında değişen oranlarda su azaltıcı katkı

kullanılarak her seri için sekizer adet hamur karışımı hazırlanmıştır. Yaklaşık 1,2 litre hacimli homojen çimento hamuru hazırlanmasından hemen sonra alt ucu parmakla kapatılan Marsh-hunisi içine dökülüp daha sonra parmak huni ucundan kaldırılarak 700 mL hamur boşalana kadar geçen süre ölçülmüştür. Elde edilen süre o karışımın akış süresi olarak belirlenmiştir. Marsh hunisi deneyi, hamur karışımlarının geçiş süresinin belirlenmesi ilkesine dayanmaktadır [10]. Bu deney yönteminde katkı dozajı ve akış süresi arasındaki ilişki incelenerek katkının doygunluk noktası belirlenmektedir. Akışkanlaştırıcı katkı dozajı arttıkça çimento hamurunun akış süresinde azalma gözlemlenmiştir. Ancak, katkı dozajı belirli bir sınırın üstüne çıktığında çimento hamuru akış süresinde önemli bir değişim görülmemiştir. Bu değerdeki katkı dozajı, katkı-çimento ikilisinde kullanılan akışkanlaştırıcı katkının doygunluk noktası olarak tespit edilmiştir. Bu dozajın üstünde katkı kullanımı karışımda ayrışma oluşumunun yanı sıra ekonomik zarara da sebep olmaktadır [11]. Marsh-hunisi deneyi için hazırlanan hamur karışımı mini çökme deneyinde kullanılmıştır. Bu deneyde hazırlanan hamur karışımı düzgün bir yüzeyin merkezine konulan, alt iç çapı 38,1 mm, üst iç çapı 19 mm ve yüksekliği 57,2 mm olan kesik koni biçimli bir kalıbın içine doldurulur [18]. Çökme kalıbı düşey olarak yavaşça kaldırılır ve yayılmanın tamamlanması için bir süre (10-20 sn) beklenir. Daha sonra kumpas yardımıyla birbirine dik iki doğrultuda yayılma çapı ölçülerek ortalaması alınır ve kaydedilir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise çimento hamuru karışımları ile benzer 3 farklı seri harç karışımı ASTM C109 [19] standardına uygun ve homojen olarak hobart mikserinde hazırlanmıştır. Tüm karışımlarda su/çimento(S/Ç), kum/çimento oranları ve yayılma değeri sırasıyla, 0,485, 2,75 ve 270±20 mm olacak şekilde sabit tutulmuştur. İstenen yayılma değerini karşılayacak şekilde, anyonik monomer yapısı farklı üç su azaltıcı katkının kullanım oranları belirlenmiştir. Harç karışımı üretiminde kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3’te verilmiştir.

Yayılma değerleri sonuçlarından anlaşıldığı gibi karboksilat grubunun %10 mol oranında fosfat ve sülfonat fonksiyonel grupları ile yer değiştirmesi, sabit bir yayılma değerini elde etmek için katkı gereksinimini olumsuz etkilememiştir. Harç karışımlarının zamana bağlı yayılma değişimini incelemek amacı ile tüm karışımlarda çimento ağırlığının %0,34’ü kadar sabit miktarda farklı su azaltıcı katkıları kullanılarak 3 farklı karışım tekrardan üretilmiştir. Üretilen karışımların 1 saat boyunca her 15 dakikada bir yayılma değerleri ASTM C1437 [20] standardına uygun olacak şekilde ölçülmüştür.

Harç karışımların mini V hunisi testi EFNARC [21]kriterlerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu testte huni tamamen harçla doldurulur ve zaman kaybetmeden alttaki kapak açılarak kendi ağırlığıyla harcın akışı sağlanır. Kapak açıldığı anda süre başlatılır. Harç akışı esnasında huniye tepeden bakılarak tabandan ışık görülmesi anında süre durdurularak akış süresi belirlenir. Mini V hunisi deneyi karışımların doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnci ve viskozitesi hakkında bilgi vermektedir.

Harç karışımlarının zamana bağlı mini V-hunisi akış süresi değişimini araştırmak için 270 ± 20 mm yayılma değerine sahip karışımlar hazırlanarak 30 dakikaya kadar 15 dakika zaman aralıklarıyla ölçümler alınmıştır. Ayrıca söz konusu karışımların 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları 50 mm'lik küp numuneler üzerinde ASTM C109 [19] standardına uygun olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3. Harç karışımlarının üretiminde kullanılan kütlege malzeme oranları

	SA-K	SA-%10F	SA-%10S
Çimento	1	1	1
Su	0,485	0,485	0,485
Standart kum	2,75	2,75	2,75
Su azaltıcı katkı	0,0032	0,003	0,0032
Yayılma, mm	256	260	253

4. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRME

4.1. Taze Hal Özellikleri

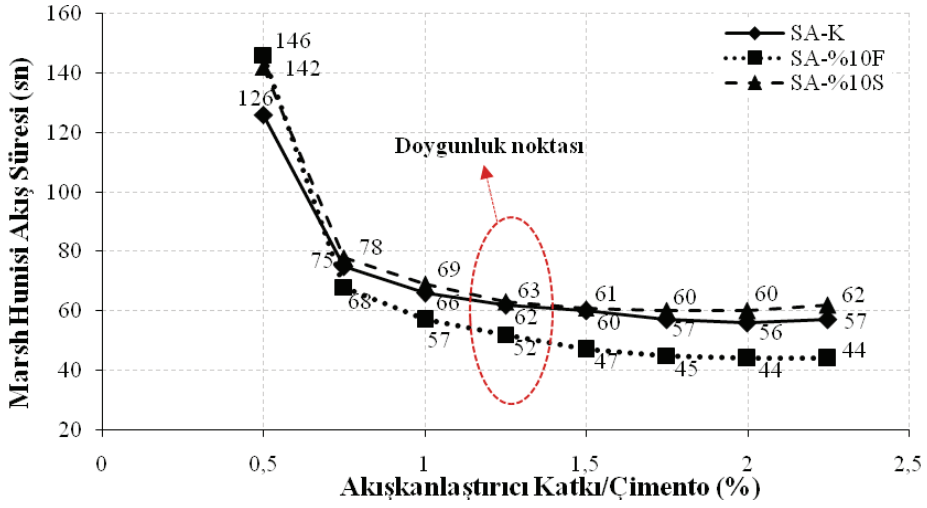
Hamur karışımlarının Marsh hunisi akış süresi mini-çökme ve sıcaklık değerleri Çizelge 4 ve Şekil 1' de verilmiştir. Çimento ağırlığının %0,5' inden daha az miktarda su azaltıcı katkı içeren hamur karışımları Marsh-Hunisinden akmadığından bu karışımların akış süreleri ölçülememiştir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi akışkanlaştırıcı katkı tipinden bağımsız olarak su azaltıcı katkı kullanım oranının artmasıyla hamur karışımlarının akış süreleri beklenildiği gibi azalmıştır. Çimento ağırlığının %0,5' i kadar SA-%10F ve SA-%10S katkı içeren karışımların Marsh hunisi akış süreleri aynı miktarda SA-K

katkı içeren karışıma göre sırasıyla %15 ve %12 oranında uzamıştır. Katkı oranları artırıldığında SA-%10F katkılı hamur karışımının akış süresinin diğer katkılı karışımlara göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Bu bağlamda SA-K ve SA-%10S katkılı karışımlar Marsh hunisi akışı açısından benzer davranışlar göstermiştir. Katkı türünden bağımsız olarak tüm çimento-katkı ikilisi için doygunluk noktası, akışkanlaştırıcıkatkı/çimento oranının %1,25 olduğu durumda tespit edilmiştir. Ancak, doygunluk noktasındaki akış süreleri dikkate alındığında SA-%10F karışımı SA-K karışımına kıyasla Marsh hunisinden yaklaşık %20 daha hızlı aktığı anlaşılmıştır. Katkı tipinden bağımsız olarak su azaltıcı katkı kullanım oranının artışıyla hamur karışımlarının mini-çökme değerlerinde beklenildiği gibi bir artış gözlemlenmiştir. Ancak belli bir katkı kullanım oranının üstünde hamur karışımlarının mini-çökme değerlerinde bir sabitlenme veya azalma olmuştur. Bu olayın, çok akıcı olan söz konusu karışımlarda ayrışma oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.Hamur karışımlarının Marsh-hunisi akış süresi, mini-çökmesi ve sıcaklık değerleri

Katkı/çimento oranı (kütlece %)		0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25
Akış süresi, sn	SA-K	126	75	66	62	60	57	56	57
	SA-%10F	146	68	57	52	47	45	44	44
	SA-%10S	142	78	69	63	61	60	60	62
Mini-çökme, mm	SA-K	17	18	18,5	19	20	20	20	20
	SA-%10F	18	18	19	19	19	19	18,5	18,5
	SA-%10S	16,5	17	18	18	18,5	19,5	19	18,5
Sıcaklık, °C	SA-K	30,8	29,8	28,5	28,5	28	28,2	28,4	28
	SA-%10F	28,6	28,4	27,8	27,8	28,6	28,8	29,2	28
	SA-%10S	31	30	29,5	29	28,5	28,5	28	28

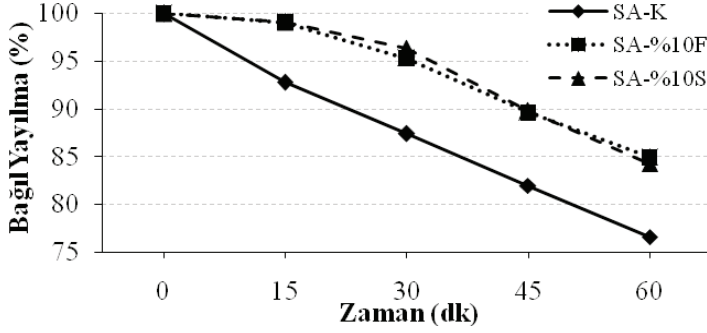


Şekil 1. Hamur karışımlarının akışkanlaştırıcı katkı dozajına bağlı olarak Marsh-hunisi akış süreleri

Sabit miktarda farklı su azaltıcı katkı içeren karışımların zamana bağlı yayılma ve bağlı yayılma değerleri sırasıyla, Çizelge 5 ve Şekil 2’de verilmiştir. Beklenildiği gibi harç karışımlarının yayılma miktarları zamanla azalmıştır. Ancak söz konusu azalmanın anyonik monomerleri değiştirilen SA-%10F ve SA-%10S karışımlarında SA-K karışımına kıyasla daha az olduğu tespit edilmiştir. 60 dakika sonunda, SA-K karışımı %23 oranında yayılma kaybı gösterirken bu kaybın SA-%10F ve SA-%10S karışımlarda %16 oranında olduğu gözlemlenmiştir.

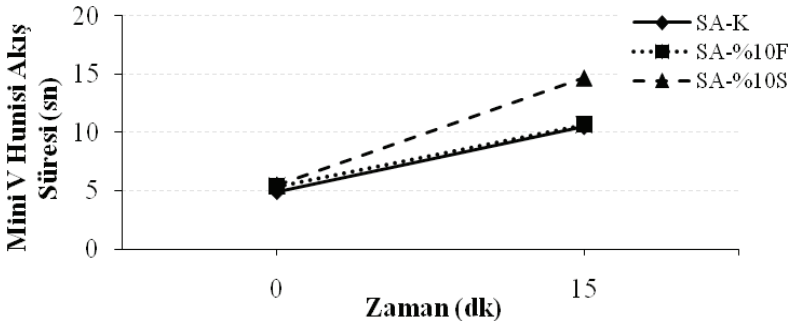
Çizelge 5. Harç karışımlarının zamana bağlı yayılma değerleri

Zamana Bağlı Yayılma (cm)					
Katkı/Zaman	0 dk	15 dk	30 dk	45 dk	60 dk
SA-K	27,75	25,75	24,25	22,75	21,25
SA-%10F	26,50	26,25	25,25	23,75	22,50
SA-%10S	27,00	26,75	26,00	24,25	22,75



Şekil 2. Harç karışımlarının zamana bağlı yayılma değişimi

Harç karışımlarının zamana bağlılığını V hunisi akışı süresi değişimi Şekil 3' te gösterilmiştir. 30 dakika üretim sonrası tüm karışımlar miniV-hunisindenakmadığından ilk 15 dakikaya kadar akış değerleri alınmıştır.Şekil 3'ten de anlaşıldığı gibi, tüm karışımların başlangıç akış süreleri hemen hemen aynı olmuştur. 15 dakika bekleme sonrası, kontrol ve fosfat fonksiyonel grubu içeren karışımlar benzer akış davranışı gösterirken sülfonat grubu içeren karışımın akış süresi artmıştır.Bilindiği gibi, karışımların yayılma ve mini V-hunisi akış süreleri karışımın sırasıyla, eşik kayma gerilmesi ve viskozitesi ile ilgili bilgi vermektedir [22]. Bu çalışmada karboksilat esaslı anyonik monomerinin fosfat ve sülfonat fonksiyonel grubu ile yer değiştirmesi sonuç karışımların yayılma değeriniartırmış ve zamana bağlı yayılma davranışı iyileştirmiştir. Buna bağlı olarak karışımların eşik kayma gerilmesinin azaldığı anlaşılmaktadır. Ancak, sülfonat fonksiyonel grubu kullanımı ile harç karışımının akışkanlığının azalması karışımın viskozitesinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

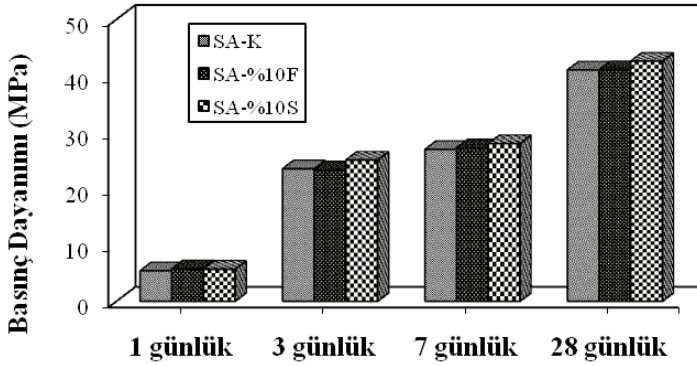


Şekil 3. Harç karışımlarının zamana bağlı mini V hunisi akış süreleri

Sonuçlara dayanarak, su azaltıcı katkıda anyonik içeriğin karboksilat fonksiyonel grubunun %10 mol oranında fosfat ve sülfonat fonksiyonel grupları ile ikame edilmesi hamur ve harç karışımlarının taze hal özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir. Bu bağlamda, fosfat grubu içeren katkı sülfonat grubuna göre daha başarılı olmuştur.

4.2. Basınç Dayanımı

Harç karışımlarının basınç dayanımı sonuçları Şekil 4' te gösterilmiştir. Su azaltıcı katkı anyonik monomeri değişiminin harç karışımlarının basınç dayanımını ciddi mertebede etkilemediği tespit edilmiştir.



Şekil 4. Harç karışımlarının basınç dayanımları

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada kullanılan malzemeler ve uygulanan testler için aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Su azaltıcı katkının karboksilat esaslı anyonik monomerinin %10 mol oranında sülfonat ve fosfat fonksiyonel grupları ile yer değiştirmesi sonucu hamur karışımlarının Marsh-hunisi akış süresi azalmıştır. Bu bağlamda %10 fosfat fonksiyonel grubu içeren katkı en başarılı katkı olarak tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar hamur karışımlarının mini-çökme ölçümlerinde de gözlemlenmiştir. Su azaltıcı katkı doygunluk noktası katkı tipinden etkilenmemiştir.

Su azaltıcı katkının anyonik monomeri değişimi ile harç karışımlarının yayılma değerleri artmıştır. Bu etki zamanla daha belirgin olmuştur. Burada da hamur karışımlarında olduğu gibi %10 fosfat fonksiyonel grubu içeren katkı daha başarılı sonuç vermiştir.

Mini V-hunisi akış süresi açısından %10 sülfonat fonksiyonel grubu içeren karışım düşük performans göstermiştir. Bu olay söz konusu katkı kullanımıyla, karışımın viskozitesinin artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Harç karışımlarının basınç dayanımının katkı anyonik monomeri değişiminden kayda değer mertebede etkilenmediği tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmada kullanılan su azaltıcı katkıların temini için Polisan Kimya A.Ş.'ye standart kum temini için Bursa Beton A.Ş' ye teşekkür eder.

KAYNAKLAR

1. Plank, J., Sakai, E., Miao, C. W., Yu, C., & Hong, J. X. (2015). Chemical admixtures-Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability. Cement and Concrete Research, 78, 81-99.
2. Bedard, C., &Mailvaganam, N. P. (2005). The use of chemical admixtures in concrete. Part I: Admixture-cement compatibility. Journal of Performance of Constructed Facilities, 19(4), 263-266.
3. Bonen, D., & Sarkar, S. L. (1995). The superplasticizer adsorption capacity of cement pastes, pore solution composition, and parameters affecting flow loss. Cement and Concrete Research, 25(7), 1423-1434.
4. Ramachandran, V.S., (1995). Concrete Admixtures Handbook. Noyes Publications, New Jersey.
5. Roberts, L.R., (1995). Dealing with cement admixture interactions, 23rd Annual Convention of the Institute of Concrete Technology, Telford, UK.
6. Jiang, S., Kim, B. G., &Aİtcin, P. C. (1999). Importance of adequate soluble alkali content to ensure cement/superplasticizer compatibility. Cement and Concrete Research, 29(1), 71-78.
7. Jolicoeur, C., Nkinamubanzi, P. C., Simard, M. A., &Piotte, M. (1994). Progress in understanding the functional properties of superplasticizers in fresh concrete. Special Publication, 148, 63-88.

8. Ramachandran, V.S., (2002). Concrete admixtures handbook, Standard Publishers, New Delhi.
9. Flatt, R. J., &Houst, Y. F. (2001). A simplified view on chemical effects perturbing the action of superplasticizers. Cement and Concrete Research, 31(8), 1169-1176.
10. Mardani-Aghabaglou, A., Felekoğlu, B., & Ramyar, K. (2017a). Effect of Cement C3A Content on Properties of Cementitious Systems Containing High-Range Water-Reducing Admixture. Journal of Materials in Civil Engineering, 29(8), 04017066.
11. Mardani-Aghabaglou, A., Son, A. E., Felekoğlu, B., Ramyar, K. (2017b). Effect of cement fineness on properties of cementitious materials containing high range water reducing admixture. Journal of Green Building, 12(1): 142-167.
12. Mardani-Aghabaglou, A., Tuyan, M., Yılmaz, G., Arıöz, Ö., & Ramyar, K. (2013). Effect of different types of superplasticizer on fresh, rheological and strength properties of self-consolidating concrete. Construction and Building Materials, 47, 1020-1025.
13. Mardani-Aghabaglou, A., Boyaci, O.C., Hosseinneshad, H., Felekoğlu, B., & Ramyar, K. (2016). Effect of gypsum type on cement-high range water reducing admixture compatibility. Cement and Concrete Composites, 68:15-26.
14. TS EN 197-1, Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TSE, Ankara, 2012.
15. TS EN 196-1, Çimento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım tayini, TSE, Ankara, 2016.
16. TS EN 1097-6, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini, TSE, Ankara, 2013.
17. Aitcin, P.C., High Performance Concrete, E&FN SPON, New York, 2004.
18. Kantro, D. L. (1980). Influence of water-reducing admixtures on properties of cement paste-a miniature slump test. Cement, Concrete and Aggregates, 2(2), 95-102.
19. ASTM C109, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens).
20. ASTM C1437, Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar.
21. EFNARC, 2005. Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete, EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org.
22. Mardani-Aghabaglou, A. 2016.Portland çimentosu ve süper akışkanlaştırıcı katkı uyumunun incelenmesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

THE APPLICATIONS OF CROSS-LINKED POLYMERS AS SUPERPLASTICIZER IN CEMENT PASTES

Gölce ŞENTÜRK GÜZEY

M.Sc.

Süleyman Demirel University

Isparta, Turkey

S. Gamze ERZENİN

Asst. Prof. Dr.

Süleyman Demirel University

Isparta, Turkey

Ebru CENGİZ

B.Sc.

Süleyman Demirel University

Isparta, Turkey

Sibel SELEK

B.Sc.

Süleyman Demirel University

Isparta, Turkey

ABSTRACT

Novel cross-linked polycarboxylate polymers were synthesized, their effects on the fluidity and rheological behaviours of cement pastes by time were discussed. Polycarboxylate polymers with crosslink-structure are employed as slump loss control agent, are more popular due to higher early strength and reduced viscosity of concrete. In our study, superplasticizers were synthesized by free radical polymerization. Polymerization reaction was carried out at 75°C with purging nitrogen gas. Superplasticizer effect on paste fluidity was determined by Kantro “mini-slump” test. On the other hand, the rheological behaviours of cement pastes were examined with a rheometer by plotting flow

curves. According to Bingham model, cross-linked polymers reduced the yield stresses and plastic viscosities of superplasticized cement pastes highly. As a result both spread and rheology results showed that, novel cross-linked superplasticizers not only increase the fluidity of the system but also provide fluidity retention throughout 2h time.

Keywords : polycarboxylate, cross-linked polymer, rheology, workability, cement paste

INTRODUCTION

The demand of concrete equipped with advanced properties is increasing day by day and such material is called as High Performance Concrete (HPC). Various chemical and mineral admixtures are used for designing HPC. New generation superplasticizer (SP) is one of them having superior performance to that of conventional plasticizers.

Polycarboxylate-based superplasticizers provide higher workability to cement systems. In the middle of the 1980s, Nippon Shokubai together with Nippon Master Builder Technologies invented a new class of SPs based on polycarboxylate (PC) chemistry having poly(ethylene oxide) (PEO) side chains [1]. The superior dispersion stability of polycarboxylates in cement paste has clearly solved the largest problems raised by the other class of SPs. Because of this reason, recently, the demand of polycarboxylate in the concrete admixture industry is sharply increased in the world [2,3].

Polycarboxylate-based SPs have both electrostatic and dominant steric effects. They can work as dispersants after adsorption onto cement surfaces through the attachment to carboxylic groups in polycarboxylates. Some researchers have discussed the significance of the chemical structure of polycarboxylate-based SPs [4,5]. Generally, the performance of polycarboxylate is determined by parameters such as side chain length, side chain density (and therefore amount of negatively charged

groups) and main chain length [3,6]. Nowadays, some different type of polycarboxylates are synthesized which are called as “cross-linked polymers”. A few researchers [7] were studied on these polymers and rarely reported their performances on improving workability retention and reducing cement paste viscosity.

AIM OF THE STUDY

The aim of the study is the synthesis of novel cross-linked polycarboxylate polymers and the evaluation of their effects on the fluidity and rheological behaviours of cement pastes by time. For this purpose, a cross-link agent (poly(propylene glycol) dimethacrylate) was used in polymerization reactions. The slump loss control performances of novel cross-linked polycarboxylate SPs for cement pastes were determined with “Kantro mini-slump test”. Additionally, the rheological parameters (shear yield stress and plastic viscosity) of pastes were also calculated by using “Bingham model”.

EXPERIMENTAL

Materials

For the synthesis of superplasticizers, methacrylic acid-MAA, poly(propylene glycol) dimethacrylate-PPGDMA and poly(ethylene glycol) methyl ether acrylate-PEGA were used. Ammonium persulfate-APS was selected as a chemical initiator. Cement pastes were prepared with CEM I 42.5 R Portland cement, the properties of cement was defined in Table 1. CEN Standard Sand [8] was used in the experiments of cement mortars.

Table 1

Compound composition, chemical and physical properties of CEM I 42.5 R

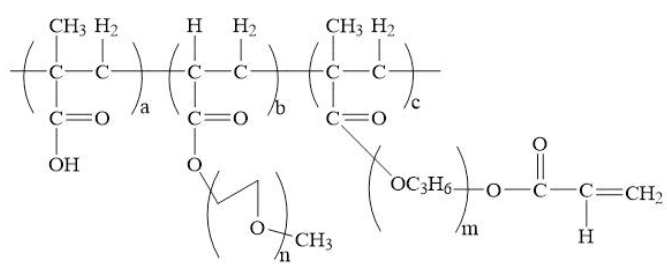
Compound composition	wt. %	Physical properties
C ₃ S	61.34	Density (g/cm ³)
C ₂ S	10.66	3.14
C ₃ A	5.60	Blaine fineness (cm ² /g)
C ₄ AF	10.25	3480
		Initial setting time (min.)
Chemical composition		150
SiO ₂	20.26	Final setting time (min.)
Al ₂ O ₃	4.27	195
Fe ₂ O ₃	3.37	
CaO	63.05	
MgO	1.53	
SO ₃	3.01	
Na ₂ O	0.10	
K ₂ O	0.59	
Ignition loss	2.85	

Methods

Synthesis of Cross-linked Polymers

Cross-linked polymers were synthesized from monomers (MAA, PPGDMA, PEGA) through free-radical polymerization. Firstly, monomers were dissolved in distilled water, pH was set to 8 and then,

an aqueous solution of initiator was added to start the polymerization which was carried out at 75 °C for 4 hour with N₂ purging. The superplasticizer solution was used without further purification. The chemical structure of synthesized superplasticizer is shown in Fig. 1. Table 2 points out the properties of synthesized superplasticizers.



(a: MAA; b: PEGA; c: PPGDMA)

Fig. 1. The chemical structure of cross-linked polymer

Table 2

Properties of synthesized superplasticizers

Superplasticizer	Cross-link agent	Side chain	Intensity of
	PPGDMA-(M _n)	PEGA-(M _n)	PPGDMA
CLPC-1	560	480	high
CLPC-2	560	480	low
PC-N	-	480	-

Workability of Cement Paste and Cement Mortar

Cement paste workability was achieved with Kantro mini slump cone [9]. The dimensions of cone used in this test are; 36 mm top inner diameter, 64 mm bottom inner diameter and 60 mm height. TS EN 1015-3 standard [10] was followed for the determination of workability of cement mortar. Spread diameters of cement pastes and mortars were measured for the evaluation of workability and rheology together. Workability tests of cement systems were continued throughout 2h time by collecting data at every 30 min.

Rheological Behaviour of Cement Paste

The rheological behaviours of cement pastes were determined by Anton Paar MCR 52 rheometer equipped with Building Material Cell (BMC 90). Pre-shearing was not applied to cement pastes due to the well-dispersion of cement suspension by superplasticizers. The shear rate range was set as 0.1-100 s⁻¹ and the data of the test were analyzed with RheoCompass1.11 software for plotting of the flow curves. The rheological behaviour of cement paste was modeled with Bingham equation as shown below:

$$\tau = \tau_0 + \mu \dot{\gamma}$$

where τ is the shear stress (Pa), τ_0 the shear yield stress (Pa), $\dot{\gamma}$ the shear rate (s⁻¹), and μ the plastic viscosity (Pa.s). In this part, the rheological parameters (τ_0 and μ) of cement pastes were determined and the effects of the cross-linked polymer as superplasticizer on parameters were discussed.

RESULTS

Effects of Cross-linked Polymers on Workability

Fluidity performances of superplasticized cement pastes (0.3 % solid polymer weight/ cement weight) were determined at water/cement (w/c) = 0.31. In Fig. 2 spread diameter-time relations of cement pastes are shown. CLPC-1 was the highly cross-linked polymer, it provided the best fluidity and fluidity-retention to pastes compared to other samples. Lowly cross-linked polymer-CLPC-2 also increased the fluidity of cement system at the beginning of hydration but, after 1 hour the fluidity of paste started to decrease. We can express that, highly cross-linked structure in polycarboxylates control slump loss better and enhance the workability of cement systems. In Fig. 2, polymer PC-N represents the uncross-linked polycarboxylate, the spread results of cement paste superplasticized with PC-N gave lower values than its counterparts. This result also confirmed the fluidity and fluidity-retention effect of cross-linked polycarboxylate-based SPs.

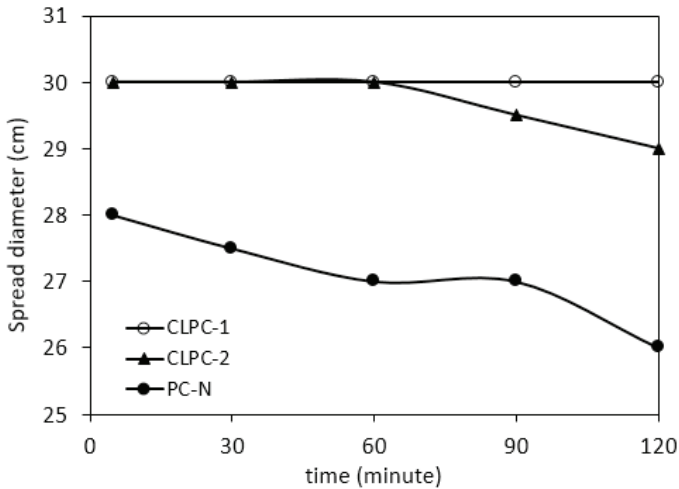


Fig. 2. Fluidity changes of superplasticized cement pastes by time

Cement mortars ($w/c = 0.5$; 0.3 % solid polymer weight/ cement weight) were prepared with uncross-linked and cross-linked polymer according to TS EN 1015-3. For comparison, plain mortar (without SP) was also tested with flow table. In Fig. 3, spread values of mortars were presented by time. Similar with Fig. 2, highly cross-linked polymer provided the best workability to mortar on the other hand, both highly and lowly cross-linked polymer retain workability throughout 2 h time comparing with plain and mortar including uncross-linked polymer. This is a compatible result with the literature [7].

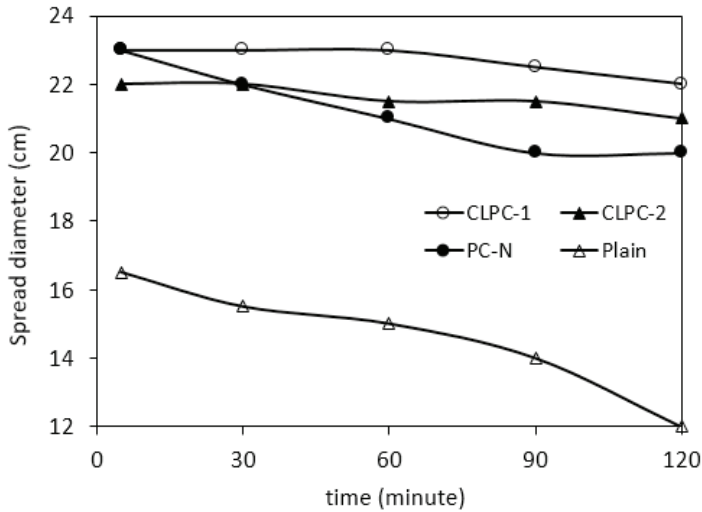


Fig. 3. Workability changes of cement mortars by time

Effects of Cross-linked Polymers on Cement Paste Rheology

Cement pastes were prepared with 0.3% wt. SP (solid polymer weight/ cement weight) and at $w/c = 0.31$. By using Bingham equation, rheological behaviours of cement pastes were modelled. Due to the dispersion effect of SPs, shear yield stresses of cement pastes were determined at the values of nearly zero. So, this Figure is not presented in the study.

Plastic viscosity alterations of superplasticized cement pastes were given in Fig. 4. From Fig. 4 it is clearly seen that, highly cross-linked polymer decreased plastic viscosity of paste higher than other SPs. The effectiveness sequence of SPs is like this: CLPC-1> CLPC-2> PC-N. Finally it can be mentioned that, plastic viscosity stabilities of mortars including CLPC-1 and CLPC-2 were higher than mortar prepared with PC-N. This result also supports the fluidity-retention results obtained from spread tests.

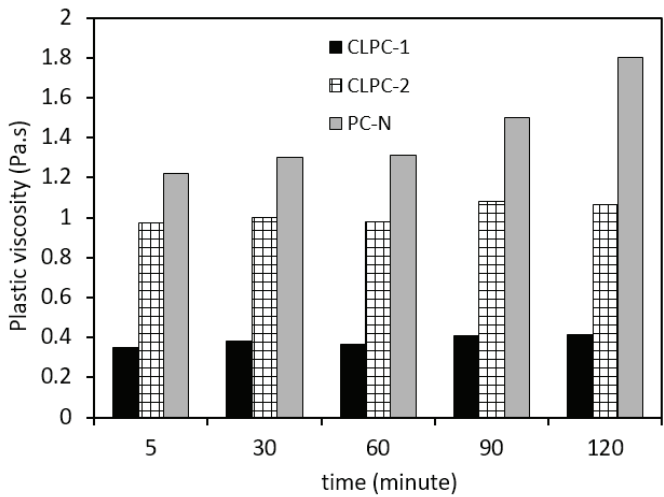


Fig. 4. Plastic viscosities of cement pastes

REFERENCES

1. Plank, J., Pöllmann, K., Zouaoui, N., Andres, P.R., Schaefer, C., "Synthesis and Performance of Methacrylic Ester Based Polycarboxylate Superplasticizers Possessing Hydroxy Terminated Poly(ethylene glycol) Side Chains," *Cem. Concr. Res.*, 38, 2008, pp 1210 – 1216.
2. Yamada, K., Ogawa, S., Hanehara, S., "Controlling of the Adsorption and Dispersing Force of Polycarboxylate-type Superplasticizer by Sulfate Ion Concentration in Aqueous Phase," *Cem. Concr. Res.*, 31, 2001, pp 375 – 383.
3. Yamada, K., Takahashi, T., Hanehara, S., Matsuhisa, M., "Effects of the Chemical Structure on the Properties of Polycarboxylate-type Superplasticizer," *Cem. Concr. Res.*, 30, 2000, pp 197 – 207.
4. Uchikawa, H., Hanehara, S., Sawaki, D., "The Role of Steric Repulsive Force in the Dispersion of Cement Particles in Fresh Paste Prepared with Organic Admixture," *Cem. Concr. Res.*, 27 (1), 1997, pp 37 – 50.
5. Yoshioka, K., Sakai, E., Daimon, M., Kitahara, A., "Role of Steric Hindrance in the Performance of Superplasticizers for Concrete," *Am. Ceram. Soc.*, 80 (10), 1997, pp 2667 – 2671.
6. Cho, H.-Y., Suh, J.-M., Kim, J.-M., "Effects of Poly{carboxylate-g-(ethylene glycol)methyl ether} on the Physical Properties of Cement Paste," *Eurasian Chem.-Technol. J.*, 7 (1), 2005, pp 47 – 55.
7. Bi, Y., Lei, J., Du, X., Zhang, A., "Effect of Crosslink Structure of Bridge Polycarboxylate Superplasticizers on Dispersion Ability," *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, Apr.2013, pp 339 – 342.
8. Turkish Standards, Methods of Testing Cement- Part 1: Determination of Strength (TS EN 196-1), Turkish Standards Institution, 2009.
9. Kantro, D.L., "Influence of Water Reducing Admixtures on Properties of Cement Pastes—A Miniature Slump Test," *Cem. Concr. Aggreg.*, 2, 1980, pp 56 – 67.
10. Turkish Standards, Methods of Test for Mortar for Masonry- Part 3: Determination of Consistence of Fresh Mortar (by flow table) (TS EN 1015-3), Turkish Standards Institution, 2000.

BETON KİMYASAL KATKILARINDA KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARININ BELİRSİZLİK HESAP PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE İSTATİSTİKİ AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hava YILDIZ ÖZGÜL

Kimya Müh.

DSİ 7. Bölge MÜD.

Kalite Kontrol ve Lab. Şube MÜD.
SAMSUN,TÜRKİYE

Tel: (0362) 230 7900

Fax : (0362) 2340387

e-mail :havayildiz@dsi.gov.tr

Dr. Nazlı AYYILDIZ TURAN,

Yük Çevre Müh.

DSİ 7. Bölge MÜD.

Kalite Kontrol ve Lab. Şube MÜD.
SAMSUN,TÜRKİYE

Tel: (0362) 230 7900

Fax : (0362) 2340387

e-mail : nazaytu@dsi.gov.tr

ÖZET

Gelişen teknolojiyle birlikte, kimyasal katkılarda aranan özelliklerin belirtildiği standartlar, şartnameler, vd dökümanlar katkı üreticisine her defasında, aynı performansta ve aynı özelliklerde katkı üretme zorunluluğunu getirmekte ve bunun kontrolü de yapılan kimyasal analizlerle sağlanmaktadır. Ticari olarak üretilen ürünlerde yapılan analizlerde analizin doğruluğu ve hassasiyeti daha da önemlidir. Analiz sonuçları doğruluk ve duyarlılık(kesinlik) açısından değerlendirilerek elde edilen verinin güvenilirliğinin kontrol edilmesinde sistematik hatalarında önüne geçilmektedir. Bu nedenle bu çalışmamızda da kimyasal katkıda Klorür analizinde 2 kişi ile çalışarak analiz sonuçlarının istatistik açıdan duyarlılık (F testi) çalışmaları ile değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre ölçülen değerlerin kesinlik yönünden 2 kişinin verilerinin birbirlerine yakın olduğu F testine göre uygun olduğuna karar verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Doğruluk, duyarlılık, ölçüm hatası, F testi, Klor analizi

DETERMINATION AND STATISTICAL EVALUATION OF UNCERTAINTY CALCULATION PARAMETERS OF CHEMICAL ANALYSIS RESULTS ON ADMIXTURES

ABSTRACT

With the developing technology, standards, specifications, and documents that specify the properties required for chemical additives bring the obligation to produce additives with the same performance and same characteristics every time to the additives producer and this control is also provided by chemical analysis. In analyzes made on commercially produced products, the accuracy and precision of analysis is even more important. The results of the analysis are evaluated in terms of accuracy and sensitivity (precision) and the reliability of the obtained data is checked in systematic errors. For this reason, in our study, the chemical additive was studied with 2 people in Chloride analysis and the results of the analysis were evaluated with statistical sensitivity (F test) studies. It was decided that the values measured according to the results were appropriate according to the F test that the data of 2 persons were close to each other in terms of precision.

Keywords: Accuracy, sensitivity, measurement error, F test, Chlorine analysis

1.GİRİŞ

İnşaat sektöründe yaygın bir şekilde kullanılan beton, ucuzluğu ve kolay üretilebilir olması nedeniyle günümüzde en çok tercih edilen yapı malzemesidir. Teknoloji ve bilimdeki gelişmeler, beton teknolojisine de yansarak kimyasal katkıları betonun beşinci bileşeni durumuna getirmiştir. Beton katkı maddeleri, betonun bazı özelliklerini değiştirerek performansını artırabilmek ve/veya betonun daha ekonomik olmasını sağlayabilmek için kullanılmaktadır. Taze betonun işlenebilirlik kabiliyetini artırmak, priz sürelerini değiştirmek, sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılığını arttırmak gibi amaçlarla beton üretiminde kimyasal katkıları kullanılmaktadır.

Kimyasal katkılarda aynı kalitede ve özellikte katkı elde etmek için bazı kimyasal ve fiziksel analizler uygulanmaktadır. Bu analizlerde önem arz eden analizlerden biri de Klorür analizidir. Klorürün betonda bulunan miktarı oldukça önemlidir. Klorürün olması gereken miktardan fazla olması durumunda yapıda betonla birlikte olan donatıyı korozyona uğratarak yapının ömrünü kısaltmaktadır. Bu sebeple beton karışımında bulunan kimyasal katkıda Klorür miktarı oldukça önemlidir.

Analiz sonucunun güvenilirliğinden emin olmak için hata payının belirlenmesinde bazı bilimsel hesaplamalar ve istatistiki değerlendirilmeler gerekmektedir. Bir analiz sonucunun güvenilirliğinin sağlanması için doğruluk ve duyarlılık parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Doğruluk analiz sonucunun gerçek ölçülmesi gereken değere yakınlığının ifadesi iken duyarlılık, analiz sonuçlarının birbirlerine yakınlığının ifadesidir. Analiz sonucunun güvenilir bir aralıkta olması için hem doğruluğunun hem de duyarlılığının çok iyi olması şarttır. Bu kontrolü sağlamak için laboratuvarlarda doğruluğun derecesinin belirlenmesinde değeri belirli olan referans malzeme kullanılır iken, duyarlılık da bazı istatistiki hesaplamalara ihtiyaç vardır. Analiz sonucunun güven aralığında kaldığının tespit edilmesinde kullanılan istatistiki yöntemlerden biri de F testidir. F testi iki farklı kişinin veya iki farklı metotla elde edilen analiz verilerinin standart sapmalarının karşılaştırılmasında kullanılmaktadır. Farklı analiz sonuçlarına ait standart sapmaların karesi birbirine bölünür ve F tablosundaki değer ile karşılaştırılır.

Ölçüm belirsizliğinin belirlenmesinde sistematik ve rastgele hataların belirlenmesi ve hata payının hesaplanması gerekmektedir. Sistematik hatalar sonuçların doğruluğuna etki ederken rastgele hatalar

ise sonuçların duyarlılığına etki etmektedir. Sistematik hatalar kullanılan araç, gereç, kimyasal, metoda dair ve analizcinin yetkin olmamasından kaynaklanan hatalardır. Rastgele hatalar ise bilinmeyen ve kontrol edilemeyen hata tipidir. Ölçüm sırasında deney şartlarının az veya çok değişmesinden kaynaklanmaktadır. Ölçüm belirsizliği kaynaklarının belirlenmesinde EUROCHEM GUIDE - The Fitness for Purpose of Analytical Methods rehber dökümanı kullanılmıştır.

Çalışmamız kimyasal katkıda Klorür analizi TS EN 480-10 Kimyasal Katkılar - Beton, Harç Ve Şerbet İçin -Deney Yöntemleri - Bölüm 10: Suda Çözünebilir Klorür Muhtevası Tayini standardı Metot 2'ye göre yapılmıştır. Duyarlılık çalışmaları laboratuvarında ilgili standarda uygun olan gerekli cihaz ve ortam sağlandıktan sonra 2 kişi ile laboratuvarında bulunan akışkanlaştırıcı özelliğe sahip kimyasal katkı numunesi ile aynı gün içinde tekrarlanabilirlik çalışmaları yapılmıştır. F testine göre hesaplamalar yapıp ,2 kişi arasında istatistiki açıdan analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

2.AMAÇ

Bu çalışmada beton katkı kimyasal analiz sonuçları için belirsizlik hesap parametreleri belirlenip, analiz sonuçlarının istatistiki açıdan değerlendirilmesi, analiz sonucunun doğruluğunun güven aralığının saptanması amaçlanmıştır. TS EN 480-10 standardına göre kimyasal katkı numunelerine Metot 2 'ye göre Klorür Tayini çalışılmış olup,EUROCHEM GUIDE - The Fitness for Purpose of Analytical Methods rehber dökümanına göre ölçüm belirsizliği parametreleri ve yolu belirlenmiştir.

3.DENEYSEL ÇALIŞMA VE ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ

Bir analizde ölçüm belirsizliğinin belirlenmesinde sistematik ve rastgele hataların belirlenmesi ve hata payının hesaplanması için öncelikle deneysel aşamaları irdelemek ve hangi girdinin ihmal edilebilir hangi girdinin ihmal edilemeyeceğine karar vermek gerekir. Kullanılan araç-gereç, kimyasal, laboratuvar içi ortam durumu ve çalışma aralığı istatistik sonuçlar vb. Çalışmamız kimyasal katkıda Klorür analizi TS EN 480-10 Kimyasal Katkılar - Beton, Harç Ve Şerbet İçin -Deney Yöntemleri - Bölüm 10: Suda Çözünebilir Klorür Muhtevası Tayini standardı Metot 2'ye göre yapılmıştır. Metot 2 de 'Kullanılan katkının muhtevasında, linyosülfonatlar veya indirgeyiciler varsa veya var olduğu kabul ediliyorsa ' denmekte olup kimyasal katkımızda var olduğunu kabul ettiğimiz için tercih edilmiştir. Çalışmamızda numune olarak akışkanlaştırıcı özelliğine sahip bir kimyasal katkı tercih edilmiştir.

3.1.Deney Programı

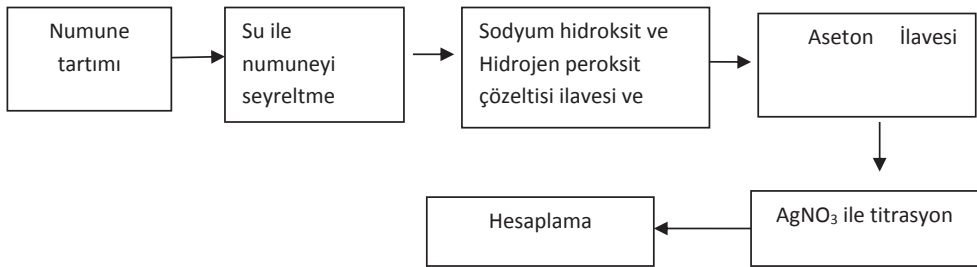
3.1.1.Kullanılan Kimyasallar

- Sodyum Hidroksit çözeltisi (w:w;%33)
- Hidrojen Peroksit (w:w;%30)
- Aseton
- Seyreltik nitrik asit ile (v:v;1:1)
- Gümüş Nitrat Çözeltisi (0,01 mol/L)

3.1.2.Kullanılan Araç-Gereç

- Manyetik karıştırıcılı ısıtıcı
- Potansiyometrik Titrasyon Cihazı

3.1.3.Tayin



Şekil 1. Kimyasal katkıda Klor Tayinine ait deney aşamaları

Kimyasal katkı numunesi 100 mL ye kadar damıtık su ile seyreltilir ve çözünmesi sağlanır. Daha sonra 5 mL sodyum hidroksit çözeltisi (w:w;%33) ve 10 mL hidrojen peroksit (w:w;%30) ilavesi yapılır. Bu güçlü bir ekzotermik reaksiyona sebep olur.Klorür iyonlarının kaybını önlemek için, pH değerlerinin 8,5'un üzerinde tutulmasına dikkat edilmelir. Bunu sağlamak için, gerekirse daha fazla sodyum hidroksit çözeltisi katılabilir. Çözelti, manyetik karıştırıcılı ısıtıcı ile yavaş yavaş kaynama noktasına getirilir ve 30 dakika kaynatılır.Çözelti, (20±2) °C lik ortamda soğumaya bırakılır. Daha sonra 80 mL aseton ilave edilir ve pH seyreltik nitrik asit ile (v:v;1:1) 2,0 ± 0.5' e ayarlanır.

Gümüş nitrat çözeltisi ile klorür iyonları titrasyona tabi tutulduktan sonra, kullanılan sarfiyat (V) 0,05 mL ye yuvarlatılarak kaydedilir.Şahit titrasyon, aynı koşullarda gerçekleştirilir ve sarfiyat (Vo) 0,05 mL ye yuvarlatılarak kaydedilir.

3.1.4.Hesaplama

Sonuçlar kütlece % olarak aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$\text{Klorür muhtevası} = \frac{3,55 \times (V - Vo) \times n}{m}$$

(Denklem 1)

n : Gümüş nitrat çözeltisinin normalitesi,

mol/L

m : Deney numunesinin kütlesi, g

V : Deneyde kullanılan gümüş nitrat çözeltisinin hacmi, mL

Vo : Şahit titrasyonda kullanılan gümüş nitrat çözeltisinin hacmi, mL

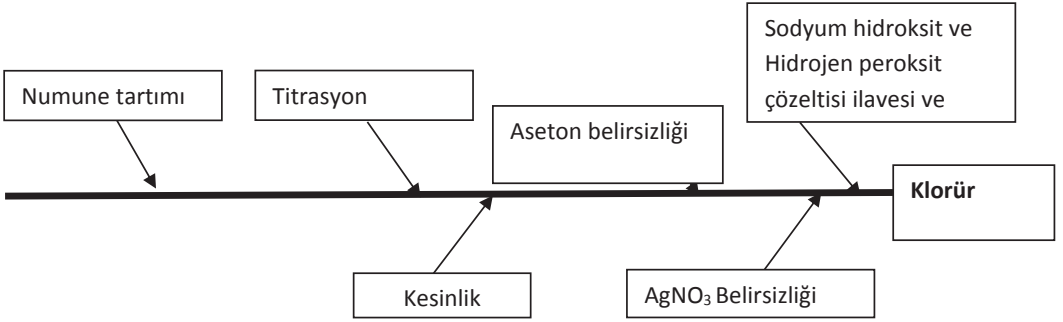
3.2. Ölçüm Belirsizliği Parametrelerin Belirlenmesi ve Deney Sonuçları

Yukarıda anlatılan deneysel aşamalara ait ölçüm belirsizliği kaynakları araç-gereç,kimyasal ,kişiler kaynaklı olmak üzere aşağıdaki tabloda belirtilmektedir. Belirsizlik kaynaklarına EUROCHEM GUIDE - The Fitness for Purpose of Analytical Methods rehber dökümanına göre belirlenmiştir.

3.2.1.Belirsizlik Kaynaklarının Belirlenmesi:

Tablo 1. Belirsizlik kaynaklarının ve sebeplerin belirlenmesi

Sıra	Yapılan İşlem	Sembol	Belirsizlik Kaynakları
1	Numune tartımı	m_1	- Tartım belirsizliği Kalibrasyon
2	Sodyum hidroksit ve Hidrojen peroksit çözeltisi ilavesi ve kaynatma	-	a) Sodyum Hidroksit ve Hidrojen peroksit safsızlığı b) Kullanılan mezürün hacim belirsizliği (sıcaklık- kalibrasyon- tekrarlanabilirlik)
3	Aseton ve su ile numuneyi çözme	-	a) Aseton safsızlığı b) Kullanılan mezürün hacim belirsizliği (sıcaklık- kalibrasyon- tekrarlanabilirlik)
3	Gümüş nitrat çözeltisi	-	a) $AgNO_3$ safsızlığı b) Tartım belirsizliği c) Kullanılan balon joje hacim belirsizliği (sıcaklık- kalibrasyon- tekrarlanabilirlik) d) Mikropipet belirsizliği (sıcaklık-kalibrasyon- tekrarlanabilirlik)
4	Titrasyon	-	- - Büret belirsizliği (sıcaklık-kalibrasyon- tekrarlanabilirlik)
5	Kesinlik	-	Kalite kontrol çalışmaları



Şekil 2.Sıvı kimyasal katkıda klorür analizi için belirsizlik kaynaklarının balık kılçığı diyagramının belirlenmesi

3.2.2. Belirsizlik Bileşenlerinin Belirlenmesi ve Hesaplanması

3.2.2.1. Numune tartımından gelen belirsizlik

Tartım işlemlerinden gelen belirsizlik; terazinin kalibrasyon sertifikasından gelen belirsizliktir.

$$U_m = \sqrt{2x_1^2} \quad ; \quad (\text{Denklem 2})$$

x_1 = Terazı Kalibrasyon Belirsizliği; %95 güven aralığındaki ($k=2$) değeri belirtilmiş ise 2'ye bölünerek alınır. Tartım işlemi 2 kez (dara ve numune) yapıldığı için kalibrasyondan gelen belirsizlik 2 kez hesaba katılır.

3.2.2.2. Sodyum Hidroksit Ve Hidrojen Peroksit Çözeltisi İlavesi

Tartılan sıvı beton katkı kimyasalı numunesine sodyum hidroksit ve hidrojen peroksit çözeltisi ilavesi ve kaynatma yapılır

a) Kullanılan sodyum hidroksit ve hidrojen peroksit safsızlığının belirsizliği, analiz sertifikasındaki safsızlık değeri, dikdörtgen dağılıma göre $\sqrt{3}$ e bölünerek bulunur.

b) Kullanılan mezürün ve pipetin toplam hacim belirsizliği $u_{(\text{hacim belirsizliği})}$; laboratuvar ortamının sıcaklığından $u_{(\text{sıcaklık})}$, cam malzemelerin kalibrasyon sertifikasından $u_{(\text{kalib. sertifikası})}$ ve tekrarlanabilirlikten gelen $u_{(\text{tekrarlanabilirlik})}$ belirsizliklerin toplamıdır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$u_{(\text{hacim belirsizliği})} = \sqrt{(u_{(\text{sıcaklık})})^2 + (u_{(\text{kalib. sertifikası})})^2 + u_{(\text{tekrarlanabilirlik})}^2} \quad (\text{Denklem 3})$$

Sodyum hidroksit ve hidrojen peroksit toplam belirsizliği,

$$U_{\text{çözelti}} = \sqrt{(u_{\text{safsızlık}})^2 + u_{\text{hacim}}^2} \quad (\text{Denklem 4})$$

3.2.2.3. Gümüş Nitrat Çözeltisi ilavesi

a) Kullanılan AgNO_3 safsızlığının belirsizliği $u_{(\text{AgNO}_3 \text{ safsızlık})}$ şeklinde ifade edilir ve analiz sertifikasındaki safsızlık değeri dikdörtgen dağılıma göre $\sqrt{3}$ bölünerek kullanılır.

b) AgNO_3 çözeltisi hazırlanırken kullanılan terazinin tartım belirsizliği $u_{(\text{tartım belirsizliği})}$ %95 güven aralığındaki ($k=2$) değeri belirtilmiş ise 2'ye bölünerek alınır.

c) AgNO_3 çözeltisi hazırlanırken kullanılan 1000 mL'lik balon jojenin toplam hacim belirsizliği "denklem 3" kullanılarak hesaplanır.

d) AgNO_3 çözeltisi ilavesinden gelen toplam pipet hacim belirsizliği, "denklem 3" kullanılarak hesaplanır.

Toplam AgNO_3 belirsizliği:

$$u_{(AgNO_3)} = \sqrt{(AgNO_3(\text{safasızlık}))^2 + (u_{(\text{tartım belirsizliği})})^2 + (u_{(\text{hacim belirsizliği})})^2 + u_{(\text{mikropipet belirsizliği})}^2} \quad (\text{Denklem 5})$$

3.2.2.4. Aseton Hazırlama

a) Kullanılan aseton safasızlığının belirsizliği $u_{(NH_4SCN)}$ şeklinde ifade edilir ve analiz sertifikasındaki safasızlık değeri dikdörtgen dağılıma göre $\sqrt{3}$ bölünerek kullanılır.

b) Aseton çözeltisi hazırlanırken kullanılan terazinin tartım belirsizliği $u_{(\text{tartım belirsizliği})}$, %95 güven aralığındaki ($k=2$) değeri belirtilmiş ise 2'ye bölünerek alınır.

c) Aseton çözeltisi hazırlanırken kullanılan cam malzemenin toplam hacim belirsizliği, “denklem 3” kullanılarak hesaplanır.

Toplam Aseton Belirsizliği:

$$U_{\text{aseton}} = \sqrt{(u_{\text{safasızlık}}^2 + u_{\text{hacim}}^2)} \quad (\text{Denklem 6})$$

3.2.2.5. Titrasyon İşlemi Belirsizliği

$AgNO_3$ ile titrasyon işlemi sırasında kullanılan büretin toplam hacim belirsizliği “Denklem 3” kullanılarak hesaplanır.

3.2.2.6. Duyarlılıktan (Kesinlik) Kaynaklı Belirsizlik

Kesinlik çalışmaları için tekrarlanabilirlik çalışması yapıldı. Sıvı kimyasal katkı numunesi, yetkilendirilmiş personeller tarafından 10’ar defa analiz edildi ve her bir analizcinin yapmış olduğu çalışmaya ait analiz sonuçlarının ortalamalarının standart sapmalarının karşılaştırılmasında F testi uygulandı. Her bir veri dizisinin standart sapmalarının karelerinden varyansları hesaplanarak her bir analizcinin ölçüm sonuçlarına göre kesinlikleri arasında önemli bir fark olup olmadığı belirlendi. Kesinlik için bağıl standart sapma en yüksek standart sapmayı gösteren personelin belirsizliği dikkate alınarak hesaplandı.

$$(U_{\text{kesinlik}} = S/x). \quad (\text{Denklem 7})$$

S = en yüksek standart sapmayı gösteren personelin standart sapma değeri

x = en yüksek standart sapmayı gösteren personelin analiz sonuçlarının ortalama değeri

Tablo 2. 2 kişi arasında yapılan tekrarlanabilirlik çalışma sonuçları ve F hesabı

DENEY SAYISI	1. Kişi	2. Kişi
1	0,0608	0,0598
2	0,06	0,0562
3	0,0615	0,0649
4	0,064365	0,06
5	0,0607	0,0632
6	0,06	0,06
7	0,06488	0,0675
8	0,0569	0,06172
9	0,0601	0,06
10	0,0632	0,0607
ORT	0,0611675	0,061576667
Standart Sapma	0,002428304	0,003275286
V1,V2 varyans	5,89666E-06	1,07275E-05
$F_{hesaplanan}$ Büyük/kkV2/V1		0,549677231
$n^*-1=9$	9	9
$F_{tab:3,1789}$		$F_{cal} < F_{tab}$
Utekrarlanabilirlik=S/x	0,053190379	

n^* =Analiz sayısı (10 defa)

F testi uygulanmış olup $F_{hesaplanan} < F_{tablo}$ sağlanmıştır.

Tablo 3. Çalışma sonuçlarının değerlendirildiği F tablosu (n-1=9)

F - Distribution ($\alpha = 0.05$ in the Right Tail)										
df ₂	df ₁	Numerator Degrees of Freedom								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Denominator Degrees of Freedom	1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54
	2	18.513	19.000	19.164	19.247	19.296	19.330	19.353	19.371	19.385
	3	10.128	9.5521	9.2766	9.1172	9.0135	8.9406	8.8867	8.8452	8.8123
	4	7.7086	9.9443	6.5914	6.3882	6.2561	6.1631	6.0942	6.0410	6.9988
	5	6.6079	5.7861	5.4095	5.1922	5.0503	4.9503	4.8759	4.8183	4.7725
	6	5.9874	5.1433	4.7571	4.5337	4.3874	4.2839	4.2067	4.1468	4.0990
	7	5.5914	4.7374	4.3468	4.1203	3.9715	3.8660	3.7870	3.7257	3.6767
	8	5.3177	4.4590	4.0662	3.8379	3.6875	3.5806	3.5005	3.4381	3.3881
	9	5.1174	4.2565	3.8625	3.6331	3.4817	3.3738	3.2927	3.2296	3.1789
	10	4.9646	4.1028	3.7083	3.4780	3.3258	3.2172	3.1355	3.0717	3.0204
	11	4.8443	3.9823	3.5874	3.3567	3.2039	3.0946	3.0123	2.9480	2.8962
	12	4.7472	3.8853	3.4903	3.2592	3.1059	2.9961	2.9134	2.8486	2.7964
	13	4.6672	3.8056	3.4105	3.1791	3.0254	2.9153	2.8321	2.7669	2.7144
	14	4.6001	3.7389	3.3439	3.1122	2.9582	2.8477	2.7642	2.6987	2.6458
	15	4.5431	3.6823	3.2874	3.0556	2.9013	2.7905	2.7066	2.6408	2.5876
	16	4.4940	3.6337	3.2389	3.0069	2.8524	2.7413	2.6572	2.5911	2.5377
	17	4.4513	3.5915	3.1968	2.9647	2.8100	2.6987	2.6143	2.5480	2.4943
	18	4.4139	3.5546	3.1599	2.9277	2.7729	2.6613	2.5767	2.5102	2.4563
	19	4.3807	3.5219	3.1274	2.8951	2.7401	2.6283	2.5435	2.4768	2.4227
	20	4.3512	3.4928	3.0984	2.8661	2.7109	2.5990	2.5140	2.4471	2.3928
	21	4.3248	3.4668	3.0725	2.8401	2.6848	2.5727	2.4876	2.4205	2.3660
	22	4.3009	3.4434	3.0491	2.8167	2.6613	2.5491	2.4638	2.3965	2.3419
	23	4.2793	3.4221	3.0280	2.7955	2.6400	2.5277	2.4422	2.3748	2.3201
	24	4.2597	3.4028	3.0088	2.7763	2.6207	2.5082	2.4226	2.3551	2.3002
	25	4.2417	3.3852	2.9912	2.7587	2.6030	2.4904	2.4047	2.3371	2.2821
	26	4.2252	3.3690	2.9752	2.7426	2.5868	2.4741	2.3883	2.3205	2.2655
	27	4.2100	3.3541	2.9604	2.7278	2.5719	2.4591	2.3732	2.3053	2.2501
	28	4.1960	3.3404	2.9467	2.7141	2.5581	2.4453	2.3593	2.2913	2.2360
	29	4.1830	3.3277	2.9340	2.7014	2.5454	2.4324	2.3463	2.2783	2.2229
	30	4.1709	3.3158	2.9223	2.6896	2.5336	2.4205	2.3343	2.2662	2.2107
	40	4.0847	3.2317	2.8387	2.6060	2.4495	2.3359	2.2490	2.1802	2.1240
	60	4.0012	3.1504	2.7581	2.5252	2.3683	2.2541	2.1665	2.0970	2.0401
	120	3.9201	3.0718	2.6802	2.4472	2.2899	2.1750	2.0868	2.0164	1.9588
	∞	3.8415	2.9957	2.6049	2.3719	2.2141	2.0986	2.0096	1.9384	1.8799

3.2.2.7. Metodun Tüm Ölçüm Belirsizliğinin Hesaplanması

Birleştirilmiş belirsizlik, belirsizlik kaynaklarının ayrı ayrı hesaplanarak gerçek değerlerine bölünmesiyle elde edilen bağıl belirsizlik değerlerinin karelerinin toplamının kareköküdür. Çalışmamızda ölçüm belirsizliğine ait tüm girdilerin hesaplamaları yapılmış olup Denklem 8 'de birleştirilmiş belirsizlik değeri hesaplanmıştır.

Metot 2. için :

$$\frac{U_{\text{Klorür}}}{C_{\text{Klorür}}} = \sqrt{(U_{\text{numunetartım}}^2 + U_{\text{aseton}}^2 + U_{\text{kesinlik}}^2 + U_{\text{gerikazanm}}^2 + U_{\text{titrasyon}}^2 + U_{\text{AgNO}_3}^2 + U_{\text{sodyumokst+hidrojenpeoksit}}^2)}$$

(Denklem 8)

3.2.2.8. Toplam ve Genişletilmiş Belirsizlik Hesabı

Ölçüm belirsizliğine ait kaynaklar yukarıda belirtilen denklemlere göre hesaplamalar yapılmış olup, aşağıda hesaplanan değerler bulunmuştur.

Tablo.4. Toplam belirsizlik hesap tablosu

Belirsizlik Kaynakları	Belirsizlik	Değer	Bağıl Standart Belirsizlik
Numune Tartımı	0,000108	10,00	0,000011
Aseton ile muamele	0,577677	80,00	0,007221
AgNO ₃ Çözeltisi Ekleme	0,028854	1,00	0,028854
NaOH ve H ₂ O ₂	0,0081601	1,00	0,0081601
Kesinlik(Duyarlılık)	0,053190379	1,0	0,053190
Toplam Belirsizlik (U)			0,05381

Genişletilmiş Belirsizlik, standart belirsizliğin % 95 güven aralığı için k=2 çarpılması ile elde edilir.

$$U_{\text{gen bel}} = 2 * U_{\text{t. bel.}}$$

(Denklem 9)

$$=0,163962$$

Hesaplanan genişletilmiş belirsizliğe göre yapılan çalışmaya ait kimyasal katkı numunesinin ölçüm sonucu k=2 %95 güven aralığında C ölçülen klorür değeri $\pm$ C ölçülen klorür değeri *0,164 olduğu hesaplanmıştır.

4.SONUÇ

Çalışmada beton katkı kimyasal analiz sonuçları için belirsizlik hesap parametreleri belirlenip, analiz sonuçlarının istatistikî açıdan değerlendirilmesi, analiz sonucunun doğruluğunun güven aralığının

saptanması amaçlanmıştır. Güven aralığı olarak $k=2$ yani ölçülen değerin %95 lik güvene aralığında bulunan değerleri belirlenmiştir. Deneysel metot olarak TS EN 480-10 standardına göre kimyasal katkı numunelerine Metot 2 'ye göre Klorür Tayini çalışılmış olup, EUROCHEM GUIDE - The Fitness for Purpose of Analytical Methods rehber dökümanına göre ölçüm belirsizliği parametreleri ve yolu belirlenmiştir.

Yapılan analizlerde 2 analizci aynı gün içinde 10 'ar defa paralel çalışma yaparak ,kişiler arasında istatistiki bir fark olup olmadığına F testi ile karar verilmiştir. F testine göre $F_{(hesaplanan)} F_{(tablo)}$ 'dan düşük olduğu görülmüş ve 2 kişi arasında önemli bir fark olmadığına karar verilmiştir. Paralel yapılan analizlerle rastgele ve kişisel hataların girdilerinin ölçüm belirsizliğine etkisi ,en yüksek standart sapmaya göre hesaplanmıştır.

Sistemik hatalar olan araç-gereç,kimyasal,analiz ortamı vb. kaynaklar EUROCHEM GUIDE - The Fitness for Purpose of Analytical Methods rehber dökümanına göre belirlenip hesaplamalar yapılmıştır.Tablo 4' te ölçüm belirsizliğine etkisi olan tüm parametrelerin hesaplanan değerleri belirtilmiştir. Tablo 4' ölçüm belirsizliğine en büyük sayısal değere sahip kesinliğin (duyarlılık) olduğu görülmüştür. Dolayısıyla yapılan bir analizin en büyük girdilerinden birinin kişi kaynaklı olduğu görülmektedir.

Çalışmamızda ölçülen bir değerin güven aralığının tespitinde $k=2$ % 95 lik güven aralığına göre sonuç verilmiştir. Ölçülen sonuç $\% C$ ölçülen klorür değeri iken bu değere ait ölçüm belirsizliği $\pm C$ ölçülen klorür değeri *0,164 olarak hesaplanmıştır.

Yapılan analizlerde elde edilen sonucun güvenilirliği ,ölçülen değerin gerçek değere yakınlığının saptanması oldukça önemlidir. Özellikle ticari olarak üretilen ürünlerde yapılan analizlerde analizin doğruluğu ve hassasiyeti daha da önem arz etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan kimyasal katkıların Klorür analizlerinin yapılmasını sağlayan DSİ 7. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Lab. Şube Müdürlüğü 'nde çalışan Sn.Selen TERZİOĞLU ve Sn Yılmaz YEŞİLIRMAK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. TS EN 480-10 Kimyasal Katkılar - Beton, Harç Ve Şerbet İçin -Deney Yöntemleri - Bölüm 10: Suda Çözünebilir Klorür Muhtevası Tayini
2. EUROCHEM GUIDE - The Fitness for Purpose of Analytical Methods (2014)
https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/MV_guide_2nd_ed_EN.pdf
3. DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı-Kalite Kontrol Rehberi(2106 ,sayfa 14)
- 4.DSİ Laboratuvarları Kalite El Kitabı (2016)
- 5.A. YILMAZ, Kimyasal analizlerde Metot Validasyonu ve Verifikasyonu ,TURKLAB REHBER - 01,2013
http://turklab.org/tr/TURKLAB_Rehber_01_Rev.2.pdf
6. ILAC-G8 :Guidelines on the Reporting of Compliance with Specification
<http://turklab.org/turklab-bulten/yayinlar/>
7. DSİ Laboratuvarları- Metot Geçerli Kılma ve Doğrulama Prosedürü, P 0 16 00 12 ,Temmuz 2017

19 Ekim 2017 Perşembe

October 19th 2017 Thursday

1.Gün/First Day

2.Oturum/Second Session

Oturum Başkanı/Session Chair

Prof. Dr. Şakir ERDOĞDU

HİPER AKIŞKANLAŞTIRICI KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN SEGREGASYON ÖZELLİKLERİ

H. Süleyman GÖKÇE

Araş. Gör.
Ege Üniversitesi
İzmir, Türkiye

Özge ANDİÇ-ÇAKIR

Doç. Dr.
Ege Üniversitesi
İzmir, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, bir tip modifiye polikarboksilik eter esaslı hiperakışkanlaştırıcı kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonun (KYB'nin) çökme yayılması, görsel stabilite indeksi, elekte ayrışma direnci ve 3 bölmeli elek test sonuçları araştırılmıştır. 3 bölmeli elek testi KYB'nin dairesel olarak yayılmasından sonra dinamik segregasyonunu belirlemek için önerilen yeni bir test yöntemidir. Farklı oranlarda hiperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile hazırlanan 3 farklı bağlayıcı içeriğine ve 2 farklı segregasyon potansiyeline sahip toplam 6 KYB karışımı üzerinde belirtilen segregasyon testleri yapılmış ve aralarındaki ilişki araştırılmıştır. Genel olarak hiperakışkanlaştırıcı katkının dozaj artışı KYB'nin yayılma çapını artırırken segregasyon direncini azaltmaktadır. Bu etki düşük bağlayıcı oranlı karışımlarda daha belirgin olmaktadır. Görsel stabilite indeksi, elek ayrışma oranı ve 3 bölmeli elek testlerinin sonuçları arasındaki ilişkiler incelendiğinde, yeni önerilen 3 bölmeli elek yöntemi dinamik segregasyonun araştırılmasında alternatif bir yöntem olarak değerlendirilebilir.

Anahtar kelimeler: Kendiliğinden yerleşen beton, hiperakışkanlaştırıcı katkı, görsel stabilite indeksi, elekte ayrışma testi, 3 bölmeli elek testi

SEGREGATION PROPERTIES OF HYPER PLASTICIZER CONTAINING SELF-COMPACTING CONCRETE

ABSTRACT

In the study, segregation properties of self-compacting concrete (SCC) mixtures designed by using one type of modified polycarboxylic ether based hyper plasticizer were researched on slump-flow, sieve segregation, visual stability index and 3-compartment sieve tests, respectively. The 3-compartment sieve test that is a novel test is suggested to determine the dynamic segregation of SCC after circular spreading of the concrete. Segregation resistance was researched on a total of 6 SCC mixes were prepared in two slump flow classes (SF1 and SF2) and in three different binder contents. In general, increased hyper plasticizer dosage increases the flow diameter, but decreases the segregation resistance. This effect is more pronounced for low binder mixtures. The relationship between the segregation results of the mixes obtained from visual segregation index, sieve segregation test and 3-compartment sieve tests reveal that the new alternative method is promising for determination of dynamic stability of SCC.

Keywords: Self-compacting concrete, hyper plasticizer admixture, visual stability index, sieve segregation test, 3-compartment sieve test

GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) segregasyon ve tıkanma olmasızın kalıbı tamamıyla doldurabilmek için kendi ağırlığı ile kolay bir şekilde akar ve engellerin arasından geçer [1]. Bu sebeple KYB doldurma, geçiş ve segregasyon direnci gibi 3 temel kabiliyet bakımından kontrol edilmelidir. Dünyada bu betonun doldurma ve geçiş özelliğini belirleyen çökme yayılması, J halkası, V tüpü, Orimet, L kutusu, U kutusu gibi birçok standart deneyde fikir birliği olsa da, statik ve dinamik segregasyonunu belirleyen metotlar üzerinde yoğun bir çalışma vardır.

Statik segregasyon KYB'nin bekleme esnasındairi agregaların harç veya hamur kısmından ayrılması olarak tanımlanırken, dinamik segregasyon genellikle betonun taşınması ve kalıba yerleştirilmesi sırasında meydana gelen segregasyon olarak tanımlanabilir [2]. Yetersiz segregasyon direncine sahip betonun donatıları sarma kabiliyeti de yetersiz olmaktadır, sertleşmiş halde ise yüksek kuruma büzülmesi ve homojen olmayan basınç dayanımları rapor edilmektedir [3,4]. Bu sebeple, KYB söz konusu olduğunda, segregasyonunu etkin ve rakamsal bir şekilde ortaya koyabilecek test yöntemlerinin geliştirilmesi önemlidir.

Çökme yayılması KYB'nin kıvam ve göreceli viskozitesinin ölçülmesinde bütün dünyada kabul edilen yaygın bir yöntemdir [5-9]. Bu deneyin yapılmasından sonra geliştirilip uygulanan görsel stabilite indeksi KYB'nin statik segregasyon durumunu anlamak için sıklıkla kullanılır. Ayrıca elekte ayırma testi genel olarak KYB'de statik segregasyon direncinin belirlenmesinde kullanılırken [6], Alami vd. yaptıkları çalışmada dinamik segregasyonun belirlenmesi için dinamik bir elek metodu geliştirmiştir [10].

İri agrega dağılımını araştıran yöntemler genel olarak KYB'nin segregasyon durumunu belirlemek ve önerilen alternatif yöntemlerin geçerliliğini veya güvenilirliğini sağlamak için referans metot olarak kullanılmaktadır [2,3,11,12]. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda dinamik segregasyon yöntemlerinin eksiklerinin üstesinden gelinmesi sıklıkla vurgulanmaktadır [2,13]. Segregasyonun herhangi bir çeşidine karşı doğru ve güvenilir test yöntemlerinin seçilmesi önemlidir [2,14,15]. Sonuç

olarak,KYB'nin uygulamada gerçek segregasyon davranışının belirlenmesi açısından dinamik segregasyon metotlarının geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

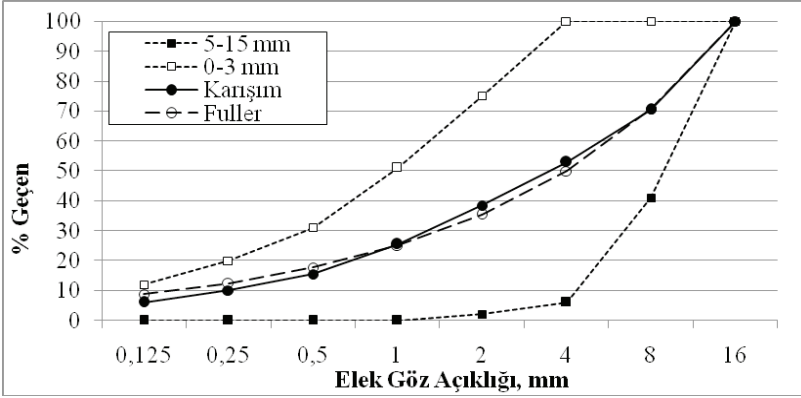
AMAÇ

3 bölmeli elek testi KYB'nin dairesel olarak yayılmasından sonra iri tane dağılımını belirleyerek dinamik segregasyonunun gerçek segregasyon parametresine göre belirlenmesine yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu amaçla çalışmada, görsel stabilite indeks testi ve elekte ayrışma testinden elde edilen sonuçlar ile 3 bölmeli elek testinden elde edilen iri agrega dağılımlarına bağlı olarak hesaplanan sonuçlar arasındaki ilişki, üç farklı dozda bağlayıcı içeren vehiperakışkanlaştırıcı katkı ile yayılma miktarı ayarlanan toplamda 6 farklı KYB karışımı üzerindearaştırılmıştır.

MALZEME VE METOTLAR

Malzemeler

Bu çalışmada KYB karışımlarının hazırlanmasında CEM I 42.5 R tipi Portlandçimentosu, Biga Termik Santrali'nden temin edilen F tipi uçucu kül,0-3 mm ince ve 5-15 mm iri kırma kireç taşı agregası ve modifiyepolikarboksilik eter esaslı hiperakışkanlaştırıcı katkı(DRACO LEVELCON 5000) kullanılmıştır. İnce agreganın su emmesi % 0.92 ve yoğunluğu 2.654 kg/dm³, iri agreganın su emmesi % 0.30 ve yoğunluğu 2.676 kg/dm³'dür. İnce ve iri agreganın tane boyu dağılımları ile betonda kullanılan agrega karışımın dağılımı Şekil 1' de verilmektedir. Çalışmada kullanılan hiperakışkanlaştırıcı katkı, modifiye edilmiş polikarboksilik eter polimerlerinden oluşmakta olup yüksek performanslı beton üretimi için geliştirilmiştir.



Şekil 1. Agrega tane boyu dağılımları

Beton Karışımları

Bu çalışmada yeterli segregasyon aralığının sağlanabilmesi için 450, 500 ve 550 kg/m³ bağlayıcı dozajında iki farklı oranda hiperakışkanlaştırıcı(HP) kullanımı ile akışkanlıkları ayarlanan KYB karışımları hazırlanmıştır. Düşük yayılma hedefli 1-serilerinde çökme yayılma değerleri 58 ile 64 cm aralığında değişmekte olup SF1 sınıfını [6] sağlamaktadır. Yüksek yayılma hedefli 2-serilerinde ise çökme yayılma değerleri 70 ile 75 cm aralığında olup SF2 sınıfındadır [6]. Uçucu kül (UK) ağırlıkça %30 oranında çimento yerine ikame edilerek KYB karışımlarında kullanılmıştır. KYB karışım oranları 1 m³ beton hacmi için karışım kodlamaları ile birlikte Tablo 1' de ağırlıkça (kg) verilmektedir. Ayrıca hazırlanan KYB karışımlarına ait özellikler EFNARC [6] raporunda önerilen aralıklarla birlikte Tablo 2' de verilmektedir.

Tablo 1. KYB karışım oranları, kg/m³

Karışım	Çimento	UK	Su	0-3 mm	5-15 mm	HP	Çökme yayılması
	kg	kg	kg	kg	kg	kg(%)*	cm
450-1	315	135	180	857	857	2.25 (0.5)	64
450-2	315	135	180	856	856	4.50 (1.0)	70
500-1	350	150	200	806	806	1.25 (0.25)	62
500-2	350	150	200	805	805	2.50 (0.5)	75
550-1	385	165	220	754	754	0.55 (0.1)	58
550-2	385	165	220	753	753	2.20 (0.4)	73

*Bağlayıcı (Çimento + UK) ağırlığına oranla %'ce ifade edilmektedir.

Tablo 2. KYB özellikleri

Karışım	Toz	Hamur	Su	İri Ag.	İnce/Top.Ag.	Su/Toz	Çök-Yay. Sınıfı
	kg/m ³	lt/m ³	lt/m ³	lt/m ³	(Kütlece)	(Hacmen)	(SF1/SF2)
450-1	553	382	180	318	0.50	0.89	SF1
450-2	553	383	180	317	0.50	0.89	SF2
500-1	597	418	200	299	0.50	0.83	SF1
500-2	597	419	200	298	0.50	0.83	SF2
550-1	641	454	220	280	0.50	0.77	SF1
550-2	640	455	220	279	0.50	0.77	SF2
EFNARC [6]	380-600	300-600	150-210	270- 360	0.48-0.55	0.85-1.10	55-65 (SF1)

Tablo 2' ye bakıldığında akışkanlaştırıcı kullanım oranının artırılması ile karışımların sadece yayılma sınıfları artırılırken, bağlayıcı dozajının artmasıyla birlikte karışımların hacmensu/toz içerikleri değiştirilmiş ve EFNARC' da [6] önerilen limitler dışında kalmıştır. Toz içeriklerinin hesaplanmasında agregadan gelen 0.125 mm elek altı toz malzeme de hesaba katılmıştır.

Yöntemler

Bu çalışmada KYB'lerin çökme yayılması ve görsel stabilite indeksleri (GSİ) ASTM C 1611' e [5]ve elekte ayrışma oranları (EA) EN 12350-11'e göre [16] belirlenmiştir. GSİ değerleri, KYB'leri çökme yayılması sonrasında statik segregasyon potansiyelleri açısından, terleme ve betonun hamur kısmının iri agregadan ayrılması durumlarına göre değerlendirilip, elde edilen görsel bulguları 0 (oldukça stabil), 1 (stabil), 2 (stabil değil) ve 3 (fazlasıyla stabil değil) olarak sayısallaştırılmasında kullanılır. EA değerleri ise, 10±0.5 litre hacimli KYB karışımının 15±0.5 dakika bir kapaçerisinde dinlendirilip, 500±50 mm yüksekten 5 mm göz açıklıklı elek üzerine 4.8±0.2 kg olacak şekilde dikkatlice akıtılıp 120±5 saniye bekletilmesinden sonra elek altınakütlece geçen kısmın %'ce ifadesidir. EFNARC (2005) raporunda EA değerleri SR1 (≤ % 20) ve SR2 (≤ % 15) iki sınıfta değerlendirilmekte ve hatta bazı şartlarda % 10 altında önerilmektedir. Segregasyon direnci azalan % 20 üzeri EA değerine sahip KYB karışımları bu raporda değerlendirme dışında bırakılmıştır.

Ayrıca KYB'nin çökme yayılma testinden sonra 3 bölmeli elek testi ile 10 mm göz açıklıklı elek üzerinde kalan iri agrega tanelerinin dağılımına bağlı olarak segregasyon katsayıları (SK) araştırılmıştır. SK değerlerinin artması betonun segregasyon direncinin azalmasını ifade etmektedir.

3 bölmeli testte eleğin bölmeleri eşit alanlara sahiptir ve dairesel olarak dilimlere ayrılan betonun ayrı ayrı elenmesini sağlamaktadır (Şekil 2). Yıkılarak elenen betonun her bir bölmedeki 10 mm üzeri iri agrega tanelerin ağırlıkları doygun kuru yüzey haline getirildikten sonra tartılmakta ve segregasyon katsayıları hesaplanmaktadır. Çalışmada, 3 bölmeli elek testinden elde edilen sonuçlar varyasyon katsayısı hesaplama yöntemiyle hesaplanmış (Eşitlik 1) ve segregasyon katsayısı (SK) olarak ifade edilmiştir.

$$SK = \frac{\sqrt{\frac{\sum (X_i - X_o)^2}{3}}}{X_o} \quad (\text{Eş. 1})$$

SK : Segregasyon katsayısı

x_i : Her bir bölmedeki iri agrega kütlesi, kg

x_o : Ortalama iri agrega kütlesi, kg



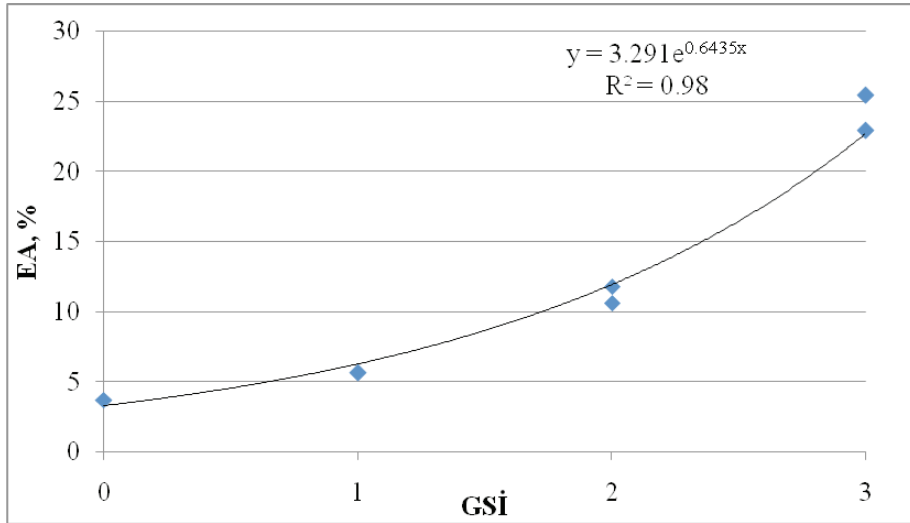
Şekil 2. 3 bölmeli eleğin kullanım detayları

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında hiperakışkanlaştırıcı katkılı KYB'nin segregasyon özellikleri araştırılmış ve geliştirilen alternatif bir yöntemle gerçek dinamik segregasyon parametrelerine ulaşılması amaçlanmıştır. Ayrıca çalışmada kullanılan standart statik segregasyon yöntemlerinden elde edilen görsel stabilite indeksi (GSİ) ve elekte ayrışma (EA) oranı ile geliştirilen dinamik segregasyon yönteminden elde edilen segregasyon katsayısı (SK) arasındaki ilişkiler araştırılmıştır.

Mevcut Segregasyon Yöntemleri Arasındaki İlişki

Çalışma kapsamında araştırılan GSİ ve EA, KYB'nin statik segregasyonunun belirlenmesinde kullanılan standart test yöntemleridir. GSİ ve EA arasında kurulan regresyon ilişkisi Şekil 3' de verilmektedir.

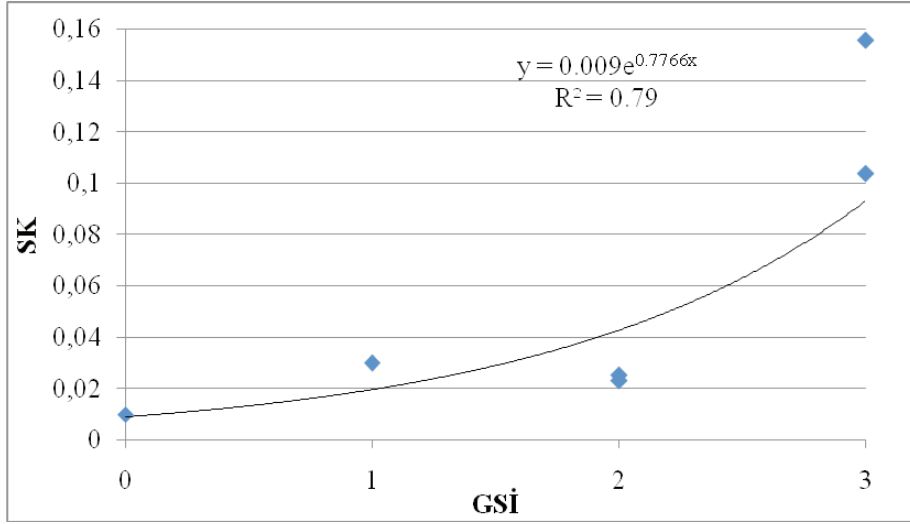


Şekil 3. GSİ ve EA arasındaki ilişki

Şekil 3' e bakıldığında yapılan statik segregasyon deney sonuçlarının arasında iyi bir üstel regresyon eğri ilişkisinin olduğu (R^2 : 0.98) görülmektedir. Bu yöntemlerin uygulanması her ne kadar farklı olsa da, gösterdikleri bu mükemmel ilişki KYB'nin statik segregasyon potansiyelinin belirlenmesinde uygun deney yöntemleri olduğunu kanıtlar niteliktedir.

3 Bölmeli Elek Yönteminin Mevcut Yöntemlerle İlişkisi

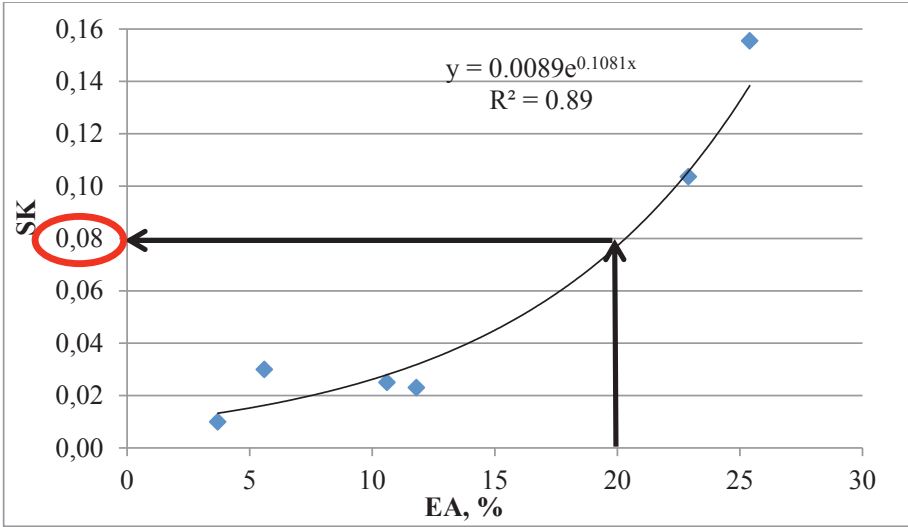
Çalışma kapsamında geliştirilen 3 bölmeli elek test sonuçlarından hesaplanan SK değerleri ile GSİ arasında kurulan regresyon ilişkisi Şekil 4’ de verilmektedir.



Şekil 4. SK ve GSİ arasındaki ilişki

KYB’ nin dinamik segregasyon potansiyelini ifade eden SK değerleri ile GSİ arasında kayda değer üstelbir ilişki ($R^2: 0.79$) bulunduğu Şekil 4’ de görülmektedir.

Ayrıca çalışma kapsamında SK ile EA değerleri arasında kurulan regresyon ilişkisi Şekil 5’ de verilmektedir.



Şekil 5. SK ve EA arasındaki ilişki

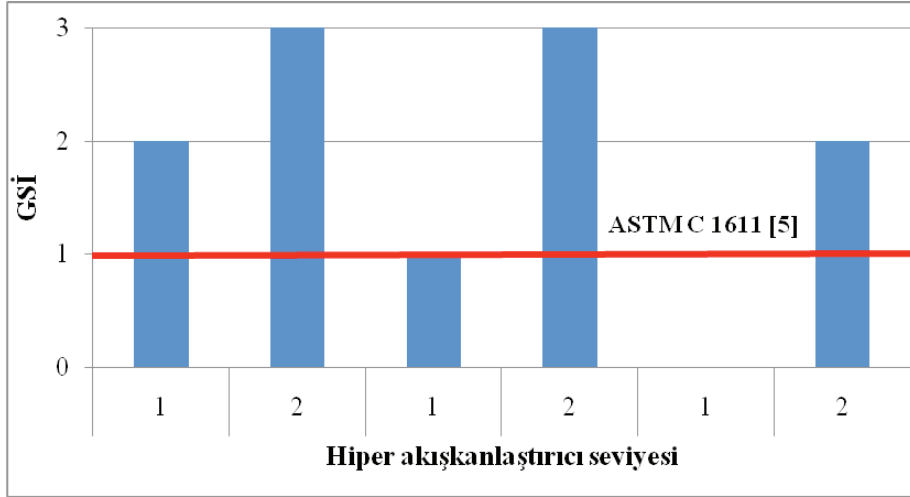
Şekil 5' e bakıldığında KYB'nin SK değerleri ile EA değerleri arasında kayda değer üstel bir ilişki ($R^2: 0.89$) görülmektedir. Genel olarak KYB karışımlarında görsel stabilite indeksleri veelekte ayrışma değerleri, 3 bölmeli elek yönteminden elde edilen segregasyon katsayılarıyla doğrusal olarak hareket etmektedir. Betonların segregasyona karşı direncinin azalmasıyla bu değerler artış göstermektedir. EFNARC [6] raporunda belirtilen sınıflamaların dışında kalan EA değerlerine göre (>20) segregasyon riski oluşturan KYB karışımlarını ifade etmektedir. EA ve SK değerleri arasında kurulan ilişkide eşdeğer SK değeri yaklaşık olarak 0.08' e karşılık gelmektedir.

Düşey ve yatay doğrultuda hazırlanan kalıplarda betonların dilimler halinde agrega dağılımları incelendiğinde hesaplanan segregasyon katsayıları limiti çalışmalarda 0.1 veya %10 olarak önerilmektedir [3,17,18]. Genel olarak bu çalışmalarda kalıp içerisindeki betonların tamamı ve hatta iri tane dağılımları arasındaki farkın maksimuma ulaştığı uç kısımları da göz önüne alınmaktadır. Hosseinpour vd. [19] yaptığı çalışmada KYB'nin dinamik segregasyonunun geniş yayılmada daha fazla olabildiğini vurgulamıştır. Sonuç olarak bu çalışma kapsamında yüksek yayılma seviyesine sahip KYB karışımlarının sınırlı bir kısmının dikkate alındığı ve uç kısımlarının SK hesabına dâhil edilmediğini düşündüğümüzde daha düşük bir SK limit değerinin önerilmesi doğru olacaktır. Çalışmada hazırlanan karışımlar, yöntemler ve ilişkiler kapsamında, herhangi bir engel veya sınırlama olmaksızın serbest

çökme yayılması yapan KYB karışımları için 3 bölmeli elek testinin segregasyon katsayısı limiti 0.08 olarak önerilebilir.

HiperAkışkanlaştırıcı Miktarının KYB'ninSegregasyonuna Etkisi

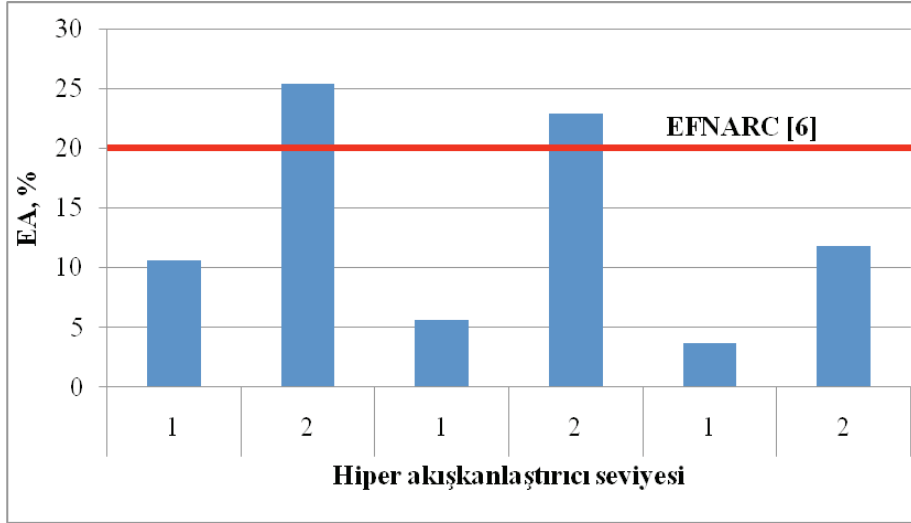
Çalışma kapsamında daha yüksek yayılma sınıfına sahip KYB karışımlarının hazırlanması için HA katkısı 2 seviyede kullanılmıştır. Örnek olarak 450-1 düşük, 450-2 yüksek HA katkı içeriğine sahip KYB'yi temsil ettiği ifade edilebilir. KYB karışımlarının farklı HA katkı oranı ve bağlayıcı dozajına göre değişen GSi değerleri ASTM C 1611' de [5]belirtilen segregasyon limit değeri ile birlikte Şekil 6' da verilmektedir.



Şekil 6. KYB karışımlarının GSi değerleri

KYB'lerin HA katkı kullanım oranı arttıkça ve bağlayıcı dozajı azaldıkça daha fazla görselsegregasyona uğradığı görülmektedir. Yüksek bağlayıcı içeren KYB karışımlarında (500 ve 550 kg/m³) HA katkı oranı arttıkça segregasyon direncinin daha fazla azaldığı görülmektedir. Genel olarak düşük oranda HA kullanılan KYB karışımlarında (450-1, 500-1, 550-1) bağlayıcı dozajı arttıkça betonların segregasyon dirençlerinin arttığı görülmektedir. Çalışmada düşük HA oranında 500 ve 550 kg/m³ bağlayıcı içeren karışımların (500-1 ve 550-1) yeterli görsel segregasyon direncini sağladığı görülmektedir.

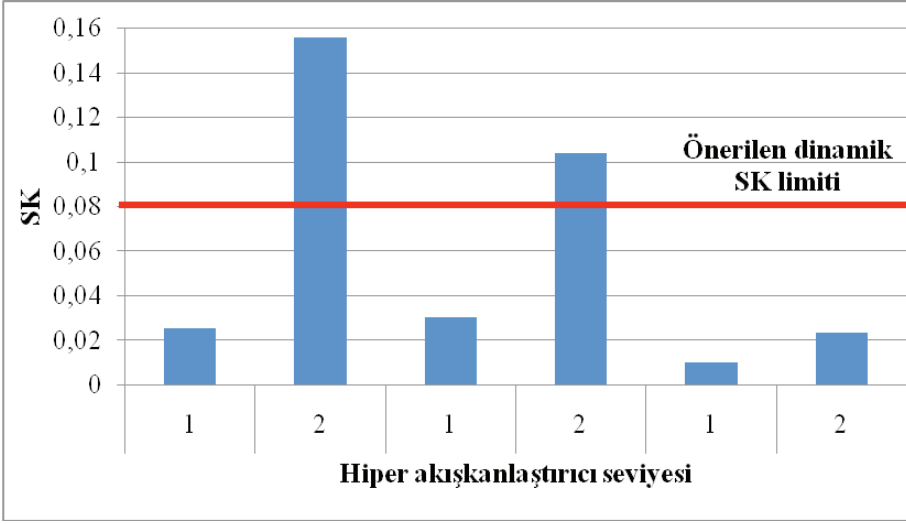
KYB karışımlarının farklı HA katkı oranı ve bağlayıcı dozajına göre değişen EA oranları (%) EFNARC [6] raporunda belirtilen segregasyon limit değeri ile birlikte Şekil 7’ de verilmektedir.



Şekil 7. KYB karışımlarının EA değerleri

Şekil 7’ye bakıldığında HA katkı oranı arttıkça ve bağlayıcı dozajı azaldıkça çalışma kapsamında hazırlanan KYB karışımlarının elek üzerinde tutunma dirençlerinin azaldığı görülmektedir. Genel olarak 450 ve 500 kg/m³ bağlayıcı oranında yüksek HA katkı içeren KYB karışımları haricinde diğer karışımlar EFNARC [6] raporunda belirtilen segregasyon limitinin altında kalmıştır.

Ayrıca KYB karışımlarının farklı HA katkı oranı ve bağlayıcı dozajına göre değişen SK değerleri çalışma kapsamında belirlenen segregasyon limit değeri ile birlikte Şekil 8’ de verilmektedir.



Şekil 8. KYB karışımlarının SK değerleri

Genel olarak Şekil 8’ de KYB karışımlarının HA katkı dozajının artmasıyla ve yüksek HA katkı içeren karışımlardabağlayıcı oranının azalması ile birlikte betonların dinamik segregasyonkatsayılarının arttığı görülmektedir.Bağlayıcı oranı azalan KYB karışımlarında,hiperakışkanlaştırıcı oranındaki artışla SK değerlerindeki artışın daha belirgin hale geldiği görülmektedir. Çalışma kapsamında 3 bölmeli elek testi için önerilen SK limiti (0.8) göz önüne alındığında 450-2 ve 500-2 karışımları haricinde KYB karışımlarının yeterli dinamik segregasyon direncine sahip olduğu söylenebilir.

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında farklı oranlarda hiperakışkanlaştırıcı katkı ve bağlayıcı dozajı kullanılarak hazırlanan KYB karışımlarının segregasyon özelliklerinin araştırılması, alternatif olarak yeni geliştirilen bir segregasyon yönteminin değerlendirilmesi ve bu segregasyon yöntemleri arasındaki ilişkilerin araştırılmasından aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir;

- Genel olarak yeni geliştirilen 3 bölmeli elek testinden elde edilen segregasyon katsayıları ile görsel segregasyon indeksi ve elekte ayrışma değerleri arasında kayda değer ilişkiler bulunmuştur.
- Hiperakışkanlaştırıcı katkı kullanım oranı artıkça ve bağlayıcı dozajı azaldıkça kendiliğinden yerleşen betonların statik ve dinamik segregasyon dirençleri azalmaktadır. Ayrıca kendiliğinden yerleşen betonlarda bağlayıcı dozajı artıkça hiperakışkanlaştırıcı katkı kullanım oranının dinamik segregasyon direnci üzerinde olumsuz etkisi azalmaktadır.
- Kendiliğinden yerleşen betonların dinamik segregasyonlarının araştırılmasında 3 bölmeli elek testi bu betonların dairesel olarak yayılmasından sonra iri agrega dağılımlarını tespit edebilmesi özelliği sebebiyle alternatif bir yöntem olarak kullanılabilir. Ancak güvenilir sonuçların alınması ve sağlıklı segregasyon limitlerinin oluşturulması için kapsamlı araştırma ve tekrarlanabilirlik testlerinin yapılmasına ihtiyaç vardır. Ayrıca, farklı akışkanlaştırıcı katkıları ve KYB tasarımları kullanılarak alternatif dinamik segregasyon metodları ile karşılaştırmalar yapılarak önerilen bu yöntemin geçerliliği ve ilişkileri araştırılmalıdır.

TEŞEKKÜR

Çalışmada çimento temininde desteklerini esirgemeyen BATIÇİM A.Ş.'ye ve kimyasal katkı temininde desteklerini esirgemeyen DRACO Yapı Kimyasalları A.Ş.'ye teşekkürü borç biliriz.

KAYNAKLAR

1. Sonebi, M., "Medium Strength Self-Compacting Concrete Containing Fly Ash: Modelling Using Factorial Experimental Plans," *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, No: 7, 2004, pp 1199–1208.
2. Esmaeilkhani, B., Feys, D., Khayat, K.H., and Yahia, A., "New Test Method to Evaluate Dynamic Stability of Self-Consolidating Concrete," *ACI Materials Journal*, Vol. 111, No: 3, 2014, pp 299-307.
3. Bui, V.K., Montgomery, D., Hinczak, I. and Turner, K., "Rapid Testing Method for Segregation Resistance of Self-Compacting Concrete," *Cement and Concrete Research*, Vol. 32 No: 9, 2002, pp 1489–1496.
4. Mouret, M., Escadeillas, G., and Bascoul, A., "Metrological Significance of the Column Test in the Assessment of the Static Segregation of Self-Compacting Concrete in the Fresh State," *Materials and Structures*, Vol. 41, No: 4, 2008, pp 663-679.
5. ASTM C 1611, Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
6. EFNARC 2005, Self-Compacting Concrete, European Project Group: The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use, 1-63, <http://www.efnarc.org/pdf/SCCGuidelinesMay2005.pdf> (Erişim: 28 Ocak 2017)
7. EN 12350-8, Testing Fresh Concrete - Part 8: Self-Compacting Concrete - Slump-Flow Test, European Committee for Standardization, 2010.
8. KS F 2594, Method of Test for Slump Flow of Fresh Concrete; Korean Agency for Technology and Standards (KATS), Seoul, Korea, 2015.
9. JIS A 1150, Method of Test for Slump Flow of Concrete, Japanese Standards Association, Japan, 2007.
10. Alami, M.M., Erdem, T.K., and Khayat, K.H., "Development of a New Test Method to Evaluate Dynamic Stability of Self-Consolidating Concrete," 8th International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete - SCC 2016, 2016, pp 113-122.
11. El-Chabib, H., and Nehdi, M., "Effect of Mixture Design Parameters on Segregation of Self-Consolidating Concrete," *ACI Materials Journal*, Vol. 103, No: 5, 2006, pp 374-383.
12. Mesbah, H.A., Yahia, A., and Khayat, K.H., "Electrical Conductivity Method to Assess Static Stability of Self-Consolidating Concrete," *Cement and Concrete Research*, Vol. 41, No: 5, 2011, pp 451-458.

13. Turgut, P., Turk, K., and Bakirci, H., "Segregation Control of SCC with a Modified L-Box Apparatus," *Magazine of Concrete Research*, Vol. 64, No: 8, 2012, pp707–716.
14. Shen, L., Struble, L., and Lange, D., "Modeling Dynamic Segregation of Self-Consolidating Concrete," *ACI Materials Journal*, Vol. 106, No: 4, 2009, 375-380.
15. Khayat, K.H., Assaad, J., and Daczko, J., "Comparison of Field-Oriented Test Methods to Assess Dynamic Stability of Self-Consolidating Concrete," *ACI Materials Journal*, Vol. 101, No: 2, 2004, pp 168-176.
16. EN 12350-11, *Testing Fresh Concrete - Part 8: Self-Compacting Concrete-Sieve Segregation Test*, European Committee for Standardization, 2010.
17. Safawi, M.I., Iwaki, I., and Miura, T., "A Study on the Applicability of Vibration in Fresh High Fluidity Concrete," *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, 2005, pp 1834– 1845.
18. Otsuki N, Hisada M, Nagataki, S, and Kamada T, "An Experimental Study on the Fluidity of Antiwashout Underwater Concrete," *ACI Materials Journal*, Vol. 93, No: 1, 1996, pp20-25.
19. Hosseini Poor, M., Khayat, K.H., and Yahia, A., "Numerical Simulation of Self-Consolidating Concrete Flow as a Heterogeneous Material in L-Box Set-up: Coupled Effect of Reinforcing Bars and Aggregate Content on Flow Characteristics," *Materials and Structures*, Vol. 50, 2017, 163.

RHEOLOGICAL APPROACH OF READY MIXED CONCRETE WITH DIFFERENT PCE ADMIXTURES: COMPARISON OF WORKABILITY BETWEEN MORTAR PASTE AND CONCRETE MIX

Passalacqua Danilo¹, Surico Francesco¹, Stefano Carrà¹ and Fabio Curto¹

¹R&D Mapei S.p.A., Milan, Italy

ABSTRACT

The specifications and the characteristics of concrete mixes continue to be measured by conventional single-point workability tests as slump or flow table. These tests are not suitable to measure the workability of concrete in terms of fundamental rheological parameters as yield stress and plastic viscosity. This represents a limit of that evaluation method. The workability can assess several properties of concrete such as stability, low tendency to segregation, good filling properties by which it can flow through reinforcement bars. This paper proposes a correlation between the rheological parameters and slump and slump flow in particular mixes designed for ready mixed concrete using different PCE admixtures. The effect of water/binder ratio (w/b), superplasticizer and water content on slump were also explored.

Keywords : Fresh concrete; Rheology; Slump flow; Admixtures; PCE;

INTRODUCTION

Cement based material are of enormous technological importance¹ and their performance depends on being able to be transported and placed in the fresh state.

In its simplest form, concrete is a mixture of cement paste and aggregates; through a chemical reaction also called hydration from paste without shape it becomes a solid or also an architectural work.

The two big groups in which concrete products can be divided are ready mixed concrete (RMC) and precast concrete (PC). RMC is produced in a concrete factory and then transported fresh to the plant where will be casted. PC is produced by casting in forms, then cured in a controlled environment. This factory-made piece is then transported to the construction site and, with the other pieces, becomes part of a larger structure.

In order to obtain a good PC with respect of flowability, stability and robustness all properties concurring in defining the concrete workability, an appropriate measurement by means of apt devices of its rheological properties is necessary.

This paper is particular focused on the study of the role of polyethercarboxylate-based superplasticizers (later called PCE) in the ready mixed concrete (RMC), that allow the manufacturing of concrete endowed with superior characteristics such as an excellent water reducing effect with keeping the fluidity of concrete in the time. This property can be achieved by balancing electric repulsion provided by an negatively charged group and a steric effect given by non-ionic group.

The results presented in this study were carried out by the experimental comparison between ConTec Viscometer⁵ and stress controlled rheometer (Anton Paar MC302).

MATERIAL

Cement and Aggregates

A Portland cement was selected for testing. According to EN 196 and EN 197 the characteristics are:

CEM I 42,5R Lafarge

Blaine = 400 m²/kg

C3A = 5,8%

Specific Gravity = 3.00 g/cm³

Granitic aggregates from Italy were used in this study, characteristics are reported in Figure 1.

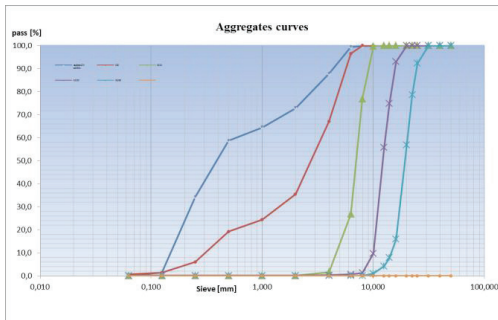


Figure 1. Aggregates curves

Chemical Admixtures

In order to understand how PCE admixtures with different assets might affect concrete rheological properties, five different types have been selected and tested. All admixtures are High Range Water Reduce (HRWR) according to table 11 of EN 934-2.

Concrete Specification

It was used a concrete prescription representative one of a typical mix of concrete.

Below we summarized all prescriptions as defined by EN 206:

- Compressive strength class: C 45/55
- Class of Exposure: XC1
- Slump class: S5
- Maximum diameter of aggregate: 30
- Dosage of cement: 340 Kg/mc
- Maximum water cement ratio: 0,51

The mix design has been selected on the base of the sieve analysis of aggregates and comparing the proportion of aggregates with the ideal grading of the Bolomey curve.

Table 2 gives the mix design and the graph in Figure 4 comparing the Bolomey curve and what obtained in our mixes.

Table 1. Mix design

	kg/m ³
Cement	340
Sand 0/4	148
Sand 0/8	918
Gravel 10/20	309
Gravel 20/30	478

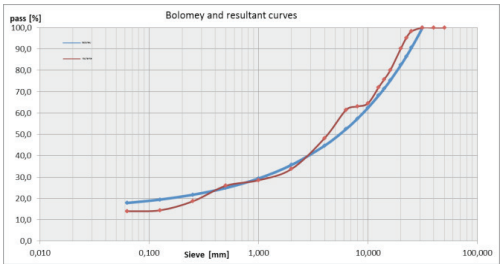


Figure 2. Comparison the Bolomey curve vs our mix

The mixes were done to have the possibility to study the characteristics of the concrete at different water cement ratio and dosing the admixtures to reach different initial slump as in Table 3.

Table 2. Description of the samples

Id. sample	w/c ratio	Id. Admixture	Quantity (% weight)
Mix 1	0,47	PCE I	0,34
Mix 2		PCE II	0,20
Mix 3		PCE III	0,38
Mix 4		PCE IV	0,26
Mix 5		PCE V	0,23
Mix 11	0,51	PCE I	0,25
Mix 12		PCE II	0,16
Mix 13		PCE III	0,22
Mix 14		PCE IV	0,19
Mix 15		PCE V	0,20

The volume indexes were verified in order to have an information on cement paste, matrix and finesse of mix. The cement paste is, on liters volume, the sum of water, cement, admixtures and air. The matrix is the sum of cement paste and all material passing to sieve 0,125 mm. The mortar is the summation of cement paste and all material passing to sieve 4 mm.

All these values give the volume indexes that are considered the fundamental values to be checked when preparing the mixture. The volume indexes are the picture of the mix and their values show the good proportion of all parts needed produce the ready mixed concrete (Figure 3).

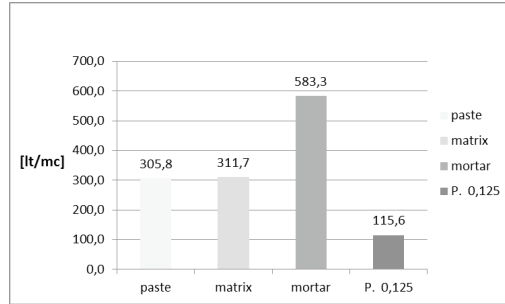


Figure 3. Proportion of RM concrete

Mix Procedures

The following mixing procedure was used:

- mixing aggregates and $\frac{3}{4}$ of water for 2 minutes
- waiting for 2 minutes
- adding cement
- mixing for 30 s and adding the rest of water and admixture
- mixing for 1 min more

TESTING METHODS

The rheological study on precast concrete was performed by using two instruments that allow to translate the behaviour in terms of viscosity and the yield value. For that it was used Viscometer 5 from ConTec and a strain controlled rheometer MCR302 by AntonPaar.

The viscometer 2 uses the Rheiner-Ririhin model (to interpolate the data) and the G. H. Tattersall equation

$$\text{Torque} = G + H \cdot \text{Speed} \quad (1)$$

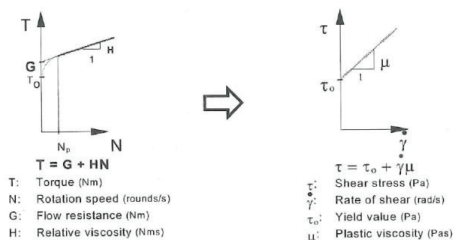


Figure 4. Equation

(that link Newtonian equation to the parameters measured by the instrument see Figure 4) where G is a measure of the force necessary to start a movement of the concrete (called “flow resistance”) and H is a measure of the resistance of the concrete against an increased speed of movement (called “viscosity factor”).

The rheometer express the behaviour by the most common of the equation: the Bingham law:

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \dot{\gamma} \quad (2)$$

This is the simplest equation able to represent the constitutive equations for mortars and concrete. The viscometer (Fig. 5) equipped by a coaxial cylindrical tool, working according to the principle of Couette viscometer³ at constant shear rate:

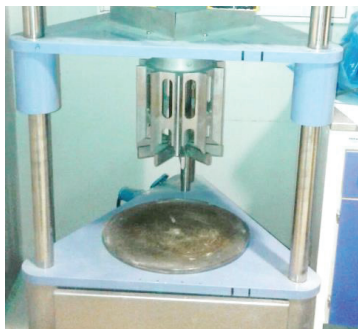


Figure 5. ConTec Viscometer

the rotational speed of the outer cylinder is varied while the torque is measured on the inner rotor and flow resistance G and viscosity factor H can be determinated.

The rheometer, in order to measure concrete, has been equipped with ball measuring system (Fig.6), a special tool for fluids with grain size up to 10 mm.



Figure 6. AntonPaarrheometer with ball measuring system

The sphere is dragged through a sample of approximately 0,5l volume and the viscosity is measured in one rotation to affect the measurements due to the establishment of a channel path made by the tool during the test .

LABORATORY TESTS

The RM concrete4 was characterized with empirical tests related to the application on job sites:

Slump test according to EN 12350-2

Specific gravity according to EN12350-6

Air content according to EN 12350-7

The slump test, performed with Abram’s cone, is a control of workability and both air content and specific gravity give an important indication about mix design of the concrete suitability. In that sense, the Abram’s cone could predict/define the finality of the concrete: in fact such system with slump high of 24-26 cm has a workability specific for RMC.



Figure 7. Slump test with Abram's cone on RM concrete

RESULTS

Special rheological tests have been performed as well as complementary technique to assess the flow behaviour of that building materials. The tests^{5,6} involved both viscometer and rheometer, equipped with special devices to avoid slip condition or segregation for proper application of rheological models. Table shows the results from laboratory tests in terms of slump and air content.

Table 3. Laboratory results

Id.	Initial slump (mm)	30 min slump (mm)	60 min slump (mm)	Spec. gravity (Kg/m ³)	Initial air (%)
Mix 1	230	205	175	2374	3,1
Mix 2	230	75	10	2371	3,2
Mix 3	230	180	140	2413	1,9
Mix 4	225	180	30	2409	1,8
Mix 5	225	80	10	2411	2,1

Mix 11	230	205	175	2362	3,2
Mix 12	230	100	10	2364	2,7
Mix 13	225	200	190	2428	0,8
Mix 14	230	190	110	2414	1,5
Mix 15	230	205	110	2406	1,5

Table 5 shows the results from viscometer tests, where: G is the force necessary to the system in order to start the flow; H is a sort of plastic viscosity the software provides to carried out from measurements a ‘plug speed value’. That means the viscosity at a calculated shear when the flow occurs.

Table 4. Viscometer results

Id.	G Flow Resistance [Nm]	H η_p [Pa·s]	Plug speed [rps]
Mix 1	2,84	85,5	0,12
Mix 2	3,88	76,3	0,17
Mix 3	3,34	81,4	0,15
Mix 4	2,87	86,3	0,12
Mix 5	3,63	101	0,12
Mix 11	2,51	54,0	0,16
Mix 12	2,99	48,7	0,21
Mix 13	2,47	43,8	0,19
Mix 14	2,16	57,1	0,14
Mix 15	2,31	42,1	0,20

Figg. 8-11 are achieved from flow curves by rheological tests.

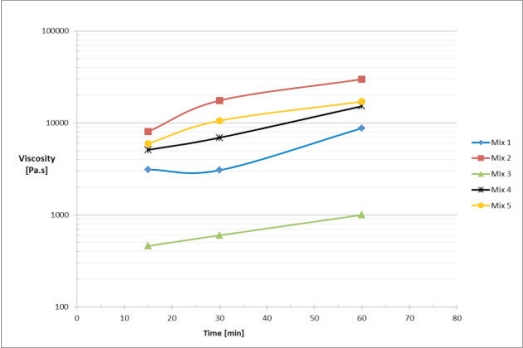


Figure 8. Rheological results: flow curve of Mixes 1-5 at 0,01 s-1

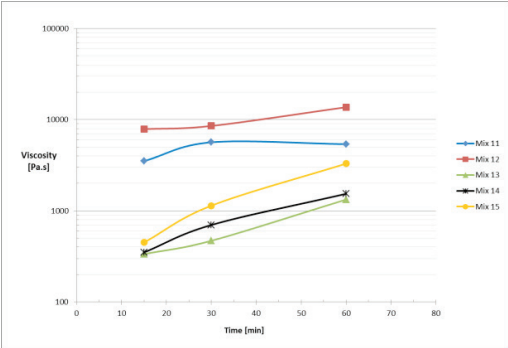


Figure 9. Rheological results: flow curve of Mixes 11-15 at 0,01 s-1

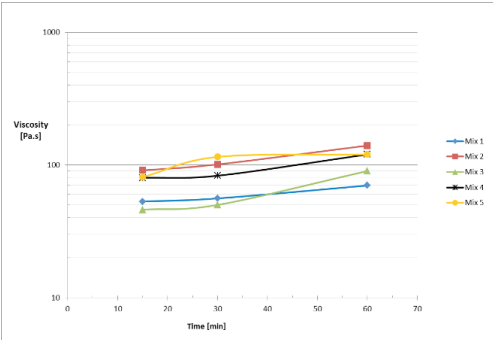


Figure 10. Rheological results: flow curve of Mixes 1-5 at 10 s-1

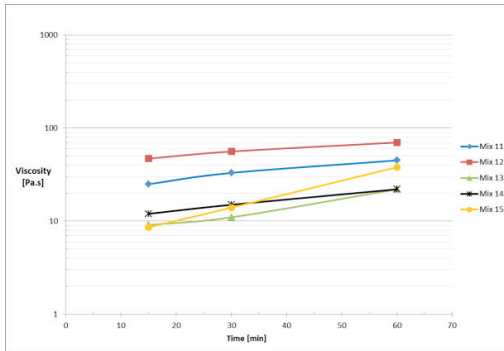


Figure 11. Rheological results: flow curve of Mixes 11-15 at 10 s-1

The comparison between the viscosity values at low and high shears means a pseudoplastic behaviour: characteristic of cement based materials rheology.

The tests have revealed a clear effect of an increasing W/C in mixes with PCE II, PCE III and PCE IV respect to the PC I and PCE V . That modification into the mix design creates a decrease of the yield value while maintaining the viscosity at high shear reasonably unchanged. That is more effective when W/C is higher, so that we can assume that the contribution of water on viscosity is significant.

The mix with PCE V shows low viscosity behaviour at low and high W/C, while PCE II shows high viscosity.

Figg. 12-21 are achieved from slump and rheological tests.

These graphs allow to correlate the values of slump cone to the viscosity values at different shear rates. It is useful to control the differences among the viscosity values at different shear rates, to understand how the activity of PCE.

The mixes with PCE I and PCE III show lower differences among the viscosity values at low shear rate and high shear rate, at 15 minutes. These differences keep at 60 minutes.

On the other hand the mixes with PCE II and PCE V show higher differences among the viscosity values at low shear rate and high shear rate, at 15 minutes. These differences at 60 minutes are retained.

For all tests it can be noted that viscosity values at 1 s-1 and 10 s-1 are closer that the values at 0,01 s-1.

At 15 minutes all mixes from 1 to 5 have same slump (230 mm), while viscosity at low shear are different: mix 2,4 and 5 show 6000-10000 Pa.s and Mix 3 shows 450 Pa.s. The same tendency we find at higher shear: mix 2,4 and 5 show 80-90 Pa.s.

At 30 minutes mix 1,3 and 4 show same slump (180-200 mm) while viscosity at low shear for mix 1 is 150 Pa·s, for mix 3 110 Pa·s and for mix 4 is 180 Pa·s. Mix 2 and 5 show same slump (80 mm) and same viscosities at low and high shears.

At 60 minutes mix 2,4 and 5 show low slump, and viscosities have same values at low and high shear.

At 15 minutes all mixes from 11 to 15 have same slump (230 mm), while viscosity at low shear are different: Mix 11 shows 200 Pa·s, mix 12 and 15 show 160-180 Pa·s, Mix 13 shows 125 Pa·s and mix 14 shows 100 Pa·s. The same tendency we find at higher shear: Mix 11 shows 145 Pa·s, mix 12 and 15 show 70-80 Pa·s, Mix 13 shows 60 Pa·s and mix 14 shows 20 Pa·s.

At 30 minutes mix 11,13,14 and 15 show same slump (200 mm) while viscosity at low shear for mix 11 and 15 is 190-200 Pa·s, for mix 13 is 140 Pa·s and for mix 14 is 110 Pa·s. Mix 12 shows same viscosity at low shear of mix 15 despite of drop of slump to 100 mm.

At 60 minutes mix 11 and 13 show same slump (180-200 mm), but mix 13 viscosities at low and high shear are lower. Mix 14 and 15 show same slump (100 mm) and same viscosities at low and high shear.

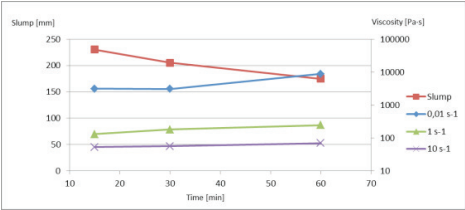


Figure 12. Slump Vs Viscosity of Mix 1

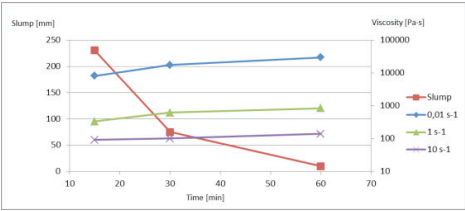


Figure 13. Slump Vs Viscosity of Mix 2

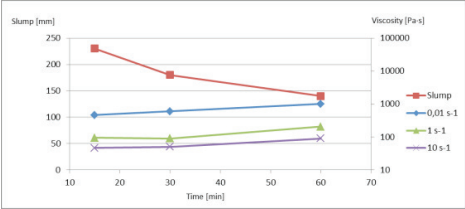


Figure 14. Slump Vs Viscosity of Mix 3

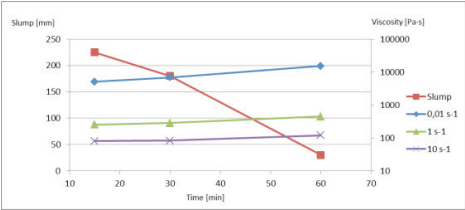


Figure 15. Slump Vs Viscosity of Mix 4

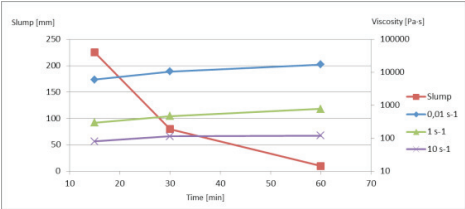


Figure 16. Slump Vs Viscosity of Mix 5

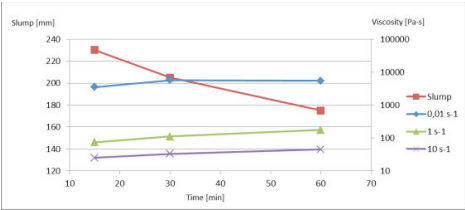


Figure 17. Slump Vs Viscosity of Mix 11

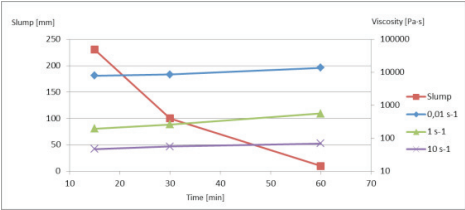


Figure 18. Slump Vs Viscosity of Mix 12

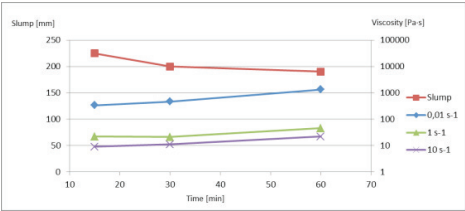


Figure 19. Slump Vs Viscosity of Mix 13

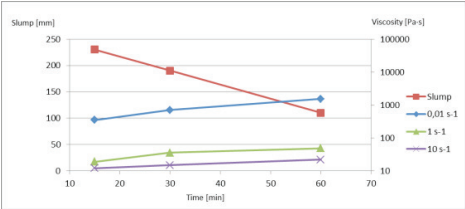


Figure 20. Slump Vs Viscosity of Mix 14

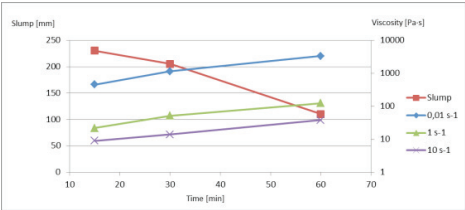


Figure 21. Slump Vs Viscosity of Mix 15

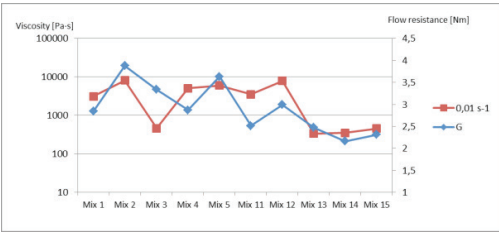


Figure 22. Viscosity at 0,01s-1 vs. Flow Resistance [G]

The diagram in Figure 22 correlates the viscosity at 0,01 s-1 measured with rheometer vs. the flow resistance [G] directly measured by viscometer. The results appear to be correlated and stress controlled rheometer offers the possibility to have a better feeling on the effect of admixtures on the yield value7,8. The first five mixes have the same w/c ratio but the amount of super plasticizer in Mix 1 and 3 is higher: the effect is highlighted by the viscosity at low shear, especially by the measurement obtained by the rheometer. It appears clear: as well as with less w/c content and increasing the super plasticizer, even if the trend appears the same, the viscosities in absolute value are different.

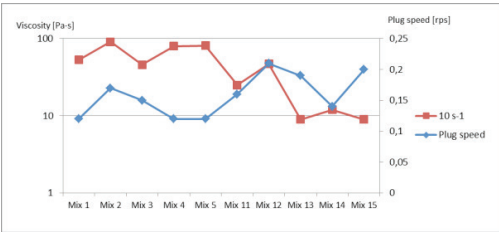


Figure 23. Viscosity at 10 s-1 vs. Plug speed

The diagram in figure 23 would get a relationship between viscosity at 10 s-1 and the “plug speed”. That evaluation is obtained by viscometer and represents the velocity the system needs in order to flow during an incipient flow condition.

It is clear that the sensitivity of rheometer is higher than viscometer, and in mix11, 12 and 15 there are some discordances between the two instruments. This can be due to a possible different time of test. On the other hand the mix with PCE II shows the highest values in term of Viscosity and plug speed.

CONCLUSIONS

In this paper the rheology of fresh ready mix concrete using different PCEs admixtures is investigated. It was explored the link between rheology and technology and identified the areas where these are weak and could benefit from future experimental and jobsite-tests. The effect of superplasticizer on viscosity of concrete is described pointing out the differences with traditional measurement as slump. The measurements through the rheometer give the possibility to study the effect of PCEs on the behaviour of concrete under steady-state conditions and under movement. These differences cannot be identified studying the slump behaviour only. The slump slope can be compared to the tendency of viscosity at 0,01s-1, in inversely proportionality. But at 1 and 10 s-1 there is not a direct relation with slump.

To conclude, the two methods of evaluation, rheological and slump flow, confirm what it was suggested previously: the rheology is more susceptible to changes made to the different category of superplasticizer into concrete. Moreover that high sensibility could help the formulator to choose the right PCE or optimize the mix design in accord with the customer demand.

ACKNOWLEDGMENTS

A special thanks to E. Banfi, M. Deola, L.Torelli.

REFERENCES

1. P.F.G. Banfill, "The rheology of fresh cement and concrete – a review", 11th International Congress of Chemistry of Cement, 11-16 May 2003, Durban, South Africa.
2. G.H. Tattersall, P.F.G. Banfill, "The rheology of fresh concrete", Pitman Advanced Publishing Program.
3. P.F.G. Banfill, "A coaxial cylinders viscosimeter for mortars", Cement and Concrete Research (1987), vol.17, pp. 329-33.
4. D. Beauprè, "Rheology of high performance shot concrete", PhD Thesis, University of British Columbia, 1994.
5. WallevikOlafur H., "Introduction to Rheology of fresh concrete", Course compendium, Reykjavik 2009.
6. M. Schatzmann • G. R. Bezzola • et al. Rheometry for large-particulated fluids: analysis of the ball measuring system and comparison to debris flow rheometry, RheolActa 23 April 2009
7. F.Curto et al., "Rheology as a tool to investigate SCC workability ", CPI 2011, issue 4.
8. P.F.G. Banfill, "Rheology of fresh cement and concrete", Rheology review, 2006, pp 61-130.

SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPILAR İÇİN BETON KATKILARINDA ÇEVRESEL ÜRÜN BEYANLARI

Alev ÇANKAYALI

Kimya Mühendisi
Katkı Üreticileri Birliği
Ankara, Türkiye

ÖZET

Kimyasal katkılar beton üretilirken veya üretildikten sonra ilave edilerek taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini geliştirmek için kullanılırlar. Betonun fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi için kimyasal katkıların kullanılması gerekmektedir. Beton ve harçların özelliklerini geliştirmek, farklı beton uygulamaları yapabilmek ve daha yüksek dayanımlı beton yapmak için kimyasal katkıların kullanılması, beton yapılarda vazgeçilmezdir. Yapılarda en çok kullanılan yapı malzemesi beton olduğundan, beton ve betonu oluşturan bileşenlerin kalitesi kadar çevresel performansları da önemlidir. Yapılar doğal kaynakların tüketilmesine ve çevre kirliliğine sebep olduklarından, bu olumsuz etkilerin en aza indirgenmesi ve sürdürülebilir yapılar yapılması zorunlu hale gelmiştir. Avrupa’da ürün bazında çevresel ürün göstergelerinin hesaplanması bir takım standartlara göre tanımlanmış ve Çevresel Ürün Beyanı belgelerinin bilgilendirme amaçlı kullanılması sağlanmıştır. Yapı malzemelerinde doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı gerekliliği Çevresel Ürün Beyanı belgeleri ile yerine getirilebilmektedir. Bu bildiride beton kimyasal katkıları için Çevresel Ürün Beyanları mevzuat, ilgili standartlar ve içerik bakımından incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Kimyasal katkılar, çevresel ürün beyanları, beton, sürdürülebilir yapılar

ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATIONS IN CONCRETE ADMIXTURES FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTIONS

ABSTRACT

Chemical additives are used to improve the characteristics of fresh and hardened concrete, by their addition into the concrete either during or after the concrete production. Chemical additives must be used to improve the physical characteristics of concrete. The use of chemical additives in concrete structures is indispensable in order to improve the characteristics of concrete and cement mortars, to perform different concrete applications, as well as to produce high-strength concrete. Since the most commonly used building material is concrete, the environmental performance of concrete is as important as the concrete itself and its constituent materials. Structures cause the consumption of natural resources and environmental pollution; therefore, it has become compulsory to minimize these negative impacts and to make sustainable constructions. In Europe, calculation of product-based environmental product indicators has been identified according to the number of standards and Environmental Product Declaration documents are being used for informational purposes. The necessity of sustainable use of natural resources in building materials can be fulfilled by environmental product declaration documents. In this paper, environmental product declarations for concrete chemical additives will be examined in terms of legislation, relevant standards and content.

Keywords: Chemical additives, environmental product declarations, concrete, sustainable constructions

AMAÇ

Bu çalışmanın amacı sürdürülebilir yapılar için TS EN 934-2 ve TS EN 934-5 kapsamındaki beton katkıları özelinde Yapı Malzemeleri Mevzuatının ve dolayısıyla CE işaretlemesinin bir gereği olan Çevresel Ürün Beyanlarının tanıtılması, ilgili standartları ve içerikleri hakkında bilgi verilmesidir.

GİRİŞ

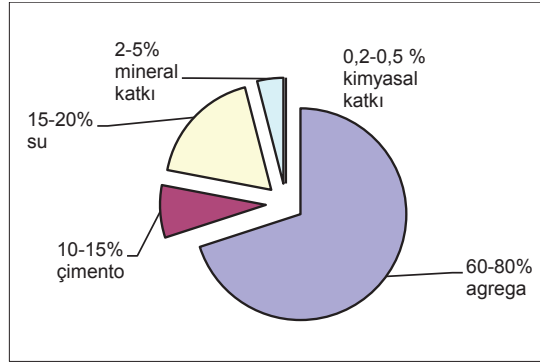
Kimyasal katkılar, beton üretilirken veya üretildikten sonra ilave edilerek taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini geliştirmek için kullanılırlar. Beton nicel olarak Yapılarda en çok kullanılan yapı malzemesidir. Betonun fiziksel özelliklerinin geliştirilmesi için kullanılan kimyasal katkı maddelerindeki teknolojik gelişmeler sayesinde ürün çeşitliğinin artması ile betonun uygulama alanlarında genişleme ve yaygınlaşma sağlanmıştır. Kimyasal beton katkıları teknolojisindeki bu gelişmeler, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirdiği gibi çevresel etkilerini de olumlu yönde etkilemektedir. Kimyasal katkıların kullanım oranları çok düşük olmasına rağmen, betonun performansına etkisi büyüktür.

1. Beton ve Kimyasal Katkılar

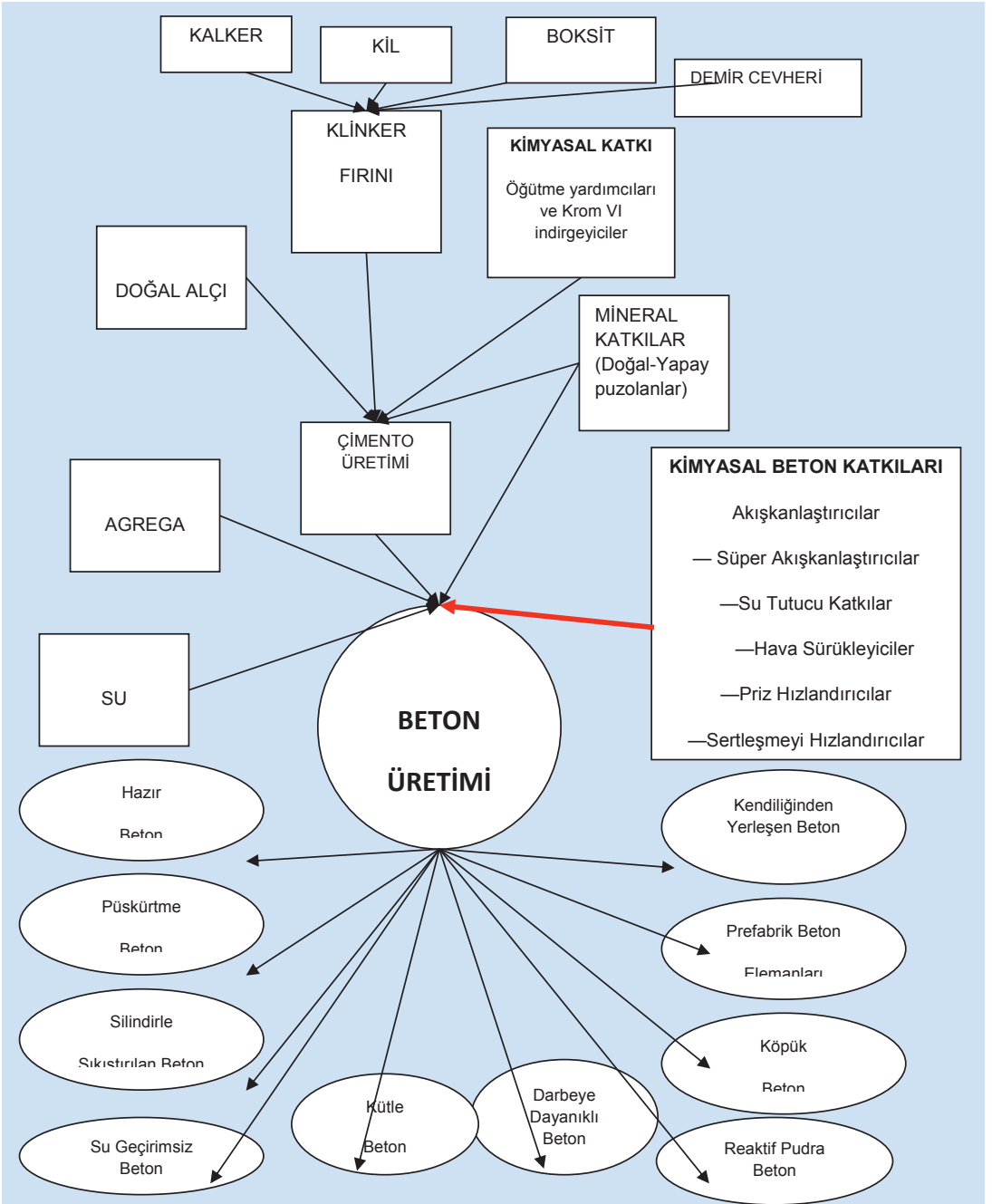
Betonu oluşturan çimento, agrega ve su gibi hammaddelerin doğadan elde edilişleri sırasında kullanılan yöntemlere bağlı olarak, bitki ve hayvan yaşam alanlarının yok olması, topografyada değişiklik, erozyon, toz salınımları, gürültü ve görüntü kirliliği oluşması, su tüketimi ve kirliliği gibi olumsuz çevresel etkiler meydana gelmektedir [1]. Yoğun kullanım nedeniyle betonu oluşturan hammadde kaynaklarının giderek azalması ve enerjinin korunması, zararlı baca gazı salınımlarının kısıtlanması gibi etkenler çimento-beton üretiminde mineral ve kimyasal katkıların, endüstriyel atıkların ve alternatif yakıtların kullanımına önem verilmesini gerektirmektedir [2].

Yapı sektöründe en çok kullanılan malzeme betondur. Avrupa’da ERMCO (Avrupa Hazır Beton Birliği)’ya üye ülkelerde 2013 yılı hazır beton üretimi 218.000.000m³ olarak gerçekleşmiştir. Türkiye Avrupa’da 102.000.000m³ ile en çok hazır beton üretimi yapan ülke konumundadır [3]. Beton üretimine ve beton sınıfına bağlı olarak çimento ve dolayısıyla kullanılan beton katkılarının miktarı da doğrusal olarak artmaktadır.

Betonu oluşturan malzemelerin yaklaşık olarak kullanım oranları Şekil 1’ de verilmiştir.



Şekil 1. Beton bileşenlerinin kullanım oranlarının hacim olarak gösterimi [1].



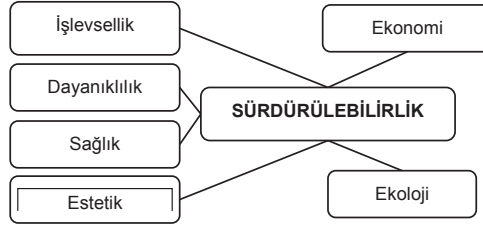
Şekil 2. Kimyasal katkıların yapı malzemelerinde kullanım yeri ve uygulama alanları [1].

Taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini geliştirmek için kullanılan kimyasal katkıların, kullanım oranları çok düşük olmasına rağmen, betonun performansına etkisi büyüktür. Kimyasal katkı teknolojisinin gelişmesi sonucunda günümüzde beton en çok tercih edilen ve kullanılan yapı malzemesi olma özelliğini korumuştur.

Kimyasal beton katkılarının çeşitliğin artması ile betonun uygulama alanları genişlemiş ve yaygınlaşmıştır. Kimyasal katkıları beton bileşenlerin hammadde üretiminden, beton oluşumuna kadar birçok aşamada kullanılırlar. Kimyasal katkıların beton üretim aşamasındaki kullanım yerleri Şekil 2’ te verilmiştir.

2. Yapı Malzemeleri ve Sürdürülebilirlik

Yapı sektörünü oluşturan malzemeler var olduğu süreçte çevre ile uzun süreli etkileşime girer. Olumsuz etkileri azaltmak için yapı ürünleri (yapı malzemesi veya bileşenleri) yapının inşa edilmesi, kullanımı, gerektiği zamanlarda bakım-onarımı; ömrünü tamamladığında atılması, geri dönüştürülmesi, birtakım işlemlerden geçirilerek yeniden kullanıma hazır hale getirilmesine kadar geçen süreç Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesidir YDD (Life Cycle Assessment-LCA) [3]. Bu süreç, hammaddenin çıkarılması, üretim, yapım, kullanım, yıkım ve yıkım sonrası evreleri kapsar [3]. Yapı ürünleri, yaşam döngülerinin her evresinde farklı çevresel etkilere sebep olabilir [4-8]. Bu etkilerin azaltılması için yapı malzemesi seçiminde malzemelerin tüm yaşam döngüleri bazındaki sürdürülebilirlik ölçütleri Şekil 3’ deki gibi dikkate alınmalıdır [9].



Şekil 3. Sürdürülebilirlik ölçütleri [9]

Kimyasal beton katkıları sürdürülebilirlik ölçütleri içinde işlevsellik, dayanıklılık, sağlık, ekonomi ve ekoloji ile birinci dereceden ilgilidir.

Yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde, dayanıklılık ve hizmet ömrü önemli ölçütlerdir [10].

Dayanıklılık, yirminci yüzyılın sonlarından itibaren dünya genelini ilgilendiren önemli bir konu olmuştur [11]. Yapıların ve yapı ürünlerinin işlevlerini uzun yıllar boyunca bozulmadan yerine getirmeleri “dayanıklılık (durability) veya “kalıcılık ” olarak tanımlanabilir [12]. Dayanıklılığı yüksek bir yapı, ilk şeklini, niteliklerini ve hizmet görme yeteneğini çevre etkisine maruz kalırken uzun süre kaybetmeyen yapıdır. “Hizmet ömrü” dediğimiz süre sonunda, yapının kullanımı güvenli olmaktan çıkar. Yapı, hizmet ömrü sonunda bakım, onarım gerektirebilir ya da yıkılabilir [13]. Yapıyı oluşturan malzemelerin dayanıklılığının düşük ve hizmet ömrünün kontrol edilemez olması; bakım, onarım ve yıkıma, kısıtlı doğal kaynakların gereksiz tüketilmesine neden olmaktadır [14].

3. Yapı Malzemelerinde Sürdürülebilirlik Standartları ve Yasal Çerçeve

Avrupa’da binalarda sürdürülebilirlik performansı, Avrupa Standartlar Komitesi (CEN) tarafından bir seri normlarda (CEN/TC 350) tanımlanmıştır. Buna göre binalarda sürdürülebilirlik standardı çevresel, sosyal ve ekonomik üç temel üzerine oturtulmuştur. Binalarda çevresel performans malzeme boyutundan başlanılarak değerlendirilmiş ve EN 15804 normu ile tanımlanmıştır. Şubat 2012 itibariyle yayınlanan bu norm ile yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin değerlendirilip karşılaştırılabilir olmasının çerçevesi belirlenmiştir. Amacı, yapı malzemelerinde aynı standartlara uygun Çevresel Ürün Beyanının hazırlanması ve Avrupa genelinde çevresel ürün beyanı belgelerinin uyumlaştırılmasını sağlamaktır. Bu amaçla Avrupa Yapı Malzemeleri Üreticileri Birliği,

2012 yılında ECO Platform adında bir oluşuma giderek Avrupa’da satılan tüm yapı malzemelerinin çevresel ürün beyanı belgesine sahip olmasını kendine hedef seçmiştir. Ürün bazında çevresel performans göstergelerinin hesaplanması ISO 14040/44 Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) standardı ile tanımlanmış, ve ISO 14025 standardına göre EPD belgelerinin iletişim amaçlı kullanımı sağlanmıştır. 1989’da yürürlüğe giren Avrupa Yapı Malzemeleri Direktifi’nin (CPD-Construction Products Directive) Mart 2011’de Avrupa Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (CPR-Construction Products Regulation) olarak yenilenmesi ile CE işareti gereklilikleri de yenilenmiştir. 1 Temmuz 2013 tarihi itibarıyla uyumlaştırılmış Avrupa Standartları kapsamında pazara sunulacak yapı malzemelerinin, CE işareti taşıması zorunlu hale gelmiştir.

Ürün performans kriterlerine ilave olarak getirilen “doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı” gerekliliği çevresel ürün beyanı belgeleri ile yerine getirilebilmektedir. Türkiye’nin de tabi olduğu bu yönetmeliğe yapı malzemesi üretici firmaların uyum sağlaması gerekmektedir. Bina boyutunda sürdürülebilirliğin çevresel performansı ise EN 15978 normu ile yayınlanmıştır. EN 15978, bir binanın çevresel performansını değerlendirmek için, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) ve diğer nicel çevresel bilgilere dayanarak, hesaplama yöntemini belirtir ve değerlendirme sonucu raporlama ve iletişim için bir araç sunar. Yapı malzemelerinde olduğu gibi bu iletişim aracı Bina ÇÜB (Çevresel Ürün Beyanı) belgesidir (PCR 2014, Buildings).

Bu norm, bina yapımındaki tüm aşamaları içine alacak şekilde yapı malzemelerinde olduğu gibi YDD ile çevresel performansın hesaplanması gerekliliklerini ortaya koymaktadır. Binalarda kullanılan malzemelerin sürdürülebilirliğinin yanında bina inşası aşamasındaki süreçler dahil, binanın kullanımı ve bertarafındaki aşamaları da irdelenecek şekilde değerlendirme yapılır.

EN 15978 normu, ilk defa bilimsel yaklaşımla m² kullanım alanı işlevsel birimine göre bir yapının gömülü ve operasyonel olmak üzere enerji ve su tüketimlerini, karbon emisyonlarını ve diğer çevresel performans göstergelerini senelik ve tüm bina yaşamı boyunca hesaplanabilmesi fırsatını sağlamıştır [14].

- Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD): YDD bir ürünün hammaddelerinden başlayarak nihai bertarafına veya geri dönüştürülmesine kadar yapmış olduğu çevresel etkiyi değerlendirmektedir. Bir ürünün üretim ve kullanım aşamasında tüketilen enerji, su ve malzeme miktarını beşikten, kapıya veya beşikten, mezara süreçlerinde modellemektedir.

- Çevresel Ürün Beyanı (EPD) — Çevresel Ürün Beyanı, bir ürünün yaşam döngüsü içerisinde çevresel etkileri ile ilgili kapsamlı, nicel, doğrulanmış bir açıklamadır. Uluslararası standartlara ve ürün yaşam döngüsü değerlendirmesi sonuçlarını bildirir ve bir ürünün çevresel performansı hakkında bilgiler içerir. Çevresel ürün beyanları genellikle bir ürünün küresel ısınma potansiyeli, karbon ayak izi, ozon incelmesi, toprak ve suyun asitlenmesi, ötrofikasyon (sudaki azot ve fosfat artışı), fotokimyasal ozon oluşumu ve abiyotik kaynakların tükenmesi gibi bilgiler içermektedir. Çevresel ürün beyanları nihai kullanıcının çevresel performans bakımından daha bilinçli satın alma kararları vermesini sağlamaktadır.

4. Ekolojik Etiketler

Çevresel ürün beyanı bir ürünün bağımsız bir denetimden geçirildiğini gösteren bir ekolojik etikettir.

Uluslararası Standardizasyon Kurumu (ISO) ürünlerin çevresel etiketleri için farklı standartlar altında Tip 1, 2 ve 3 kategorileri oluşturmuştur:

- Tip 1 (ISO 14024:1999, Çevre etiketleri ve beyanları –Tip 1 çevre etiketlemesi– İlkeler ve prosedürler)– Tip I çevre etiketi gönüllülük esasına dayanan ve birden fazla parametre bazında değerlendirme yapan üçüncü şahıs verifikasyonuna sahip bir programdır. Ancak Tip 1 çevre etiketi, ürünlerin çevresel performansı ile ilgili nicel veriler içermemekte; yalnızca aynı kategoride yer alan ürünlerin çevresel performanslarının karşılaştırılması bakımından tüketiciye olanak sunmaktadır.

- Tip 2 (ISO14021:1999, Çevre etiketler ve beyanları –Kendi kendine beyan edilmiş çevre iddiaları Tip2 çevre etiketlemesi)– Tip II çevre etiketi ise tek bir parametreyi baz alan öz beyan olup bağımsız denetim sürecinden geçmemektedir. Tip II çevre etiket hazırlanması sırasında kuruluşlar beyan etmek istedikleri parametreyi kendileri seçerek bu doğrultuda verecekleri çevresel performans bilgilerinin kapsamını yine kendileri belirlerler. Bu tip çevre etiketleri genellikle bir reklam aracı olarak görülmektedir.

- Tip 3 (ISO14025-2006, Çevre etiketleri ve beyanları– Tip 3 çevre beyanları- İlkeler ve prosedürler)– Tip III çevre etiketleri ise gönüllülük esasına dayanır. Gönüllü programlara göre önceden prosedürü oluşturulmuş ve ürün ile ilgili üçüncü şahıslar tarafından belirlenmiş parametre kategorilerine yönelik nicel çevresel verileri içeren bir etikettir. Nicel verilerin hesaplanması bütünsel bir yaklaşım olan yaşam döngüsü değerlendirmesini baz alır. Tip III çevre etiketleri üçüncü şahıs verifikasyonuna tabi tutulmaktadır ve bu sayede doğrulanmış ve onaylanmış sayısal çevre performansı verisi sağlamaktadır. [15]

5. Beton Katkılarında Çevresel Ürün Beyanları

En çok kullanılan yapı malzemesi olan betonun önemli bir bileşeni olan kimyasal katkıların çevresel performanslarının belirlenmesi ve CE etiketlemesinin bir gerekliliği olarak yapılan teknik çalışmalar neticesinde Katkı Üreticileri Birliği (KÜB) üyesi firmaların kullanımı için Türkiye’de beton katkılarına yönelik çevresel ürün beyanları yayınlanmıştır.

6 Mayıs 2014 tarihinde KÜB ve Avrupa Beton Katkı Birliği Federasyonu (EFCA) arasında imzalanan mutabakat ile beton katkıları için çevresel ürün beyanlarının hazırlanması ve KÜB üyesi firmaların kullanımına sunulması için çalışmalara başlanmıştır. KÜB’nin Teknik ve Çevre komitelerinin de katılımıyla yapılan bu teknik çalışmalar neticesinde 14 Eylül 2015 tarihinde sadece KÜB gibi EFCA üyesi dernekler ve sonuçta derneklerin üyesi olan firmaların kullanımına yönelik olarak Çevresel Ürün Beyanları tamamlanmıştır

Tip III çevre etiketleri, belirli parametre kategorilerine (hammadde eldesi, enerji kullanımı ve verimliliği; malzeme ve kimyasal madde içeriği; hava, su ve toprağa verilen emisyonlar; atık oluşumu) yönelik nicel çevresel verileri sağlamaktadır. Ürünün, çevresel etkileri bakımından tercih edilebilirliğini değerlendirmez çünkü bu daha çok uygulama alanına bağlıdır. Ancak Tip III çevre etiketleri çevresel performansla ilgili kesin veriler içermekte olup diğer çevresel etiketlere kıyasla daha objektif bir yaklaşım sunmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak Çevresel Ürün Beyanları

ürünler hakkında güvenilir bilgi sunabilmektedir. Bu sebeple Çevresel Ürün Beyanları ticaret odaklı iletişim açısından üreticiler için en uygun çevre etiketleri olarak ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda binaların çevre performans değerlerinin belirlenmesinde yeni jenerasyon bina sertifikasyon/değerlendirme sistemleri de artık Çevresel Ürün Beyanları verilerini kullanmaktadır [15].

Bu doğrultuda TSEN 934-2 ve TSEN 934-5 kapsamındaki 7 farklı beton katkısı ürün grubu için Tip III çevresel ürün beyanları yayınlamıştır. Bu beton katkısı ürün grupları ve ilgili standartları aşağıda belirtildiği gibidir.

- Su azaltıcı/ akışkanlaştırıcı katkı maddeleri	(TSEN 934-2)
- Yüksek oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı katkı maddeleri	(TSEN 934-2)
- Sertleşme hızlandırıcı katkı maddeleri	(TSEN 934-2)
- Priz hızlandırıcı katkı maddeleri	(TSEN 934-2 ve TSEN 934-5)
- Priz geciktirici katkı maddeleri	(TSEN 934-2)
- Hava sürükleyici katkı maddeleri	(TSEN 934-2)
- Su geçirimsizlik katkı maddeleri	(TSEN 934-2)

SONUÇ

Bir beton yapının çevresel etkisinin değerlendirilmesinde, betonda kullanılan bileşenlerin çevre performansının dikkate alınması gerekmektedir. Bu çevresel performans bilgisi Çevresel Ürün Beyanları ile sağlanabilir. Beton içerisinde kullanım oranı göreceli olarak az fakat betonun performansına etkisi çok olan beton kimyasal katkılarına ait Çevresel Ürün Beyanlarının olması çevresel bakımdan beton yapıların sürdürülebilirliği için çok önemli bilgiler içermekle beraber, diğer beton bileşenlerinin ve nihayetinde betonun da Çevresel Ürün Beyanının yayınlanması tamamlayıcı olacaktır.

Çevresel performansı Çevresel Ürün Beyanları ile belgelenmiş beton bileşenleri kullanılarak tasarlanacak farklı beton karışımları ve/veya beton sınıfları betonarme yapıların çevresel sürdürülebilirliği ve yeşil bina yaklaşımı bakımından önemli bir fark ve etki yaratacaktır. Çevresel Ürün Beyanı çevresel etki bilgisinin güvenilir ve bağımsız bir üçüncü taraf tarafından incelendiğini ve doğrulandığını garanti eder.

Yaşam döngü değerlendirmesine dayanarak, Çevresel Ürün Beyanı kullanıcıya ürün hakkında daha bilinçli karar verme imkânı sunar ve ürünün genel çevresel etkilerini geçmişinden itibaren anlatmaktadır.

Çevresel Ürün Beyanları ile kullanıcılara bilinçli ürün seçme sürecini için nicel, objektif, mukayese edilebilir, çevresel performans verileri sağlanmaktadır.

Çevresel Ürün Beyanları ile betonarme yapıların sürdürülebilirlik çalışmalarındaki çevresel performansın artmasını sağlanmaktadır.

Beton katkılarının çevresel performansının açıklıkla beyan edilmesi, yeşil bina uygulamaları için beton yapılardan başlayarak önemli bir fark yaratmaktadır.

Çevresel Ürün Beyanları ile ilgili uygulamalar beton katkılarının üretim süreçlerinin iyileştirilmesine ve geliştirilmesine olanak sağlar.

KAYNAKLAR

- [1] Çankaya A. , Levent K. Y., Gökçe M., Yapılarda Kimyasal Katkıların Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından İncelenmesi, Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu, Ankara, 2010.
- [2] Karabacak, A., Güzer C. A., Kahraman İ., Kanan, N. Ö., Tombak, E., Kabakçı, O. K., Gül, K., Bütünleşik Bina Tasarımı Yaklaşımı-Türkiye Ortamı ve Koşullarına Uyarlama Raporu, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- [3] Türkiye Hazır Beton Birliği, Avrupa ve Dünya’da Hazır Beton Üretim verileri, www.thbb.org
- [4] Gültekin, A.B., “Yaşam döngüsü değerlendirme” kapsamında yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık, Doktora tezi, Ankara, 2006.
- [5] T.C. Çevre ve orman bakanlığı resmi internet sitesi, http://www.cevreorman.gov.tr/co_00.htm, 2008.
- [6] Taygün, G.T. ve Balanlı, A., Yaşam döngüsü süreçlerinde yapı ürünü-çevre etkileşimi, YTÜ Mimarlık fak. dergisi, cilt:1, sayı:1, 2005.
- [7] Gültekin, A.B., Sürdürülebilir mimari tasarım ilkeleri kapsamında çözüm önerileri, 19. uluslararası yapı ve yaşam kongresi, Bursa, 2007.
- [8] Çelebi, G. ve Aydın, A.B., Sürdürülebilir mimarlık yaklaşımında yapı malzemelerinin irdelenmesi, IV. Ulusal ekoloji ve çevre kongresi, 457-464, Bodrum, 2001.
- [9] Sarja, A., Integrated life cycle design on concrete structures, Concrete technology for a sustainable development in the 21st century, 27-40, Norway, 1998.
- [10] Malhotra, V.M., “Making Concrete Greener with Fly Ash” Concrete International, 1999; 21, 5: 61-66 .
- [11] Güneyisi, E., Ozturan, T. ve Gesoğlu, M., Farklı çimento tipi kullanımının betonun durabilite özellikleri üzerine etkileri, Türkiye inşaat müh. XVII. Teknik kongre ve sergisi, TMMOB inşaat müh. odası, İstanbul, 2004.
- [12] Dayanıklılık, http://www.ginsaat.net/modules/newbb/viewtopic.php?topic_id=423, 2008.
- [13] Akman, S., Beton dayanıklılık özelliği ve önemi, I. Ulusal beton kongresi, İstanbul, 1989.
- [14] Gjorv, O.E., Controlled service life of concrete structures and environmental consciousness. Concrete technology for a sustainable development in the 21st century, Norway, 1998.
- [15] Dr. Pınar Erol, Dr. Johannes Kreissig, Eko Yapı Dergisi, 4. Sayı Dosya Konusu: Çevre Etiket, Yapı Malzemelerinde Çevre Etiket, 2012

EFFICIENCY OF SRA IN REDUCING AUTOGENOUS SHRINKAGE OF UHPC WITH MINERAL ADMIXTURES

Çağlar YALÇINKAYA

PhD

Dokuz Eylül University

İzmir, TURKEY

Halit YAZICI

PhD, Professor

Dokuz Eylül University

İzmir, TURKEY

ABSTRACT

Extreme autogenous shrinkage of ultra-high performance concrete (UHPC) may cause unexpected problems based on shrinkage cracking, such as decrease in durability, low mechanical performance. In this study, efficiency of shrinkage-reducing admixture (SRA) in reducing autogenous shrinkage of eco-friendly UHPCs containing high volume mineral admixtures was investigated. Two low cement UHPC mixtures, which have similar compressive strength with control mixture, were obtained with high-volume ground granulated blast furnace slag (GGBFS) or fly ash (FA) replacements. Autogenous shrinkage was measured by using a laser system at early-age, whereas a mechanical comparator was used for long-term measurements. The results showed that the effectiveness of SRA was higher in the case of mineral admixture replacement. SRA usage, however, caused a decrease in compressive strength and delayed setting. Reduction in compressive strength as a side effect of SRA usage was more pronounced in the case of mineral admixture usage.

Keywords: UHPC, shrinkage-reducing admixture, autogenous shrinkage, early-age.

INTRODUCTION

Because of its extremely low water-to-binder ratio and use of high fineness admixtures, ultra-high performance concrete (UHPC) exhibits very high autogenous shrinkage. Inclusion of shrinkage reducing admixture (SRA) is one of the most commonly used technique to minimize cracking potential of a concrete, because it reduces the surface tension of the capillary pore solution resulting in a reduction of the capillary tension. Soliman and Nehdi [1] investigated the effects of drying conditions on the autogenous shrinkage of UHPC at early-ages. The researchers also investigated the effects of using a SRA and a super-absorbent polymer (SAP) as shrinkage mitigation methods. They found that both SRA and SAP were very effective in reducing autogenous shrinkage under sealed conditions. In addition, notwithstanding shrinkage reducing and expansive admixture usage, the slabs with a low thickness can exhibit shrinkage cracking at early age [2]. Portland cement can be partially replaced by supplementary cementitious materials, or by inert materials to develop more economical and eco-friendly UHPCs. Moreover, in general, the partial replacement of Portland cement by supplementary cementitious materials found to be effective in reducing the autogenous shrinkage of UHPC [3]. However, effectiveness of SRA in reducing shrinkage of UHPC containing high-volume mineral admixtures is not clarified.

AIM OF THE STUDY

In this study, efficiency of SRA in reducing autogenous shrinkage of eco-friendly UHPCs containing high volume mineral admixtures (ground granulated blast furnace slag or fly ash) was investigated at both early-age and long-term.

EXPERIMENTAL

Materials and Mix Proportions

Chemical and some physical properties of Portland cement (CEM I 42.5 R), silica fume (SF), fly ash (FA) and ground granulated blast furnace slag (GGBFS) used in this study are presented in Table 1. According to ASTM C618 [4], FA can be classified as Class C. GGBFS is Grade 120 type according to ASTM C989 [5]. Both GGBFS and FA are local by-products in Turkey. As aggregate skeleton, quartz aggregate in 0 – 0.4 mm, 0.5 – 1 mm, 1 – 3 mm and 5 – 8 mm size fractions was used. The specific gravity and water absorption properties of quartz aggregate are 2.65 and 0.12%, respectively. A new generation polycarboxylate based superplasticizer was used in this study. A straight type, brass coated steel micro-fiber (F) with a 6 mm length, 0.16 mm diameter and an aspect ratio of 37.5 was used as fiber reinforcement at a constant ratio (2% by volume of the mix). The specific gravity and tensile strength of fibers are 7.17 and 2000 MPa, respectively.

Table 1. Chemical and physical properties of cement and mineral admixtures

Chemical Composition (%)	Cement	SF	GGBFS	FA
CaO	61.85	0.49	36.61	20.47
SiO ₂	19.1	92.26	39.82	47.15
Al ₂ O ₃	4.40	0.89	9.36	20.42
Fe ₂ O ₃	3.96	1.97	0.90	4.15
MgO	2.05	0.96	6.38	1.51
Na ₂ O	0.27	0.42	-	0.59
K ₂ O	0.70	1.31	-	1.36
SO ₃	3.72	0.33	0.16	2.08

Cl ⁻	0.0004	0.09	0.013	0.01
Loss on ignition	1.82	-	2.0	0.97
Free CaO	0.50	-	-	1.2
Physical properties				
28-day strength activity index (%)	-	95	120	83
Fineness (m ² /kg)*	369	20000	599	292
Specific gravity	3.12	2.2	2.9	2.3

*nitrogen absorption method for SF, Blaine method for the others.

Mix proportions of UHPC mixtures are given in Table 2. As can be seen from Table 2, abbreviations were used for mixtures according to GGBFS or FA content of UHPC. Cement (without replacement), GGBFS and fly ash were denoted by C, BFS, and FA, respectively. For instance, UHPC-BFS means cement in the mixture was partially replaced with GGBFS. A compressive strength of 150±10 MPa was aimed for neat UHPCs without SRA in the scope of the study. Preliminary tests were performed to determine the replacement ratios for the same strength level. As a result, the target strength was obtained by using 30% FA or 50% GGBFS by weight of the cement in the control paste. In UHPC design, the paste volume was kept constant at 55% in order to obtain the same aggregate volume for all mixtures. The mixtures were prepared in a special designed, vertical axis and high speed mixer. Superplasticizer was used in different dosages for each self-leveling mixture to refrain from segregation and reach the target spread value (250±10 mm for UHPC). Note that, the mini flow cone (60 mm high with diameters of 100 mm at the base and 70 mm at the top) was used for slump-flow test in conformity with EFNARC [6].

Table 2. Mix Proportions

Materials (kg/m ³)	Mixtures		
	UHPC-C	UHPC-BFS	UHPC-FA
Water	182	183	171
Cement	729	365	480
Silica fume	182	183	171
GGBFS	-	365	-
Fly ash	-	-	206
5 – 8 mm quartz	230	230	230
1 – 3 mm quartz	230	230	230
0.5 – 1 mm quartz	380	380	380
0 – 0.4 mm quartz	310	310	310
Steel micro-fiber	143.4	143.4	143.4
Superplasticizer	27	17	33
Design Parameters			
Fiber volume (%)	2	2	2
Paste volume (%)	55	55	55
Water/Cement	0.25	0.50	0.36
Water/Cement *	0.27	0.52	0.39
Water/Binder	0.20	0.20	0.20
Water/Binder *	0.22	0.21	0.22

*includes additional water from superplasticizer.

SRA used in this study is mainly based on ethylene glycol derivatives. SRA dosage of 2% by mass of cementitious materials (C+SF+GGBFS/FA) was added as partial replacement for mixing water. In the case of SRA inclusion, mixtures were denoted as SRA-UHPC-C, SRA-UHPC-BFS, and SRA-UHPC-FA.

Test Methods

In this research, an innovative test setup has been used for early-age measurements (Figure 1). Autogenous shrinkage was measured under conditions of $20\pm1^{\circ}\text{C}$ and $97\pm2\%$ relative humidity (RH) during the first 24 h. In addition, the top surface of the fresh mix was covered with a tight nylon cover in order to avoid moisture loss to the environment. The measurements were started at the initial setting times. The initial setting time of the mixtures was measured in accordance with TS EN 480-2 [7] by an automatic Vicat apparatus with a temperature-controlled water bath. Note that, a thin layer of paraffin oil was applied to the surface of the fresh mix, for the purpose of avoiding elephant skin formation. Otherwise, it could not be measured correctly. Long-term autogenous shrinkage was measured by using a mechanical comparator under conditions of $20\pm1^{\circ}\text{C}$ and $97\pm2\%$ relative humidity (RH) in accordance ASTM C 157 [8]. The moulds with internal dimensions of $25\times25\times285$ mm were immediately covered with a tight nylon cover after casting. The hardened specimens were demolded and covered by two layers of an aluminum foil tape after 24 h. In order to obtain total autogenous shrinkage during 90 days, early-age and long-term measurements were combined as illustrated in Figure 2.

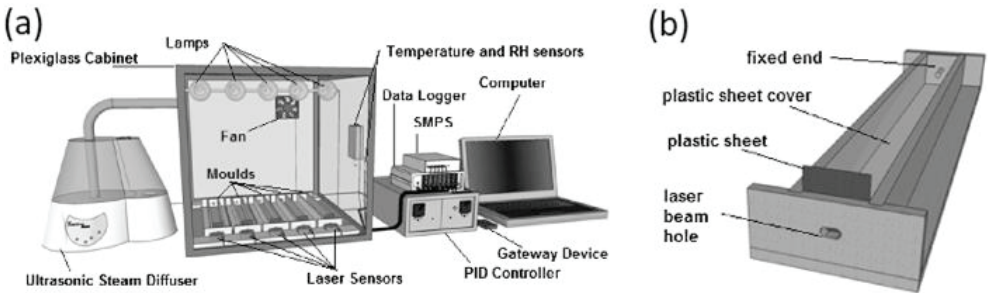


Figure 1. Early-age shrinkage test setup (a) and the mould system (b)

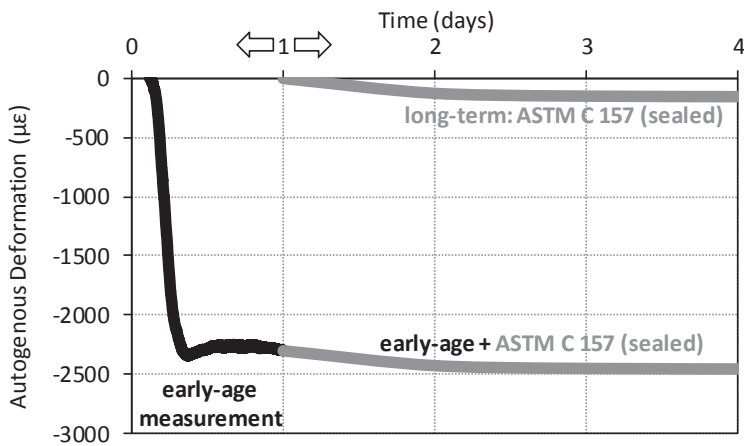


Figure 2. Combining of early-age and long-term autogenous shrinkage

To evaluate the effect of SRA on the mechanical property, the compressive strength test was performed on standard (28-day) cured specimens (40×40×40 mm) according to the ASTM C349.

RESULTS AND DISCUSSION

Early-age Autogenous Shrinkage

Autogenous deformations of UHPC mixtures are presented in Figure 3 as average values from five sealed specimens at $20\pm1^{\circ}\text{C}$. As a result of SRA inclusion, both the initial and final setting times delayed up to 2 hours. The effectiveness of SRA could be observed from very early-ages of UHPC. UHPC-C, UHPC-BFS, and UHPC-FA mixtures demonstrated an autogenous shrinkage of about 450, 1045, and 450 $\mu\epsilon$, respectively. By means of SRA inclusion, these values were decreased 20%, 42%, and 35% for UHPC-C, UHPC-BFS, and UHPC-FA mixtures, respectively. Overall characteristics of the shrinkage curves such as inflection points were not changed significantly by SRA. It can be clearly seen that the efficiency of SRA was more pronounced in the case of mineral admixture replacement, especially when GGBFS was used. The addition of GGBFS generally increases the pore refinement, and smaller pore sizes give reduced radii of water menisci, increasing capillary tension, which enlarges

shrinkage [9]. The main action mechanism of SRA is to reduce capillary tension by reducing the surface tension of the solution in the cavities of UHPC under drying or sealed conditions. Moreover, the addition of SRA to the mixing water depresses the dissolution of alkalis in the pore fluid, and causes a reduction in the rate of cement hydration [10]. Further decrease in alkalinity of SRA bearing pore fluid due to high-volume replacement of cement by mineral admixtures may result in an additional reduction in shrinkage. However, pore solution of the mixtures was not chemically analyzed in this study. It can be said that the effectiveness of SRA in reducing the shrinkage at early-age was more pronounced in the case of GGBFS replacement leading to higher autogenous shrinkage than that of the other mixtures. However, in the last analysis, SRA-UHPC-BFS mixture exhibited much higher autogenous shrinkage than UHPC-C and UHPC-FA at early-age.

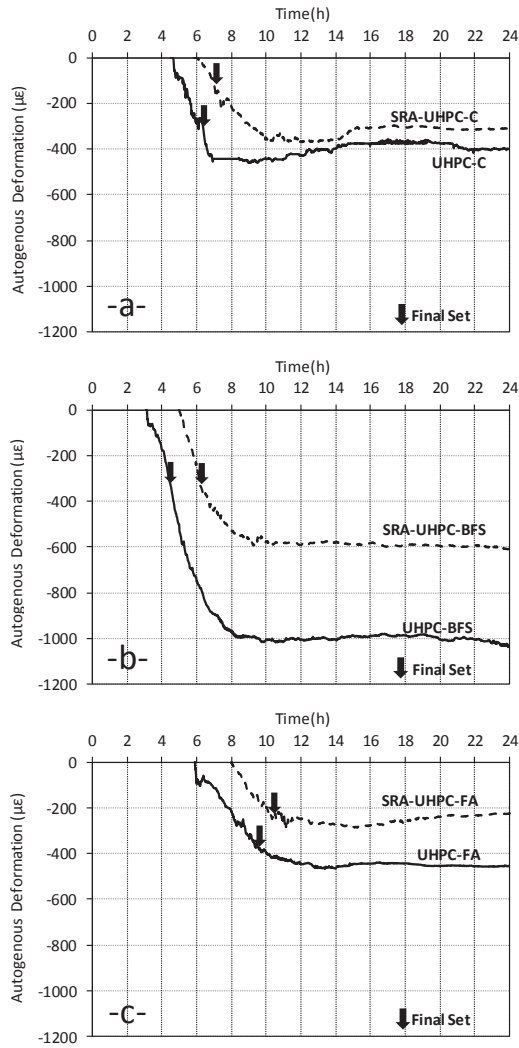


Figure 3. Early-age autogenous shrinkage of control (a), GGBFS bearing (b) and FA bearing (c) mixtures

Total autogenous shrinkage of the mixtures that was measured from initial setting time to the end of 28 days is given in Figure 4 as sum of laser and comparator measurements. UHPC-C, UHPC-BFS, and UHPC-FA mixtures demonstrated a total autogenous shrinkage of about 830, 1325, and 703 $\mu\epsilon$, respectively. By means of SRA inclusion, these values were decreased 23%, 32%, and 39% for UHPC-C, UHPC-BFS, and UHPC-FA mixtures, respectively. The efficiency of SRA slightly increased in control and FA bearing mixtures whereas its efficiency decreased in the case of GGBFS bearing mixture at long term in comparison with early-age. It was reported that one of the possible disadvantages of SRA is a

reduction of its effectiveness over time due to its absorption by hydration products [11]. In the case of GGBFS replacement, the reduction in the effectiveness of SRA may have arisen from an intensive self-desiccation that is leading to an internal RH decrease at long-term. Thus, hydration products in UHPC-BFS mixture may absorb some of the SRA at long-term. On the other hand, early-age expansion of SRA-UHPC-C and SRA-UHPC-FA mixtures had a significant effect in reducing the net strains, as stated in a previous research [1].

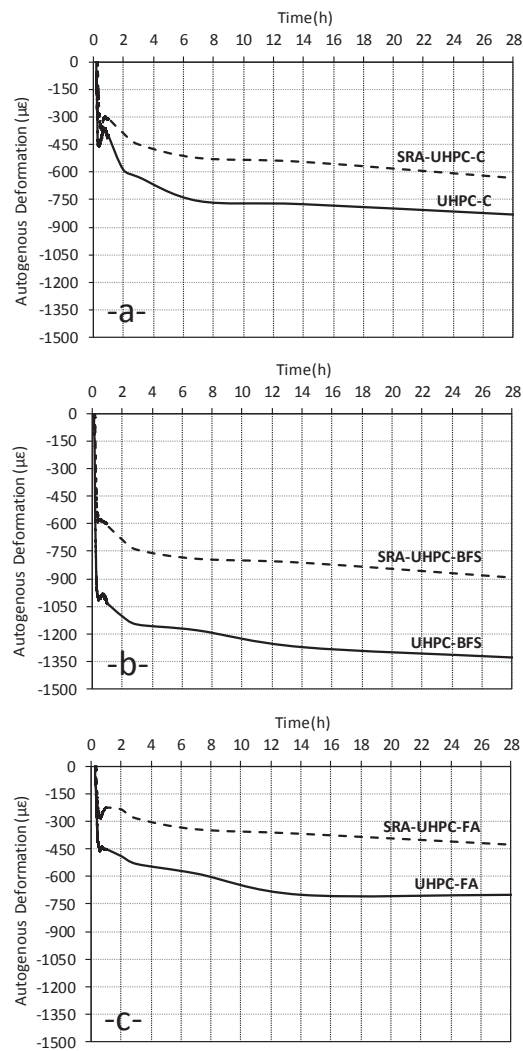


Figure 4. Total autogenous shrinkage of control (a), GGBFS bearing (b) and FA bearing (c) mixtures

Mechanical Properties

Figure 5 shows the compressive strengths of the UHPCs with or without SRA. UHPC-C, UHPC-BFS, and UHPC-FA mixtures demonstrated a compressive strength of 146, 157, and 151 MPa, respectively. By means of SRA inclusion, these values were decreased 10%, 22%, and 18% for UHPC-C, UHPC-BFS, and UHPC-FA mixtures, respectively. Reduction in compressive strength was more pronounced in the case of mineral admixture usage. The addition of SRA results in a pore fluid with lower alkalinity, which causes a reduction in the rate of cement hydration and a slower strength development [10]. As a result of pozzolanic reactions in SRA bearing mixtures, strength development may be further delayed. The second possible reason behind the reduction in compressive strength may be a reduction in the fiber pullout resistance owing to the lower matrix shrinkage caused less confining pressure [12]. This mechanism would be more effective in reducing tensile properties of UHPC that were not studied in the scope of the study.

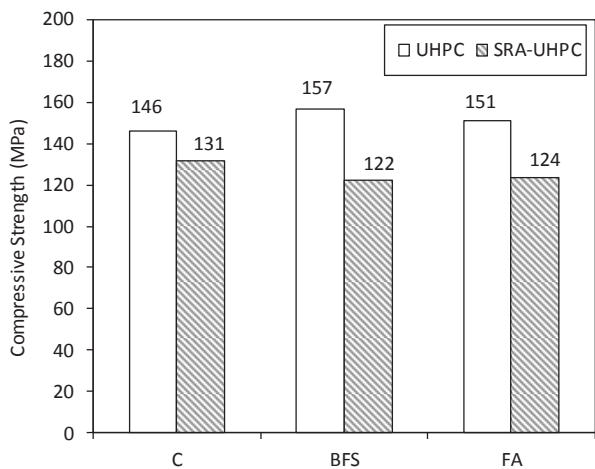


Figure 5. Compressive strengths of the mixtures

CONCLUSIONS

- 1) It was possible to produce eco-friendly UHPCs and to achieve the compressive strength level of 150 MPa with cement content as low as 365 kg/m³ and 480 kg/m³ at replacement levels of 50% GGBFS and 30% FA, respectively. Moreover, UHPC that has a less autogenous shrinkage can be produced by FA replacement.
- 2) The efficiency of SRA in reducing autogenous shrinkage at early-age was more pronounced in the case of mineral admixture replacement, especially when GGBFS was used. However, GGBFS replacement caused more shrinkage strain than control mixture even if SRA was used.
- 3) The efficiency of SRA slightly increased in control and FA bearing mixtures whereas its efficiency decreased in the case of GGBFS bearing mixture at long term in comparison with early-age.
- 4) Reduction in compressive strength due to SRA addition was more pronounced in the case of mineral admixture replacement.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK, Project no: 110M691). The authors gratefully acknowledge to TÜBİTAK. The first author would like to give special thanks to Turkish Cement Manufacturers' Association (TCMA).

REFERENCES

- [1] Soliman, A.M. and Nehdi, M.L. "Effect of drying conditions on autogenous shrinkage in ultra-high performance concrete at early-age, *Materials and Structures*, 44, 2011, pp. 879–899.
- [2] Yoo, D.Y., Min, K.H., Lee, J.H., and Yoon, Y.S. "Shrinkage and cracking of restrained ultra-high-performance fiber-reinforced concrete slabs at early age", *Construction and Building Materials*, 73, 2014, pp. 357–365.
- [3] Ghafari, E., Costa, H., and Júlio, E. "Critical review on eco-efficient ultra high performance concrete enhanced with nano-materials", *Construction and Building Materials*, 101, 2015, pp. 201–208.
- [4] ASTM C618-12a. "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete", 2012.
- [5] ASTM C989/C989M-14. "Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars", 2014.
- [6] The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC), "The European guidelines for self-compacting concrete specification, Production and Use", 2005.
- [7] TS EN 480-2. "Admixtures for concrete, mortar and grout – test methods – Part 2: determination of setting time", 2008.
- [8] ASTM C157 / C157M-08, "Standard test method for length change of hardened hydraulic-cement mortar and concrete", 2014.
- [9] Lee, K.M., Lee, H.K., Lee, S.H., and Kim, G.Y. "Autogenous shrinkage of concrete containing granulated blast-furnace slag", *Cement and Concrete Research*, 36, 2006, pp. 1279–1285.
- [10] Rajabipour, F., Sant, G. and Weiss, J. "Interactions between shrinkage reducing admixtures (SRA) and cement paste's pore solution", *Cement and Concrete Research*, 2008, 38 (5), pp. 606–615.
- [11] Schemmel, J.J., Ray, J.C. and Kuss, M.L. "Impact of shrinkage reducing admixture on properties and performance of bridge deck concrete, highperformance concrete research to practice," *ACI, Special Publication*, 1999, 189, pp. 367–386.
- [12] Park, S.H., Ryu, G.S., Koh, K.T. and Kim, D.J. "Effect of shrinkage reducing agent on pullout resistance of high-strength steel fibers embedded in ultra-high-performance concrete." *Cement and Concrete Composites*, 2014, 49, pp. 59–69.

INFLUENCE OF GGBFS ON AUTOGENOUS SHRINKAGE AND RHEOLOGY OF UHPC PASTE WITH PCE BASED SUPERPLASTICIZER

Çağlar YALÇINKAYA

PhD

Dokuz Eylül University

İzmir, TURKEY

H. Murat TANARSLAN

PhD, Associate Professor

Dokuz Eylül University

İzmir, TURKEY

Halit YAZICI

PhD, Professor

Dokuz Eylül University

İzmir, TURKEY

ABSTRACT

In this study, the effects of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) replacement ratio on the rheological properties and autogenous shrinkage of paste phase of UHPC with polycarboxylic ether (PCE) based superplasticizer were investigated. Results showed that GGBFS replacement caused a decrease in PCE based superplasticizer demand of UHPC pastes to reach a target slump-flow value. Degree of dilatancy of pastes can be decreased by increasing the GGBFS replacement. 30% replacement of cement by GGBFS reduced early-age (< 24 h) and total (90 days) autogenous shrinkage whereas upper dosages of GGBFS increased the shrinkage when superplasticizer demand was taken into account. At the replacement ratios higher than 30%, it seems that pore refinement effect of GGBFS had a higher influence on the autogenous shrinkage than dispersing effect of PCE-based superplasticizer.

Keywords: UHPC, rheology, autogenous shrinkage, superplasticizer, early-age.

INTRODUCTION

The development of new superplasticizers during the last decades played a key role in the development of new cementitious composites. Ultra High Performance Concrete (UHPC) is a cement-based composite material with ultra-high mechanical and durability performance. High ductility and high strength can be obtained by adding metallic fibers. A powerful cementitious matrix with a very low water to binder ratio is essential to reach high-performance. As of late 2010, field-cast UHPC connections between prefabricated bridge components have been implemented in several bridges in Ontario, Canada, and in the United States [1]. Rehabilitation of concrete structures is also possible with using UHPC. However, due to restrained shrinkage of the UHPC bonded to the existing reinforced concrete body, an internal stress state is built up in the composite element including, in particular, tensile stresses in the UHPC layer [2]. These stresses may cause crack formation. Early-age shrinkage properties of UHPC, therefore, should be clarified.

AIM OF THE STUDY

The aim of this study is to assess the rheological properties and autogenous shrinkage of pastes that have a great influence on the properties of the UHPC. The effects of ground granulated blast furnace slag (GGBFS) replacement ratio on the rheological properties and autogenous shrinkage of paste phase of UHPC with polycarboxylic ether (PCE) based superplasticizer were investigated. Four paste mixtures with a very low water-to-binder (W/B) ratio were produced at various GGBFS replacement levels.

EXPERIMENTAL

Materials and Mix Proportions

Some properties of Portland cement (CEM I 42.5 R) and GGBFS used in this study are presented in Table 1. A polycarboxylate-based superplasticizer was used. Paste mixtures with four different GGBFS replacement ratios were produced. Mix proportions can be seen in Table 2. Note that, superplasticizer was used in different dosages for each paste to reach target spread value (40 ± 1 cm). The mixtures were prepared in a special designed high speed mixer.

Table 1. Chemical and physical properties of cement and GGBFS

Chemical Composition (%)	Cement	GGBFS
CaO	61.85	36.61
SiO ₂	19.1	39.82
Al ₂ O ₃	4.40	9.36
Fe ₂ O ₃	3.96	0.90
MgO	2.05	6.38
Na ₂ O	0.27	-
K ₂ O	0.70	-
SO ₃	3.72	0.16
Cl ⁻	0.0004	0.013
Loss on Ignition	1.82	2.0
Free CaO	0.50	-
Physical Properties		

28-Day Strength Activity Index (%)	-	120
Blaine Fineness (m ² /kg)	369	599
Specific Gravity	3.12	2.9

Table 2. Mix proportions

Components (kg/m ³)	GGBFS Replacement Ratio (%)			
	0	30	40	50
Water	340	340	340	340
Cement	1359	950	815	680
GGBFS	-	407	543	680
Silica Fume	340	339	340	340
Superplasticizer	50	42	37	32
Design Parameters				
Water to Binder ratio	0.20	0.20	0.20	0.20
Water to Binder ratio*	0.21	0.21	0.21	0.21
Superplasticizer (%)**	3.27	2.71	2.41	2.10
Slump-Flow (cm)	40±1 cm			

*includes additional water from superplasticizer

**percentage by weight of cement.

Test Methods

Slump-flow diameter and V-funnel time of the pastes were measured by mini-apparatuses in conformity with the European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems [3] standards. The rheological properties of the pastes were measured on the same batch as mini V-funnel and slump-flow tests. Anton Paar Physica MCR 51 rheometer was used. It was equipped with a ball measuring system. The diameter of the ball used in this application was 8 mm. Measurements were conducted at a constant temperature ($20\pm1^\circ\text{C}$) by way of a water circulation system assembled to the rheometer container. It is possible to obtain any shear rate protocol with using software of rheometer. A flow curve with shear rates up to 15 s^{-1} was recorded. In this study, a five-interval shear rate protocol was used. Rheometer and the protocol can be seen in Figure 1. First interval was applied to obtain the same history for all pastes. Drag resistance of the ball buried in the sample have been recorded as a function of the rotational speed. These data have been converted to shear stress versus shear rate by using empirical conversion constants [4]. The shear stress (Pa) - shear rate (s^{-1}) relationship of the cement pastes have been determined by using the raw data obtained from the 4-5th intervals which reflected negligible hysteresis area. Flow curves have been calculated and plotted by using the Herschel Bulkley (HB) model. Viscosities at the highest shear rate (15 s^{-1}) and dynamic yield stresses have been determined by using the flow curves.

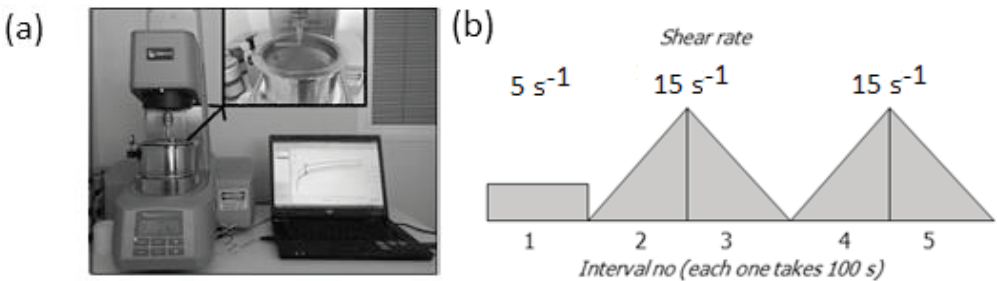


Figure 1. The rheometer (a) and shear rate protocol (b)

In this research, a relatively new early-age shrinkage test setup has been used (Figure 2). A climate-controlled cabinet was used with temperature and humidity transmitters, temperature source (lamps), humidity source (ultrasonic steam diffuser). There is a humidity reducer fan to provide low relative humidity. All climatic operations and devices controlled by proportional–integral–derivative (PID) controller. Five laser distance sensors for each five moulds measured the shrinkage values. The steel moulds with 25×25×290 mm dimensions were covered by plastic sheet and oiled to minimize friction. Temperature, humidity, shrinkage and time data were recorded to the computer simultaneously. The rigid mould system was illustrated in Figure 2. The steel mould had a fixed-end and a moveable stop-end with steel pins to ensure good contact with the paste. Therefore, one laser sensor, which is quite expensive, is enough to measure early-age deformation for each mould. A plastic sheet closed the free end of a mould, which contains a laser beam hole. The plastic sheet was removed at the initial setting time (at the time of self-supporting skeleton starts to form). Thereafter the shrinkage measurement was started.

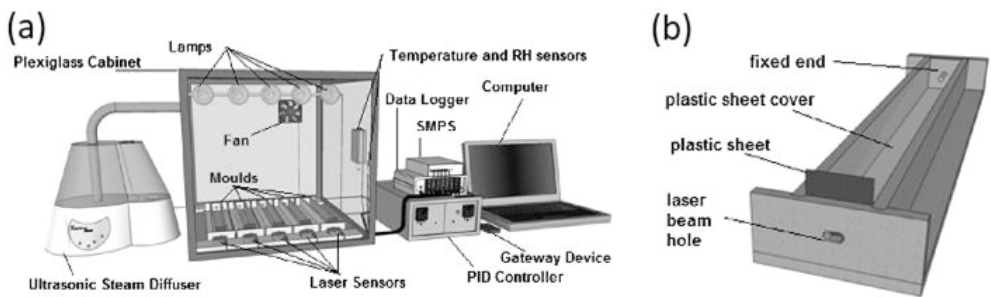


Figure 2. Early-age shrinkage test setup (a) and the mould system (b)

Autogenous shrinkage was measured under conditions of $20\pm1^{\circ}\text{C}$ and $97\pm2\%$ relative humidity (RH) during first 24 h. In addition, the top surface of the fresh mix was covered with a tight nylon cover in order to avoid moisture loss to the environment. The initial setting time of the mixtures was measured in accordance with TS EN 480-2 by an automatic Vicat apparatus with a temperature-controlled water bath. Note that, a thin layer of paraffin oil was applied to the surface of the fresh

mix, for the purpose of avoiding elephant skin formation. Otherwise, it could not be measured correctly. Long-term autogenous shrinkage was measured by using a mechanical comparator under conditions of $20\pm1^{\circ}\text{C}$ and $97\pm2\%$ relative humidity (RH) in accordance with American Society for Testing and Materials (ASTM) C157. The moulds with internal dimensions of $25\times25\times285$ mm were immediately covered with a tight nylon cover after casting of paste. The hardened specimens were demolded and covered by two layers of an aluminum foil tape after 24 h. Two specimens were tested for each mixture.

The compressive strength test was performed on standard (28-day) or steam cured specimens ($40\times40\times40$ mm) according to the ASTM C349. In case of steam curing, six hours after casting, the moulds were put in the steam curing cabin and heating period was started. The temperature of the cabin reached 100°C within six hours and the specimens were kept in this temperature for twelve hours. A gradual cooling period was applied at the end of the curing period. Twelve specimens were tested for each paste mixture.

RESULTS AND DISCUSSION

Rheological Properties

Superplasticizer demand and mini V-funnel flow time of the cementitious pastes having different GGBFS replacement ratios and the same slump-flow value (40 cm) are presented in Figure 3. An increase in GGBFS led to a decrease in superplasticizer demand and a decrease in V-funnel flow time up to 40% replacement level. At a replacement level of 50%, flow time increased importantly because of marked reduction in the PCE based superplasticizer demand to reach target spread value. Control paste without GGBFS showed a flow time of 9.3 s, whereas the paste with 40% GGBFS exhibited only a flow time of 6.4 s. Flow and viscosity curves obtained by rheometer are given in Figure 4 and Figure 5, respectively. Dynamic yield stresses were very low, between 2.1 to 3.4 Pa for all replacement

ratios. The apparent viscosity of pastes was increased slightly by increasing shear rate so these pastes showed shear thickening (dilatant) behavior (Figure 5). However, dilatancy of the pastes is very insignificant. Superplasticizer demand and degree of dilatancy decreased because of increasing the replacement ratio. Instant apparent viscosities at the highest shear rate (15 s^{-1}) were 11.4, 6.1, 7.4, and 8.2 at 0%, 30%, 40% and 50% replacement ratios, respectively. The replacement of Portland cement by GGBFS up to 30% caused the maximum reduction in the instant viscosity at the highest shear rate. Beyond this replacement ratio, for 40% and 50% GGBFS usage, superplasticizer demand reduced markedly, so the instant viscosities started to ascend at these replacement ratios. Note that, the instant viscosity at the highest shear rate and mini V-funnel flow time have a meaningful linear relationship ($R^2=0.76$). Thus, mini V-funnel flow time can be also regarded as an indicator for viscosity of UHPC pastes.

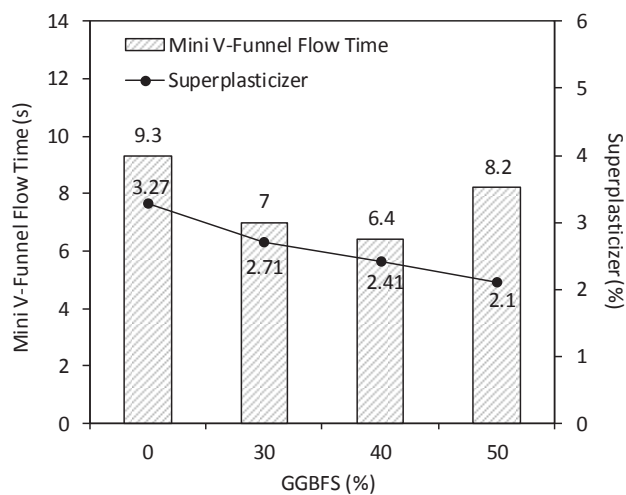


Figure 3. Flow time and superplasticizer demand of the pastes

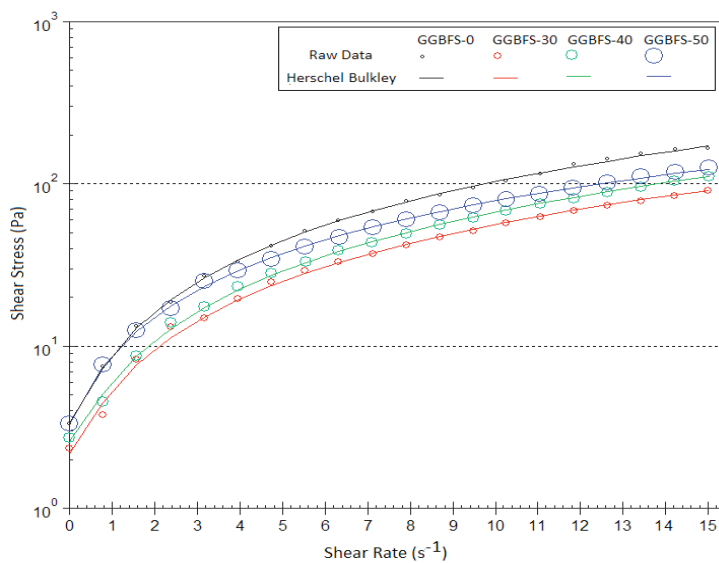


Figure 4. Shear rate – shear stress curves (flow curves)

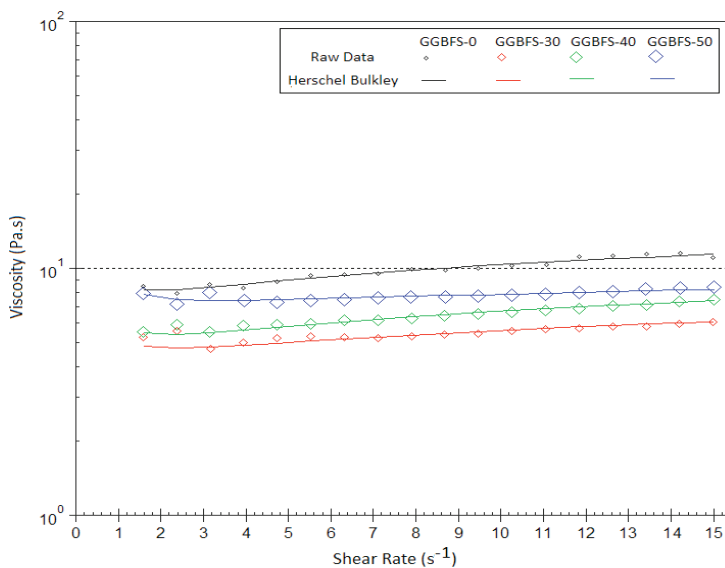


Figure 5. Shear rate – viscosity curves

Early-age and Long Term Autogenous Shrinkage

Early-age autogenous deformations of the cementitious pastes measured at 20 °C are plotted as average values of five specimens in Figure 6. Note that, the shrinkage measurement was started at the initial setting time. Initial setting times were 5.23, 4.18, 3.83, and 3.38 hours for GGBFS-0, GGBFS-30, GGBFS-40, and GGBFS-50 mixtures, respectively. The initial setting times were significantly decreased by GGBFS replacement. Faster setting can be attributed to the decrease in the superplasticizer demand and the higher Blaine fineness of GGBFS compared to that of the cement. Furthermore, the surfaces of the GGBFS particles will act as nucleation sites for the early reaction products, which will stimulate the cement hydration [5]. It can be clearly seen that most of the autogenous shrinkage occurred in the first few hours after initial set. Control mixture without GGBFS demonstrated an autogenous shrinkage of about 1800 $\mu\epsilon$. This value decreased 30% in the case of 30% GGBFS replacement. In the case of replacement of GGBFS beyond 30%, a 10% increment in autogenous shrinkage was recorded. Moreover, there is a marked but transient expansion in GGBFS-0. However, this expansion behavior was weakened by increasing the GGBFS replacement. This can be attributed to two main factors: less temperature rise in the specimen and reduction in ettringite formation due to less superplasticizer. Note that the maximum temperature rise in the core of the specimen was recorded less than 2 °C after initial set. Above all, the addition of high volume mineral additives such as GGBFS generally increases the pore refinement and smaller pores cause more shrinkage strain [6]. However, 30% replacement of cement by GGBFS reduced shrinkage strain at early-age whereas upper dosages of GGBFS increased the shrinkage when superplasticizer demand was taken into account.

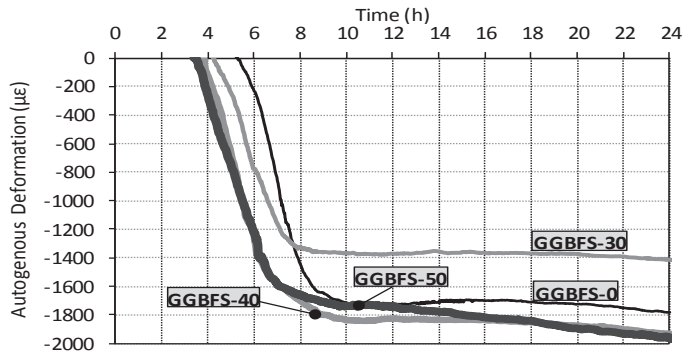


Figure 6. Early-age autogenous shrinkage

Long-term autogenous shrinkage of UHPC pastes is given in Figure 7. Long-term measurement was started by demolding of moulds at the end of 24 h in accordance with ASTM C157. The specimens were measured during 90 days. It can be seen that shrinkage of control mixture accelerated again after 49-day. At the end of the 90-day, compared to that of control mixture, autogenous shrinkage was decreased 200 $\mu\epsilon$ and 100 $\mu\epsilon$ at 30% and 40% replacement ratios. Above all, the level of measured shrinkage after demolding is far less than that of measured at early-age. Hence, time-zero value for shrinkage measurement has a great importance to be able to evaluate the cracking risk of this type of concrete materials correctly.

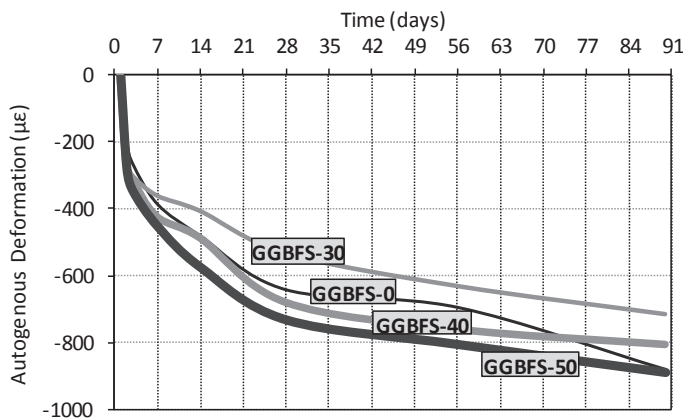


Figure 7. Long-term autogenous shrinkage

Total autogenous shrinkage (early-age + long term) of the pastes can be seen in Figure 8. In the case of 30% replacement, the shrinkage was reduced 600 $\mu\epsilon$ compared to that of control paste. Beyond 30% replacement, the shrinkage was slightly increased ($\approx 100 - 200 \mu\epsilon$). Long-term autogenous shrinkage can be attributed to self-desiccation as the internal pores lose water for continued cement hydration [7]. Reducing PCE superplasticizer dosage by means of GGBFS replacement may adversely affect the dispersion of cementitious materials so autogenous shrinkage can reduce. On the other hand, GGBFS usage generally increases the pore refinement and autogenous shrinkage. In this study, it seems that pore refinement effect of GGBFS had a higher influence on the shrinkage tendency than dispersing effect of the superplasticizer when cement was replaced by GGBFS more than 30%.

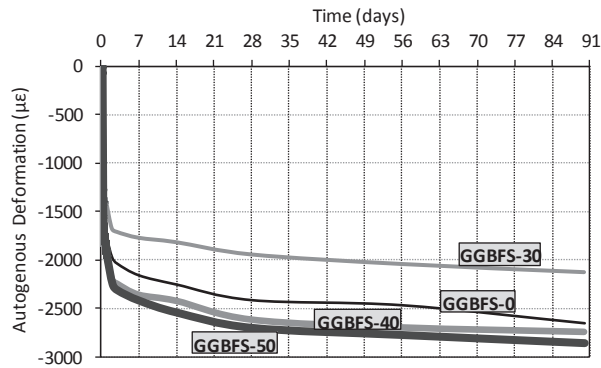


Figure 8. Total (early-age and long-term) autogenous shrinkage

Mechanical Properties

Compressive strengths of the pastes can be seen in Figure 9. Compressive strengths were in the range of 94 – 100 and 100 – 106 MPa for standard and steam curing, respectively. Compressive strength was not significantly affected by GGBFS replacement and it can be enhanced by steam curing in a short time. As a result, it was possible to produce UHPC paste with high-volume GGBFS.

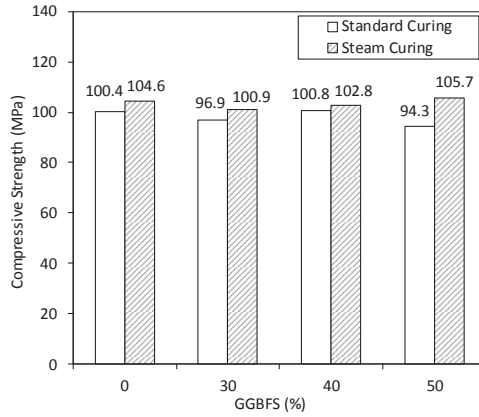


Figure 9. Compressive strengths under standard or steam curing

CONCLUSIONS

Increasing the replacement ratio of cement by GGBFS led to a decrease in PCE based superplasticizer demand. UHPC pastes showed dilatant behavior. In practice, dilatancy of paste phase may reduce pumpability of fresh UHPC. Degree of dilatancy can be decreased by increasing the GGBFS replacement. The replacement of cement by GGBFS up to 30 % caused the maximum reduction in the instant viscosity at the highest shear rate. On the other hand, 30% replacement of cement by GGBFS reduced early-age (< 24 h) and total (90 days) autogenous shrinkage whereas upper dosages of GGBFS increased the shrinkage when superplasticizer demand was taken into account. At the replacement ratios higher than 30%, pore refinement effect of GGBFS had a higher influence on the autogenous shrinkage than dispersing effect of PCE-based superplasticizer.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK, Project no: 110M691). The authors gratefully acknowledge to TÜBİTAK.

REFERENCES

- [1] Graybeal, B. "Field-Cast UHPC connections for modular bridge deck elements," Report No: FHWA-HRT-11-022, The Federal Highway Administration Publication, U.S., 2010.
- [2] Brühwiler, E. and Denarié, E. "Rehabilitation of concrete structures using Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete", Second Int. Symp. Ultra High Performance Concrete, Kassel, Germany, 2008, pp. 895–902.
- [3] The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC), "The European guidelines for self-compacting concrete specification, Production and Use", 2005.
- [4] Schatzmann, M., Fischer, P. and Bezzola, G.R. "Rheological behavior of fine and large particle suspensions", ASCE Journal of Hydraulic Engineering, 129 (10), 2003, pp. 796–803.
- [5] Sari, M., Prat, E., and Labastire, J.F. "High strength self-compacting concrete original solutions associating organic and inorganic admixtures", Cement and Concrete Research, 29, 1999, pp. 813–818.
- [6] Lee, K.M., Lee, H.K., Lee, S.H., and Kim, G.Y. "Autogenous shrinkage of concrete containing granulated blast-furnace slag", Cement and Concrete Research, 36, 2006, pp. 1279–1285.
- [7] Holt, E. "Contribution of mixture design to chemical and autogenous shrinkage of concrete at early ages", Cement and Concrete Research, 35 (3), 2005, pp. 464-472.

19 Ekim 2017 Perşembe

October 19th 2017 Thursday

1.Gün/First Day

3.Oturum/Third Session

Oturum Başkanı/Session Chair

Prof. Dr. Kambiz RAMYAR

AKIŞKANLAŞTIRICI ÖZELLİKLERİ VE ÇİMENTO SICAKLIĞININ HARÇ ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Gökhan KAPLAN

Öğr. Gör.

Kastamonu Üniversitesi

Kastamonu, TÜRKİYE

M. Uğur YILMAZOĞLU

Arş. Gör.

Kastamonu Üniversitesi

Kastamonu, TÜRKİYE

Selçuk MEMİŞ

Yrd. Doç. Dr.

Kastamonu Üniversitesi

Kastamonu, TÜRKİYE

İ.Gamze MÜTEVELLİ ÖZKAN

Arş. Gör.

Kastamonu Üniversitesi

Kastamonu, TÜRKİYE

Hasbi YAPRAK

Prof. Dr.

Kastamonu Üniversitesi

Kastamonu, TÜRKİYE

ÖZET

Hazır beton üretiminde kullanılan çimento ve akışkanlaştırıcı katkıları betonun işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık özelliklerini etkilemektedir. Akışkanlaştırıcı katkıları kendiliğinden yerleşen beton gibi modern çimento esaslı yapı malzemelerinin üretiminde oldukça sık kullanılmaktadır. Ancak bu katkıların kıvam kaybı ve priz geciktirme özelliği gibi olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Çimento ve katkı arasındaki etkileşim betonun taze ve sertleşmiş özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Çimentonun; çözünen alkali miktarı, alçıtaşının kimyasal yapısı ve miktarı, C₃A içeriği ve yapısı gibi özellikleri katkı-çimento uyumu üzerinde etkili olmaktadır. Ancak hazır beton santrallerinde yaz aylarında karşılaşılan çimento sıcaklığının akışkanlaştırıcı katkı performansı üzerindeki etkileri konusunda yeterli araştırma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, üç farklı çimento sıcaklığının (20-60-100 °C) hazır beton üretiminde büyük pazar payına sahip naftalin sülfonat ve polikarboksilat esaslı katkıları ile uyumu araştırılmıştır. Akışkanlaştırıcı katkıları %0.3, 0.6 ve 0.9 oranlarında kullanılarak 0, 30 ve 60. dakikalarda taze harç özellikleri (sıcaklık ve zamana bağlı kıvam kaybı) belirlenmiştir. Çimento sıcaklığı etkisinin daha belirgin olması için bağlayıcı hacmi arttırılmış ve standart karışımdan farklı olarak agrega/çimento oranı 2 olarak seçilmiştir. s/ç oranı 0.45 olan karışımların hazırlanmasında 0-4,75 mm tane boyutuna sahip kırmataş agregası kullanılmıştır. Sertleşmiş harç örnekleri üzerinde ise 1, 3, 7 ve 28. günlerde basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda çimento fabrikasından temin edilerek hazır beton santralinde kullanılan çimento sıcaklığının katkı performansı açısından önemi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimento sıcaklığı, Akışkanlaştırıcı, Kıvam kaybı, İşlenebilirlik

EFFECTS OF PLASTICIZER PROPERTIES AND CEMENT TEMPERATURE ON THE MORTAR CHARACTERISTICS

ABSTRACT

Cement and plasticizing admixtures used in ready-mixed concrete production affect the workability of concrete and its properties such as strength and durability. Plasticizing admixtures are widely used in the production of modern cement-based construction materials such as self-compacting concrete. However, such admixtures may have unfavorable effects such as loss of slump and delay in setting. The interaction between cement and admixture directly affects the properties of fresh and hardened concrete. Cement properties such as the amount of soluble alkalis used, chemical structure of gypsum and the amount used, C₃A content and its structure play an important role in the admixture - cement compatibility. However, the literature on the influence of cement temperature which becomes important in ready-mixed concrete plants in the summertime on the performance of plasticizing admixture is limited. This study investigates the compatibility of naphthalene sulphonate and polycarboxylate-based admixtures which are widely used in the market at three different cement temperatures (20-60-100 °C). Plasticizing admixtures were used in percentages of 0.3%, 0.6%, and 0.9% and the fresh mortar properties (loss of slump due to temperature and time) were defined at 0th, 30th, and 60th minutes of experiment. Binder volume was increased and an aggregate/cement ratio of 2 was selected as distinct from standard mix in order to enhance the impact of cement temperature. Limestone aggregates with grain size ranging from 0 to 4.75mm were used to prepare mixtures at an aggregate/cement ratio of 0.45. Compressive strength tests were performed on the hardened mortars at the 1st, 3rd, 7th and 28th days. The results of the experiment was advised on the importance of cement temperature with respect to the performance of admixture for the cement obtained from the ready-mixed concrete plant.

Keywords: Cement Temperature, Plasticizer, Loss of Slump, Workability

1. GİRİŞ

Çağımızda sanayinin gelişmesiyle birlikte şehirleşme ve yapılaşma artmış, inşaat sektörü büyümüştür. İnşaat sektöründe en çok tercih edilen yapı malzemesi kuşkusuz betondur. Şantiyeler hızla çoğalırken betonu yerleştirebilecek ve sıkıştırabilecek kalifiye eleman sayıları bu hızla ayak uyduramamıştır. Bu durum şantiyelerdeki iş sürelerinin beklenenden çok daha fazla uzamasına sebep olmuş, neticesinde betondan beklenen özelliklerin değişmesini zorunlu kılmıştır. Bu gereksinim sonucunda, vibrasyona gerek kalmadan kendi ağırlığıyla yayılabilen betonlar kullanılmaya başlanmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton olarak isimlendirilen bu betonların işlenebilirlikleri oldukça yüksek, geçirimsizlikleri az ve dayanımları fazladır.

Kendiliğinden yerleşen betonlar ayrışmaya ve terlemeye bağlı kusurlar göstermeden yoğun donatılı kısımlara bile homojen bir şekilde yerleştirilebilmektedir. Bu özel beton türünde segregasyonu engellemek ve yüksek akışkanlık elde edebilmek için yüksek oranda su azaltıcı hiper akışkanlaştırıcılar kullanılmaktadır [1].

Kendiliğinden yerleşen betonlardan beklenen özellikleri tam olarak elde edebilmek, karışımdaki malzemelerin türü, bunların karışım içerisindeki oranları, kullanılan malzemelerin ve ortamın sıcaklığıyla yakından ilişkilidir. Karışımlarda bağlayıcı olarak kullanılan çimentonun türü ve özellikleri kendiliğinden yerleşen betonun özelliklerini etkileyen ana parametrelerdir. Aynı zamanda su ile çimento arasında kimyevi bir reaksiyon olan hidrasyon esnasında açığa çıkan ısı, taze beton içerisindeki serbest suyun buharlaştırmaktadır. Hidrasyon ısı malzemenin termal şartlarına göre ve ortamın sıcaklığına göre değişim gösterebilmektedir. Hidrasyon ısısının fazla olması betonun priz süresini azaltacağından betonun işlenebilirlik süresini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu durum betonun dayanımında hatta dayanıklılığında olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir.

Fabrikalarda 1300 °C’lerde pişirilerek üretilen klinkerler, 100°C’ye soğutulduktan sonra alçı taşı katılarak öğütülmekte ve kullanıma hazır çimento olarak silolara yüklenerek şantiye sahalarına nakliye edilmektedirler [2]. Gerek malzeme ihtiyacından gerekse zaman sıkıntısından çimentolar nominal

sıcaklığa düşmeden beton üretimlerinde kullanılmakta ve elde edilen betonların kalitesi merak edilmektedir. Daha önceki yapılan çalışmalarda betonun akışkanlığını olumsuz etkilediği ancak hiper akışkanlaştırıcı kullanılan bazı çalışmalarda ise bu durumun tam tersinin gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Yani, burada malzeme sıcaklığının yanı sıra kullanılan hiper akışkanlaştırıcının cinsi ve dozajı da önemli bir rol oynamaktadır [3-6].

Bu çalışmada; uygulamada karşılaşılan farklı çimento sıcaklıkları ile üretilen kimyasal katkılı harç fazının taze ve sertleşmiş özellikleri araştırılmıştır. Literatürde çimento-katkı uyumuna ait çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ancak çimento sıcaklığının kimyasal katkı üzerindeki etkileri üzerine yeterli araştırma yapılmamıştır. Bu kapsamda naftalin sülfonat (NSF) ve polikarboksilat eter (PCE) esaslı katkıları farklı dozajlarda kullanılarak sıcak çimento ile uyumu incelenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Harçların üretiminde TS EN 197-1 standardına uygun CEM-I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. CEM-I 42,5 R çimentosuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Çimento ait özellikler

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Serbest Kireç	Kızdırma Kaybı	Çözünmeyen Kalıntı
64,7	19,12	4,75	3,53	0,94	0,21	0,88	2,85	1,41	2,36	0,23
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Özgül Ağırlık		Özgül Yüzey (cm ² /gr)				
58,79	12,69	7,74	9,83	3,1		3640				

Harçların üretiminde agrega olarak 0-4,75 mm elek açıklığına sahip kırmataş (kalker) agregası kullanılmıştır. Deneysel çalışmada hazır beton üretiminde büyük pazar payına sahip naftalin sülfonat (NSF) ve polikarboksilat (PCE) esaslı katkıları kullanılmıştır. Harç karışımlarında işlenebilirlik ve kür için Kastamonu şebeke suyu kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Bu çalışmada farklı sıcaklıklara sahip çimentoların kimyasal katkı ile uyumu incelenmiştir. Bu amaçla çimentolar 24 saat 60 ve 100 oC sıcaklıktaki etüvde bekletilmiştir. 20 oC sıcaklığa sahip çimentolar oda koşulları olarak kabul edilmiş ve çimento torbasından alınarak karışıma ilave edilmiştir. Agregası, su, ortam ve harçların sıcaklıkları laboratuvar tipi problu termometre ($\pm 0,5$ °C hassasiyetli) ile belirlenmiştir. 0, 30 ve 60. dakikalarda taze harçların sıcaklıkları termometre ile tekrar ölçülmüştür (Tablo 3). Çimento katkı uyumu açısından naftalin sülfonat (NSF) ve polikarboksilat (PCE) esaslı katkılar %0.3, 0.6 ve 0,9 oranlarında kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı katkıların yarısı ilk olarak çimento+su karışımından olan pasta içerisine ilave edilmiştir. Akışkanlaştırıcının diğer yarısı ise agregası ilave edildikten 1 dakika sonra karışım içerisine ilave edilmiştir. Karışım suyunun 1/3'ü akışkanlaştırıcı içerisine ilave edilerek kullanılmıştır. Çimento sıcaklığı etkisinin daha belirgin olması için bağlayıcı hacmi artırılmış ve standart karışımdan farklı olarak agregası/çimento oranı 2, s/ç oranı 0.45 seçilmiştir. Akışkanlaştırıcı katkılar %0.3, 0.6 ve 0.9 oranlarında kullanılarak 0, 30 ve 60. dakikalarda taze harç özellikleri (zamana bağlı kıvam kaybı) belirlenmiştir. Taze harç özellikleri ASTM C 230 [7] standardına göre yayılma tablası kullanılarak belirlenmiştir. Harçların kendiliğinden yerleşme özelliği olduğu için yayılma tablasında herhangi bir sarsma işlemi uygulanmamıştır. Sertleşmiş harç örnekleri üzerinde ise ASTM C 109 [8] standardına göre 1, 3, 7 ve 28. günlerde basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sertleşmiş harç numunelerinde ASTM C 596'ya [9] göre 91. güne kadar boy değişimleri belirlenerek kuruma büzülmesi davranışları tespit edilmiştir. Büzülme özellikleri için 25x25x285 mm ayrıtlı harç çubukları üretilmiştir. Büzülme için hazırlanan harçlar kalıplarından 24 saat sonra sökülmüş ve kirece doymuş su içerisinde kür işlemine tabi tutulmuştur. Sertleşmiş harçlar 3 gün süre ile su içerisinde bekletilerek kür işlemine tabi tutulmuştur. Kür işlemi sonrasında oda koşullarında bekletilerek 91. güne kadar dijital komparatör yardımı ile boy değişimleri belirlenmiştir. Harçların boy değişimleri aşağıda verilen bağıntı (3.1) ile bulunmuştur.

$$(L_o - L_i) / (L_i) \quad (3.1)$$

Burada;

Lo: Harç çubuğunun ilk boyu (kalıptan çıkarılmış numunenin boyu)

Li: Harç çubuğunun deney günündeki boyu olarak tanımlanmıştır.

Deneysel çalışmada kullanılan değişkenler Tablo 2'de sunulmuştur. Tablo 2'de görüldüğü gibi farklı sıcaklıkta çimentolar ve kimyasal katkı kullanılan 18 farklı karışım ve kimyasal katkısız referans karışım olmak üzere toplam 19 adet karışım elde edilmiştir. Referans karışımında çimento sıcaklığı 20 oC olarak seçilmiş ve kimyasal katkı kullanılmamıştır.

Tablo 2. Deneysel çalışma kapsamında kullanılan değişkenler

	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
Katkı Türü	NSF	PCE	
Katkı Dozajı (%)	0,3	0,6	0,9
Çimento Sıcaklığı (°C)	20	60	100

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Taze Harç Özellikleri

Harçların üretildiği ortamın, harç içerisinde kullanılan malzemelerin ve taze harçların zamana bağlı sıcaklıkları ısı haritası olarak Tablo 3'de sunulmuştur. Çimento sıcaklıklarındaki artış taze harçlarında sıcaklığını arttırmaktadır.

Farklı çimento sıcaklığı ve kimyasal katkılar kullanılarak elde edilen taze harçların 0,30 ve 60. dakikalarda yayılma çapları ölçülmüştür. Zamana bağlı olarak taze harçların yayılma çapları Şekil 1 (a) (b) (c)'de sunulmuştur.

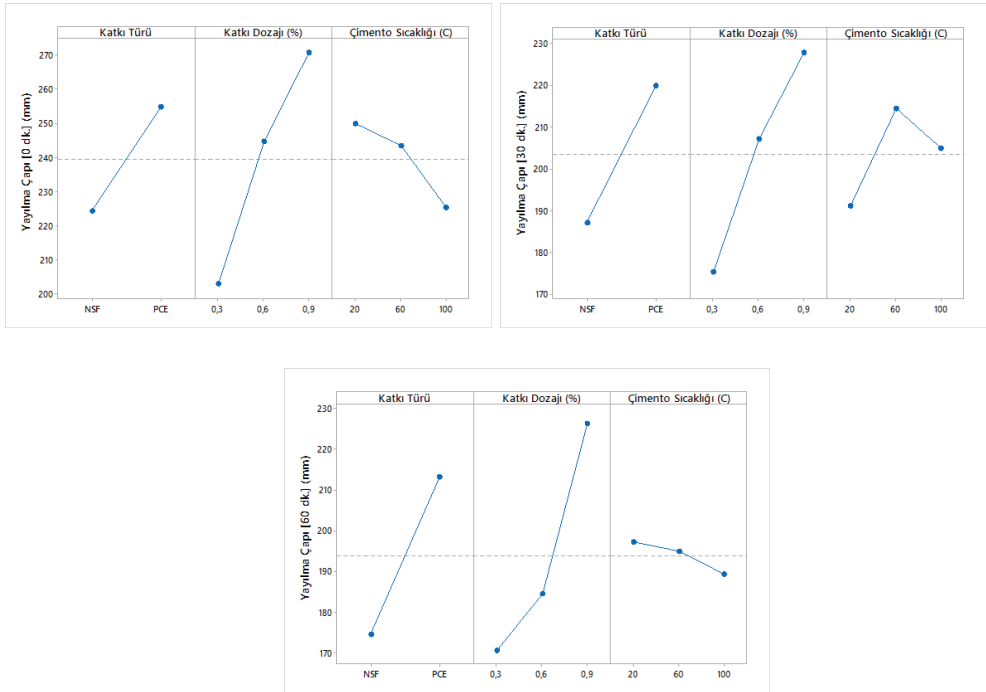
Tablo 3. Karışım malzemeleri ve taze harçların zamana bağlı sıcaklıkları (ısı haritası)

Akış. Türü	Akış. Doz (%)	Çim. Sıc. (°C)	Ortam Sıc. (°C)	Agrega Sıc. (°C)	Su Sıc. (°C)	0 dk. Sıc. (°C)	30 dk. Sıc. (°C)	60 dk. Sıc. (°C)
NSF	0,3	100	20,7	21,2	18,1	26,5	20,3	19,5
NSF	0,6	100	20,3	22,8	22,2	25,0	21,5	19,8
NSF	0,9	100	21,3	23,6	20,5	26,3	22,8	22,0
PCE	0,3	100	21,9	22,9	20,0	28,6	22,8	22,0
PCE	0,6	100	22,0	22,6	17,0	27,2	22,2	21,4
PCE	0,9	100	19,6	19,3	16,4	25,0	20,7	20,0
NSF	0,3	60	18,0	17,0	14,9	20,8	20,3	18,8
NSF	0,6	60	18,7	16,1	14,6	20,2	18,8	17,9
NSF	0,9	60	19,9	17,7	16,5	21,8	20,4	19,6
PCE	0,3	60	19,9	17,7	14,5	21,3	20,0	19,7
PCE	0,6	60	19,4	17,2	13,8	20,2	19,3	19,3
PCE	0,9	60	19,3	17,9	17,3	21,3	19,8	19,5
NSF	0,3	20	19,2	18,0	16,6	20,0	19,6	19,3
NSF	0,6	20	19,7	17,6	17,3	18,5	18,5	17,9
NSF	0,9	20	18,8	17,8	12,7	17,8	18,1	17,8
PCE	0,3	20	19,4	18,0	12,0	18,2	18,3	18,5
PCE	0,6	20	19,4	17,4	13,5	18,0	18,3	18,4
PCE	0,9	20	19,4	18,4	14,1	18,3	19,2	19,0
Referans		20	19,6	17	13,8	18,8	18	17,6

Şekil 1 (a)'da görüldüğü gibi başlangıçta PCE esaslı katkı kullanımı yayılma çaplarını arttırmaktadır. Referans karışımın başlangıç yayılma çapı 169 mm olarak belirlenmiş ve PCE kullanımında yayılma çapı yaklaşık %51 oranında artmıştır. Başlangıç anındaki yayılma çapları incelendiğinde kimyasal katkı dozajının artması ile harçların işlenebilirliği büyük oranda artmaktadır. Özellikle kimyasal katkı

oranının %0,6 ve 0,9 olması durumunda harçların yayılma çapları büyük artış göstermiştir. Çimento sıcaklığının artması ile başlangıç anındaki yayılma çapları azalmaktadır. Çimento sıcaklığının 100 °C olması durumunda yayılma çapı referans karışıma göre yüksek olmaktadır. Ancak 20 ve 60 °C'ye göre yayılma çapları azalmaktadır.

Şekil 1(b)'de 30. dakikadaki taze harçların yayılma çapları verilmiştir. 30. dakikada referans karışımın yayılma çapı 147 mm olarak ölçülmüştür. Şekil 1 (b)'de çimento sıcaklığındaki artışın 30. dakikada yayılma çaplarında artışa yol açtığı tespit edilmiştir. Çimento sıcaklığının 60 °C olması durumunda 30. dakikadaki yayılma çapları referans karışıma göre yaklaşık %46 oranında artmaktadır.



Şekil 1. Taze harç özellikleri

Şekil 1(c)'de ise taze harçların 60. dakikadaki yayılma çapları sunulmuştur. Çimento sıcaklığındaki artış harçların yayılma çaplarını önemli derecede olumsuz etkilemektedir. PCE kullanımı NSF'ye göre işlenebilirlik açısından daha olumlu sonuçlar sağlamıştır. Kimyasal katkı oranındaki artış ile birlikte 60. dakikadaki yayılma çapları artış göstermektedir. Kimyasal katkı dozajının %0.9 olması durumunda 60. dakikadaki yayılma çapları yaklaşık 225 mm olarak belirlenmiştir. 60. dakikada referans karışımın yayılma çapı ise 143 mm olarak tespit edilmiştir. 0 ve 60. dakikalar arasında PCE esaslı katkıların %0.9 oranında kullanılması kıvam kaybı açısından daha uygun olmaktadır. NSF esaslı katkıların kullanımı durumunda ise büyük oranlarda (yaklaşık %37 oranında) kıvam kaybı gerçekleşmektedir.

DeneySEL çalışmada üretilen bazı harçların taze hal özellikleri Şekil 2'de verilmiştir. PCE esaslı katkının %0.9 oranında ve çimento sıcaklığının 20-60 °C olması durumunda taze harç bünyesinde ayrışma meydana gelmiştir.



Şekil 2. Farklı özellikteki bazı harçlarının taze hal özellikleri

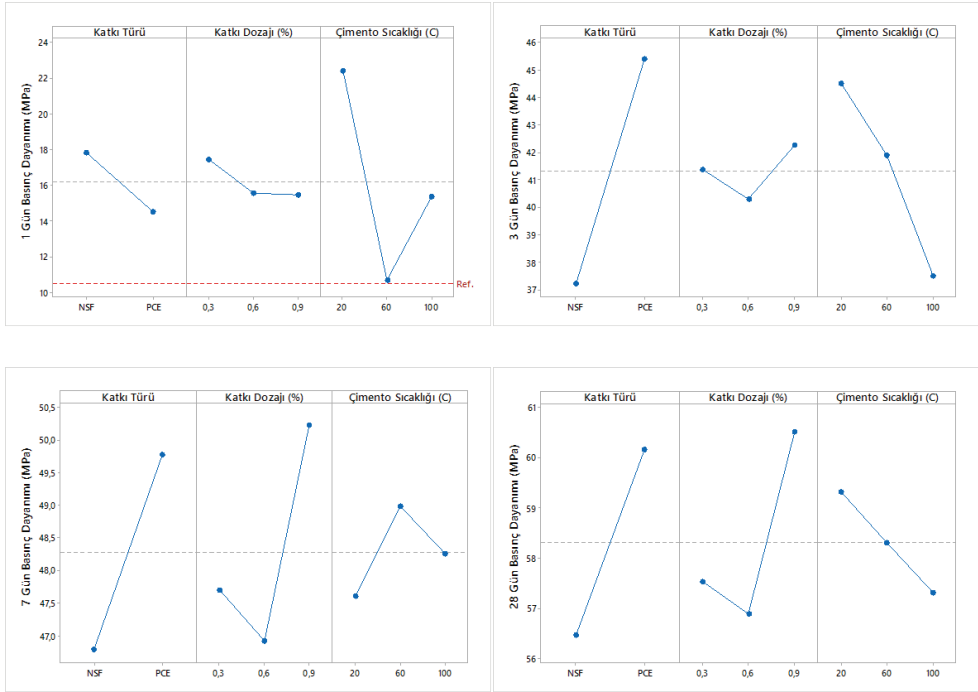
0 ve 60. dakikada çimento sıcaklığı ve katkı türünün taze harç özellikleri üzerindeki etkisi Şekil 3(a) (b)'de sunulmuştur.

3.2. Sertleşmiş Harç Özellikleri

Farklı sıcaklıktaki çimento ve kimyasal katkıları kullanılarak üretilen harçların 1,3,7 ve 28. günlerdeki basınç dayanımları Şekil 3 (a) (b) (c) ve (d)'de verilmiştir.

Sertleşmiş harçların 1 günlük basınç dayanımlarına ait özellikler Şekil 3(a)'da verilmiştir. 1 günlük basınç dayanımları açısından PCE kullanımı olumsuz özellik göstermektedir. Bu durum PCE'nin priz geciktirme özelliğinden kaynaklanmaktadır. Kimyasal katkı oranının %0.6 ve 0.9 olması durumunda da basınç dayanımları azalmaktadır. Çimento sıcaklığının 20 °C'den 60 °C'ye artırılması durumunda basınç dayanımı %52,3 oranında azalmaktadır. Çimento sıcaklığının 20 °C'den 100 °C'ye artırılması durumunda ise basınç dayanımı %31,3 oranında azalmaktadır. Bu sonuçlara göre çimento sıcaklığındaki artış erken yaş dayanımları açısından olumsuz özellikler çıkarabilmektedir.

Farklı sıcaklıktaki çimento ve kimyasal katkıları kullanılarak üretilen harçların 3 günlük basınç dayanımları Şekil 3(b)'de verilmiştir. 1 günlük basınç dayanımlarının aksine PCE esaslı katkı kullanımı basınç dayanımlarında artışa neden olmuştur. Kimyasal katkı oranının %0,3'den %0,6'ya artırılması durumunda 3 günlük basınç dayanımı %2,5 oranında azalmaktadır. Ancak kimyasal katkı oranının %0,9 olması durumunda basınç dayanımı %2,4 oranında artmaktadır. Çimento sıcaklığındaki artış 3 günlük basınç dayanımlarında azalmaya yol açmaktadır. Özellikle çimento sıcaklığının 100 °C olması durumunda basınç dayanımı 20 °C'ye göre %15,8 oranında azalmaktadır. Referans karışımın 3 günlük basınç dayanımı 33,39 MPa olarak belirlenmiştir. Çimento sıcaklığının artması durumunda bile kimyasal katkı kullanıldığı için basınç dayanımları referans karışıma göre daha yüksek olmaktadır.



Şekil 3. Sertleşmiş harç özellikleri

Şekil 3 (c)'de sertleşmiş harç örneklerinin 7 günlük basınç dayanımları görülmektedir. 7 günlük basınç dayanımları açısından da PCE esaslı katkı kullanılması NSF esaslı katkılara göre daha üstün performans göstermektedir. Kimyasal katkı oranının %0,6 olması durumunda basınç dayanımları %0,3 oranına göre azalmaktadır. Ancak kimyasal katkı oranının %0,9 olması halinde 7 günlük basınç dayanımı %5,5 oranında artmaktadır. Çimento sıcaklığının 60 ve 90 °C olması halinde basınç dayanımları 20 °C'ye göre artış göstermektedir. Basınç dayanımındaki artış seviyeleri ihmal edilebilir derecededir.

Sertleşmiş harç örneklerinin 28 günlük basınç dayanımı özellikleri Şekil 3(d)'de verilmiştir. 28. günde NSF esaslı katkı yerine PCE esaslı katkı kullanılması durumunda basınç dayanımı %7,4 oranında artmaktadır. Kimyasal katkı oranının %0,9 olarak kullanılması durumunda basınç dayanımı yaklaşık olarak %5 oranında artmaktadır. Çimento sıcaklığının artması durumunda 28 günlük örneklerin basınç

dayanımlarında azalmalar gerçekleşmektedir. Çimento sıcaklığının 60 ve 100 oC olması durumunda basınç dayanımları 20 oC'ye göre sırasıyla %1,7 ve %3,4 oranında azalmaktadır.

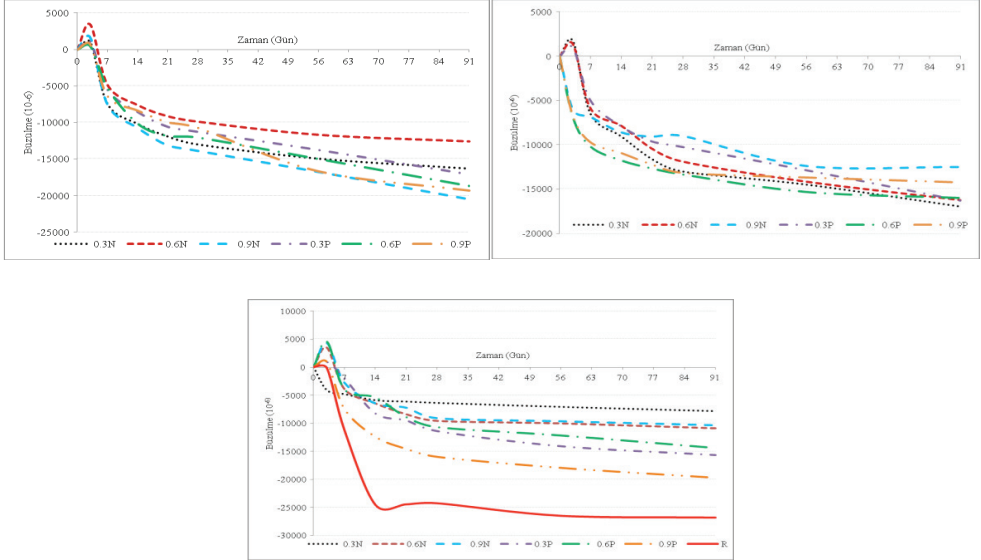
Çimento sıcaklığındaki artış daha çok 1 ve 3 günlük basınç dayanımlarını olumsuz etkilemektedir. Ancak uygulanan kür ile birlikte oluşan dayanım kayıpları zamanla ihmal edilebilir dereceye ulaşmaktadır.

3.3. Harçların Boyutsal Kararlılığı

Farklı sıcaklığa sahip çimento kullanılarak üretilen harçların büzülme özellikleri Şekil 4 (a) (b) (c)'de verilmiştir. Tüm harç örneklerine uygulanan 3 günlük su kürü negatif rötreye neden olmuştur. 100 oC sıcaklıkta çimento ve %0,6 oranında NSF kullanılan harç örneklerinde 3. gün sonunda en fazla negatif rötrenin olduğu Şekil 4 (a)'da görülmektedir. Negatif rötre özelliği yüksek olan 0,6N örneğinin su küründen sonraki büzülme davranışının diğer örneklerle göre daha az olduğu görülmektedir. Özellikle 56. günden itibaren büzülme olayının diğer örneklerle göre oldukça yavaşladığı görülmektedir. %0,9 oranında NSF kullanılan harç örneğinin negatif rötre özelliği yüksek olmasına rağmen 91. gün itibari ile en gazla büzülme özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. Şekil 4 (a)'da görüldüğü gibi 100 oC sıcaklığa sahip çimento kullanıldığı takdirde PCE esaslı katkı oranındaki artış ile birlikte büzülme değerleri artış göstermektedir. Ancak bu durum NSF esaslı katkılarda farklı bir özellik göstermektedir.

Şekil 4 (b)'de görüldüğü gibi çimento sıcaklığının 60 oC ve katkı oranının %0,9 olması durumunda NSF ve PCE esaslı katkılar ile üretilen harçların su içerisindeki kür işlemi esansında büzülme özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. PCE esaslı katkılarının %0,9 oranında kullanılması durumunda büzülme özelliği 28. günden itibaren oldukça yavaşlamıştır. NSF esaslı katkılarının %0,9 oranında kullanılması durumunda ise 56. günden itibaren büzülme davranışı azalmıştır. 60 oC sıcaklıktaki çimento ile %0,3 oranında NSF kullanımı harçların büzülme özelliğini arttırmaktadır. Ayrıca çimento sıcaklığının 100

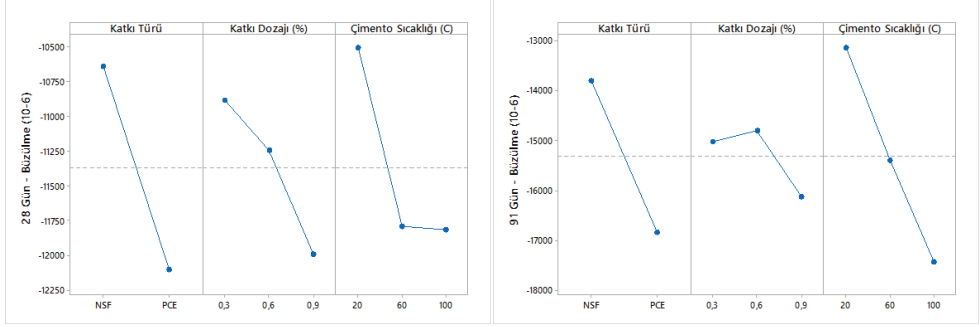
oC'den 60 oC'ye düşmesi durumunda tüm harç örneklerindeki büzülme özellikleri de azalmaktadır. Özellikle 0,9N örneği 100 oC sıcaklıkta çimento kullanıldığı takdirde en fazla büzülme özelliği göstermesine rağmen çimento sıcaklığının 60 oC olması durumunda en az büzülme özelliğini göstermiştir.



Şekil 4. 100 °C sıcaklığa sahip çimento ile üretilen harçların büzülme özellikleri

NSF esaslı katkıları kullanılarak üretilen harçların büzülme özelliklerinin oldukça düşük olduğu Şekil 4(c)'de görülmektedir. Özellikle NSF oranının %0,6 ve 0,9 olması durumunda 35. günden itibaren büzülme davranışı oldukça yavaşlamaktadır. PCE oranının %0,9 olması durumunda ise harçların büzülme özellikleri artış göstermiştir. 20 °C sıcaklığa sahip çimento ile kimyasal katkı kullanılmadan üretilen referans harcın büzülmesi yaklaşık olarak 27000×10^{-6} gibi oldukça yüksek bir değere sahip olmaktadır. Bu değer sıcak çimentolar ile üretilen harç karışımlarında elde edilememiştir.

Çimento sıcaklığı, kimyasal katkı türü ve dozajının 28. ve 91. gündeki büzülme değerlerine etkisi Şekil 5 (a) (b)'de verilmiştir.



Şekil 5. Kimyasal katkı ve çimento özelliklerinin büzülme davranışına etkisi

Şekil 5 (a) 'da görüldüğü gibi PCE esaslı katkı kullanımı 28. gündeki büzülme değerlerini arttırmaktadır. Ayrıca katkı dozajı ve çimento sıcaklığındaki artış harçların büzülme değerlerinde de artışa yol açmaktadır. Özellikle çimento sıcaklığının 20 °C'den 60-100 °C'ye arttırılması durumunda büzülme değerleri yaklaşık olarak %13 oranında artmaktadır. Kimyasal katkı oranının %0,9 olması halinde de büzülme değerleri %10,2 oranında artmaktadır. Şekil 5 (b)'de yer alan 91. gündeki büzülme özellikleri incelendiğinde 28. güne benzer özellikler görülmektedir. PCE esaslı katkı kullanımı ve çimento sıcaklığındaki artışlar harçların büzülme değerlerini arttırmaktadır. Özellikle çimento sıcaklığının 20 °C'den 100 °C'ye arttırılması halinde büzülme değerleri %32,8 oranında artmaktadır.

4.SONUÇLAR

- Çimento sıcaklığındaki artış taze harç özelliklerini olumsuz etkilemektedir. Çimento sıcaklığının özellikle 100 oC olması yayılma çaplarını önemli ölçüde azaltmaktadır. 60 dakika sonrasındaki taze harç özelliklerine göre PCE esaslı katkılar çimento sıcaklığından daha az etkilenmektedir.

- Çimento sıcaklığındaki artışlar harçların erken ve nihai yaş dayanımlarının azalmasına yol açmaktadır. Özellikle 1 günlük dayanımlarda sıcaklığın 60 oC olması basınç dayanımlarında %50'den fazla azalmaya yol açmaktadır. 28 günlük basınç dayanımları açısından PCE esaslı katkılar çimento sıcaklığından olumsuz etkilenmektedir. Ancak NSF esaslı katkılar çimento sıcaklığından çok etkilenmemektedir.
- Çimento sıcaklığındaki artış harçların büzülme değerlerini arttırmaktadır. Çimento sıcaklığının 100 oC olması büzülme değerlerinin artmasına yol açmaktadır. PCE esaslı katkı oranındaki artış harçların büzülme değerlerini arttırmaktadır.
- Fabrikalardan temin edilen yüksek sıcaklıklarda öğütülmüş ve depolanmış çimentonun sıcaklığını düşürmek oldukça zordur. Bunun nedeni çimentonun özgül ısı değerinin ve betondaki miktarının düşük olmasıdır. Bu yüzden çimento sıcaklığı üzerine yapılan araştırma sayısı oldukça kısıtlıdır. Bu çalışmada sıcak çimento ile katkı uyumu araştırılmıştır. Sıcak çimentoların basınç dayanımından çok taze harç özellikleri ve büzülmeyi etkilediği tespit edilmiştir. Ancak bu uygulamalar beton örnekler üzerinde de test edilerek belirlenmelidir. Ayrıca sıcak çimento kullanımı durumunda betonun 28 günlük kalite denetiminde değişiklikler olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Şimşek O. (2012). Beton ve Beton Teknolojisi. 4.Baskı, Ankara: Seçkin Yayıncılık
- [2] <http://www.tcma.org.tr/index.php?cntID=6&page=icerikgoster> (anonim) 25.07.2017
- [3] Ramyar, K., (2007) Portland Çimentosu – Süper akışkanlaştırıcı Katkı Uyumunu Etkileyen Faktörler, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu ve Sergisi
- [4] Kosmatka, S. H. and Wilson, M. L., Design and Control of Concrete Mixtures, EB001.15, 15th edition, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 2011.
- [5] Lerch, W., Hot Cement and Hot Weather Concrete Tests, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 1955.
- [6] Wilson M.L., and Thomas, M.D.A., Hot and Cold Weather Concreting, CD057, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 2005. Available in the PCA Library.
- [7] ASTM C230/C230M–14, Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement.
- [8] ASTM C109/C109M-16a Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars.
- [9] ASTM C596–09 (2017) Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement.

KÂGİR BLOK HARCİ ÜRETİMİNDE YENİ BİR KATKI MADDESİNİN PERFORMANSA ETKİSİ

Lütfullah GÜNDÜZ

Prof. Dr.

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Serhat SONUGELEN

Genel Md.

TEKNOBİMS İzolasyonlu Hafif Yapı Elemanları
A.Ş. Nevşehir,
Türkiye

ÖZET

Binalarda ölü yükü düşürmek ve enerji verimliliği yüksek duvar birimleri oluşturmak için, birim ağırlığı düşük hafif betondan mamul ürünler sıklıkla uygulamalarda görülmektedir. Kuru karışım hafif beton formunda hazırlanan harçlar ile farklı tasarım ve büyüklüklerde kâgir duvar elemanları elde edilebilmektedir. Ancak, bu yapı elemanlarının üretiminde öngörülebilecek bir erken mukavemet değeri, üretim kapasitesini artıran önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu makalede, çimentolu esaslı hafif agregalı kâgir blok elemanlarının üretiminde erken mukavemet sağlamak amacıyla doğal alunit, kalsiyum formiyat, lityum karbonat ve doğal anhidrit malzemelerin belirli oranlarda karışımı ve bazı özel modifikasyon işlemleri ile yeni nesil inorganik kabul edilebilecek bir toz katkı malzemesi üretilmiştir. Bu toz katkı maddesinin pomza agregalı kâgir blok elemanlarının üretiminde çimento dozajına ikame olarak kullanımı üzerine yapılmış bir seri deneysel analizin bulguları irdelenmiş olup, ürün geliştirmede ihtiyaç duyulabilecek teknik özellikler özetle sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kâgir Harcı, Mineral Katkı, Dayanım, Performans

PERFORMANCE EFFECT ON A NEW ADDITIVE MATERIAL IN PRODUCTION OF MASONRY BLOCK MORTAR

ABSTRACT

In order to reduce the dead load in buildings and to create energy efficient wall units, products made by lightweight concrete are often seen in applications. Different design masonry wall elements prepared in dry mixed lightweight concrete form can be developed. However, an early strength value that can be predicted in the production of these structural members is one of the important factors increasing the production capacity. In this paper, a powder admixture accepted as a new generation of inorganic additive has been produced with specific proportions of natural alunite, calcium formate, lithium carbonate and natural anhydrite materials in order to provide early strength in the production of cementitious lightweight aggregated masonry block elements. A series of empirical research findings of the use of this powder additive as a substitute for the cement dosage in the production of pumice aggregated masonry block components have been reviewed and the technical specifications that may be required to develop the product are summarized.

Keywords: Masonry Mortar, Mineral Admixture, Strength, Performance

GİRİŞ

Pomza agregalı kâgir blok harçları, inşaat endüstrisinde duvar blok elemanı olarak yaygın bir şekilde “*bimsblok*” üretimlerinde kullanılmaktadır. Bu harç türü, genellikle düşük çökme (slump) değerine sahip ve kuru karışım harç türevi olarak da bilinmektedir. Üretim prosesinde farklı tane boyut aralığına sahip pomza agregaları ve çimento, düşük su oranıyla kuru karışım kıvamında bir mikser içinde karıştırılmakta ve daha sonra vibrasyon ile kâgir blok kalıplarına yerleştirilerek,

presleme sonrası kalıptan çıkartılan blok elemanları kürlleme için uygun bir kamara ortamına alınmaktadır [1]. Bu proses şekli en yaygın uygulanan yöntem olarak görülmekle birlikte, üretimde hazırlanan harcın teknik performansını daha da iyileştirmek amacıyla, kimyasal katkı kullanımları da gündeme gelebilmektedir. Ancak, elde edilen harç kompozisyonunda su oranı çok düşük olduğu için, normal beton karışımları için kullanıla gelmekte olan farklı orijinlerdeki kimyasal katkılar, benzer şekilde bu üretim kombinasyonlarında ya kullanılamamakta ya da çok küçük performans etkileşimleri sergilemektedir.

Bilindiği gibi beton katkı maddeleri; su, agrega ve çimento dışında betonlara çok düşük miktarda katılan organik ve inorganik kimyasal maddelerdir. Çimentonun sahip olduğu özellikleri, iyi yönde ve belirli bir ölçüde değiştirmek amacı ile beton üretilirken veya üretildikten sonra katılarak taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini geliştirirler. Mineral ve kimyasal olarak iki grupta ele alınabilen katkı maddeleri, betonun akışkanlığının artırılması, erken ve yüksek dayanıma ulaşılması, geçirimsizliği ve dona dayanımın sağlanması vb. gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar [2, 3]. Kuru karışım kıvamında bimsblok üretiminde kullanılabilecek kimyasal katkı ve pomza agregalı kâgir blok harçlarının gerek sertleşme süresini düşürerek hızlı kurumasını sağlayacak, gerekse üründe erken mukavemet kazandırabilecek harç kompozisyonunun sağlanması amacıyla, bir ArGe çalışması yürütülmektedir. Bu bildiride, bu ArGe çalışması kapsamında teknik irdelemeleri yapılmış inorganik kökenli malzemelerin kullanımıyla geliştirilmiş yeni bir katkı türevinin, hazırlanmış hafif beton örneklerinin performansına olan etkileri irdelenerek, elde edilen teknik bulgular tartışılacaktır.

AMAÇ

Bu bildiride sunulan deneysel çalışmaların amacı kuru karışım formunda kâgir blok harcı üretimlerinde erken mukavemet sağlaması amacıyla inorganik kökenli yeni nesil bir katkı maddesinin geliştirilmesi irdelenmiştir. Üretilen yeni nesil katkı maddesinin kâgir blok harcın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışma ile kâgir blok üretiminde, çimento hidratasyon süresine bağlı olarak üretim süresini kısaltarak, kapasite artırımı sağlanmaktadır.

Materyal ve Metot

Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Bu deneysel çalışmada, özellikle çimentolu kuru karışım harç kombinasyonları ile elde edilen hafif agregalı kâgir blok elemanlarının üretiminde harcın hızlı sertleşmesini sağlamak ve aynı zamanda mukavemet artırıcı etki göstermesi amacıyla doğal alunit, kalsiyum formiyat, lityum karbonat ve doğal anhidrit malzemelerin belirli oranlarda karışımı ve bazı özel modifikasyon işlemleri ile yeni nesil inorganik kabul edilebilecek bir toz katkı malzemesi üretilmiştir. Doğal bir şap taşı olarak da kabul edilen alunit, en önemli şap minerali olup kimyasal bileşimi sulu potasyum-aluminyum silikattır. $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ veya $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 4SO_3 \cdot 6H_2O$ formülü ile ifade edilmektedir. Volkanik kayaların hidrotermal yolla başkalaşımı sonucu meydana gelen bu maddelerin bileşiminde %10-50 aralığında değişim gösterebilen oranlarda SiO_2 bulunmaktadır [4]. Alunit cevheri 700-750oC’de kalsine edildiğinde hidrate elemanlar oluşmaktadır. 1300-1380oC’de 15 dakika tutulursa boşluklu bir yapı kazanır ve genleşme özelliği artar. Portland çimentosuna kalsine edilmiş alunit ilavesi ile C3S, C2S ve C4AF bileşiklerinin oluşması kolaylaşmaktadır [5]. Toz katkı malzemesi üretimi için doğal bir kayaç olarak alunit, kısmen gözenekli yapısal bir form kazanacak şekilde kalsine edilmiş ve ortalama 75 mikron boyut altına indirgenerek katkı karışımında kullanılmıştır. Kalsiyum formiyat, genellikle formik asitin kalsiyum tuzu olarak bilinmekte olup, kimyasal bileşimi $Ca(HCOO)_2$ ’dir [6]. Görünümü beyaz toz olan bu madde, yüksek sıcaklıkta bozunma riskine sahiptir. Kalsiyum formiyat, çimentolu harç üretimlerinde erken yaşlarda dayanım artırdığı tecrübe edinildiği için dış cephe uygulamalarında kullanılacak ürünlerde tercihen kullanılan bir malzemedir. Özellikle soğuk havalardaki uygulamalarda harcın hızlı sertleşmesi sağlanarak don etkilerinden doğabilecek olumsuz etkileri minimize etmek için üretilen özel harçlarda ve yüksek erken mukavemet istenilen şap türü harçların üretimlerinde kullanılmaktadır. Ticari olarak piyasadan tedarik edilmiş toz formdaki kalsiyum formiyat, toz katkı malzemesi üretimi için kullanılmıştır. Bu bileşenlere ilaveten, beyaz renkli bir toz formda ve kokusuz bir yapıda lityum karbonat yeni nesil toz katkı malzemesi üretiminde katkı elemanı olarak kullanılmıştır. Kimyasal bileşimi, Li_2CO_3 olup, sektörel kullanımda özellikle çimentolu bileşiklerde priz hızlandırıcı olarak kullanılmaktadır [7]. Bir diğer toz katkı üretiminde kullanılan ana bileşen malzeme ise doğal anhidrit’dir. Anhidrit, susuz kalsiyum sülfat olarak da bilinen $(CaSO_4)$ yapısında, kayaç

oluşturan önemli bir mineraldir. Kimyasal açıdan jips (alçıtaşı) ile arasındaki tek fark, kristalleşme suyunun olmamasıdır. Nemli ortamlarda molekülüne su alarak jipse dönüşür [8]. Toz katkı malzemesi üretimi için doğal bir kayaç olarak anhidrit, yüksek sıcaklıkta kalsine edilmiş ve ortalama 75 mikron boyut altına indirgenerek katkı karışımında kullanılmıştır.

Bu çalışmada, ana agregalar olarak Nevşehir bölgesinden temin edilen pomza agregalar, laboratuvar ortamında öncelikle birincil bir çeneli kırıcıda kırılarak, daha sonra sınıflandırma işlemine tabi tutulmuştur. Hafif agregalı harç örneklerinin hazırlanması amacıyla üç ayrı boyut fraksiyonu 0-4 mm, 4-8 mm ve 8-16 mm agregalar boyut aralıkları olarak tanzim edilmiştir. Bu çalışma kapsamında 0-4 mm boyutunda hazırlanan pomza “agrega 1”, 4-8 mm pomza “agrega 2”, 8-16 mm pomza ise “agrega 3” olarak adlandırılmıştır. Agregalar 1, agrega 2 ve agrega 3 boyut aralığındaki pomza malzemenin etüv kurusu yoğunluk değerleri sırasıyla, 590 kg/m³, 465 kg/m³ ve 375 kg/m³ olarak elde edilmiştir. Tüm harç kombinasyonlarına ait örneklerin hazırlanmasında CEM I 42.5R Portland Çimento (özellik ağırlık değeri 3.15 g/cm³) kullanılmış olup, su olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Hafif Beton Tasarımı ve Test Örneklerinin Hazırlanması

Pomza agregalı kâğır blok harcı karışımlarında, öncelikle 150 kg/m³ çimento dozajında yeni nesil katkı malzemesi içermeyen “kontrol karışımı” bir seri test numunesi hazırlanmış olup, “K0” ile kodlanmıştır. Deneysel çalışmalar İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemeleri ArGe Laboratuvarında yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan hafif beton karışımları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Hafif beton karışım kombinasyonları.

Karışım	A/Ç	K/Ç	Çimento Miktarı (kg/m ³)	Katkı Miktarı (kg/m ³)	S/Ç	Taze Harç Yoğunluğu (kg/m ³)	28 gün kür sonu Hava Kuru Harç Yoğunluğu (kg/m ³)
K0	2.8	0.00	150	0	1.14	796 ±13	625 ±9
K1	3.0	0.05	141	7	1.15	784 ±17	623 ±12
K2	3.1	0.08	135	11	1.18	780 ±12	620 ±11
K3	3.2	0.11	130	14	1.23	778 ±23	618 ±16
K4	3.4	0.15	124	19	1.28	776 ±21	616 ±18
K5	3.5	0.18	120	22	1.34	773 ±26	613 ±22

Yeni nesil katkı kullanımının teknik performansını irdelemek amacıyla, karışımdaki çimento dozajına ikame (yer değiştirme) olarak kullanılmış olup, deneysel çalışmada öngörülen Katkı/Çimento (K/Ç) oran değişimi 0.05 – 0.18 aralığında 5 farklı karışım kombinasyonu olarak tasarlanmış olup, K1-K5 olarak kodlanmıştır. Yeni nesil katkı oranının çimento ile yer değiştirmeli olarak kullanımı sebebiyle, elde edilen karışımların yalnızca çimentoya bağlı dozaj değişimi de Çizelge 1’de görüldüğü gibi 141 – 120 kg/m³ aralığında değişim göstermektedir. Kontrol karışımı da dâhil yeni nesil katkı kullanımlı tüm karışımlarda agrega 1, agrega 2 ve agrega 3 kullanım miktarları sabit olup sırasıyla değerleri 115 kg/m³, 223 kg/m³ ve 80 kg/m³ olarak tasarlanmıştır. Agrega değeri olarak karışımda kullanılan agrega 1, agrega 2 ve agrega 3 miktarlarının toplam değerinin kullanılan çimento miktarına oranı (Agrega/Çimento Oranı) A/Ç 2.8 – 3.5 oran değerinde değişim göstermektedir. Hazırlanan harçların kuru karışım veya sıfır slump (çökme) özelliğini sağlayabilmesi bakımından Çizelge 1’de verilen Su/Çimento (S/Ç) oranları optimize edilerek kullanılmıştır. Karışımda kullanılan yeni nesil katkı miktarının artmasına bağlı olarak S/Ç oranı da artış göstermiş olup, 1.14 – 1.34 oran değişim aralığında uygulanmıştır.

Hazırlanan her bir kuru karışım hafif beton harç örneklerinin karma işlemi sonrası, numune kalıplarına dökümü yapılmadan önce, taze beton harcı formunda yoğunluk değerleri hacmi önceden belirlenmiş bir kap kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca bu taze beton harcı, laboratuvar boyutlu prototip kagir blok üretiminde de kullanılan sabit vibrasyon+baskı uygulayabilen bir üniteye küp kalıplara presleme işlevi ile yerleştirilmiş, sıkıştırılmış ve kalıptan çıkartılmıştır. Bu ünite yardımıyla preslenmiş/sıkışmış harcın da birim hacim ağırlığı, elde edilen kalıp formu geometrik boyutları dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu iki taze harç birim ağırlığı arasındaki fark, her bir karışımın ne ölçülerde kalıba yerleşebildiği, diğer bir deyişle ne kadar sıkışabildiği saptanmıştır. Genellikle, taze beton harcı vibrasyon ve preslemenin etkisiyle bir miktar sıkışacağı kaçınılmazdır, ancak bu sıkışma miktarının çok yüksek olması elde edilecek yerleşmiş betonun birim ağırlığını arttıracaktır. Bu nedenle, genelde bu tarz uygulama yardımıyla vibrasyon ve presleme basıncının büyüklüklerinin ayarlanması yapılabilmektedir. Hazırlanan karışımlardan eşdeğer koşullarda vibrasyon+presleme ünitesinde kuru karışım kıvamında 10x10x10 küp örneklerden her bir karışım için 12 adet numune dökülmüştür. Ayrıca örneklerin rutubet hareketi tayini analizi için dikdörtgen geometrik şekilli çubuk örnekler hazırlanmış ve 20x40x3 cm boyutlu ayrı bir seri plaka örnekler de test ve analizler için hazırlanmıştır.

Harç karışımlarına ait örneklerin hava kurusu normal oda ortamı koşullarında kürlenme işlemi sonrası kuru yoğunluk değerleri olarak ölçülmüştür. Taze harç yoğunluk değerleri A/Ç ve K/Ç oran değişimlerine bağlı olarak ortalama 775–796 kg/m³ aralığında değişim gösterirken normal ortam koşullarında kürlenmiş beton örneklerinin yoğunluk değerleri ise ortalama 613–625 kg/m³ aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir.

Pomza agregalı hafif beton örneği olarak elde edilen her bir karışım kombinasyonunun kür sürecindeki mukavemet değeri değişimini analiz etmek amacıyla, taze harcın vibrasyon ve presleme sonrası normal ortam koşulunda 12 saat ve 24 saat sonrası birim hacim kütle ve basınç dayanımı değerleri ölçülmüştür. Ayrıca her bir karışıma ait örnekler, daha sonra normal ortam şartlarında 28 gün boyunca kürlenme işlemine bırakılmış olup, 28 gün kür sonrası sertleşmiş beton örnekleri bir etüv ortamında değişmez kütleye ulaşmaya kadar kurulmuş ve sonrasında da teknik özellikleri analiz edilmiştir.

Araştırma Bulguları

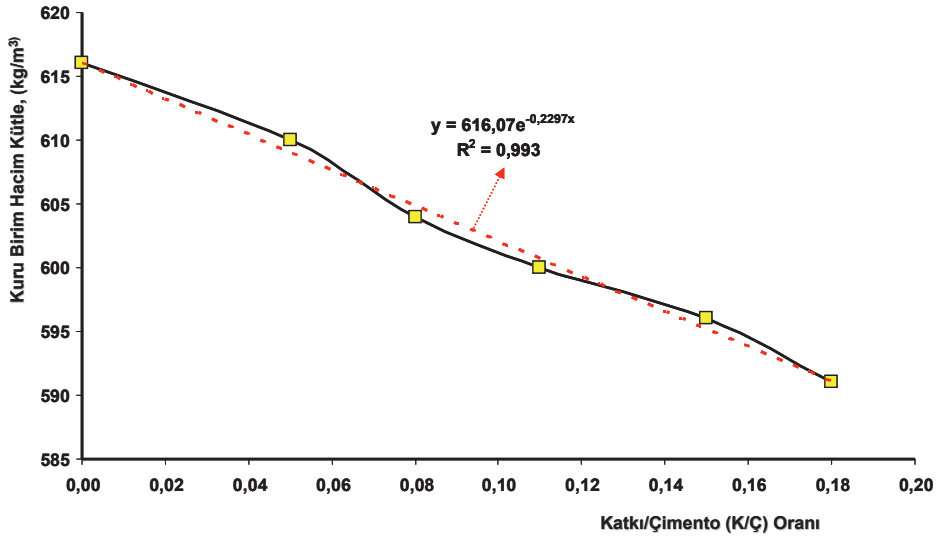
Yeni nesil katkı maddesinin pomza agregalı kâgir blok harcı üretiminde kullanılabilirliğini irdelemek amacıyla hazırlanan hafif beton örneklerinin deneysel analiz bulguları Çizelge 2’de verilmiştir.

Gözenekli hafif agregalı kâgir blok harcı karışımlarında kür işlemi tamamlanmış örneklerin yoğunluk değeri, genellikle harcın birim ağırlık sınıfının tanımlanmasında önemli bir faktör olarak ele alınmaktadır. Genellikle kuru birim hacim kütle değeri 900 kg/m^3 ve altında olan harçlar, günümüzde hafif blok kâgir harcı olarak nitelendirilmektedir. Bu düşük yoğunluk değeri, özellikle binalarda ısı yalıtım performansı yüksek kâgir blok elemanlarının üretilebilirliğine de olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda kuru karışım formunda hafif beton harcı kombinasyonları çoğunlukla taşıyıcı olmayan hafif kâgir elemanların üretiminde harç malzeme olarak kullanılması yoğun görülen bir uygulama şekli olup, minimum harç kuru birim hacim kütle değerleri son derece hafif kâgir blok elemanların elde edilmesinde önem kazanmaktadır.

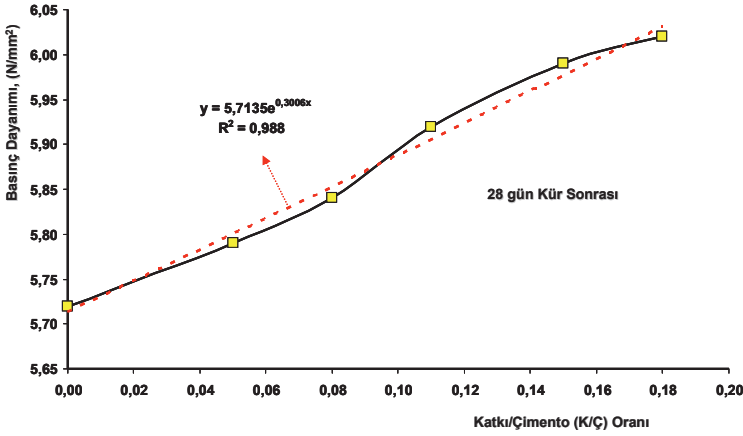
Çizelge 2. Hafif beton örneklerinin analiz bulguları (28 gün kür sonrası).

Karışım	K/Ç	Etüv Kuru Birim Hacim Kütle (kg/m^3)	Basınç Dayanım Değeri (N/mm^2)	Kuruma Büzülmesi (%)	Rutubet Genleşmesi (%)
K0	0.00	616	5,75	0,126	0,086
K1	0.05	610	5,79	0,101	0,057
K2	0.08	604	5,84	0,092	0,047
K3	0.11	600	5,92	0,089	0,041
K4	0.15	596	5,99	0,074	0,034
K5	0.18	591	6,02	0,061	0,026

Hafif agregalı kâgir blok elemanları TS EN 771-3 standardının [9] öngördüğü prensiplere göre üretilmekte ve teknik olarak irdelenmektedir. TS EN 771-3 standardı irdelendiğinde, kâgir elemanın basınç dayanım değeri için sınır değer olarak kabul edilecek bir dayanım değerinin öngörülmediği görülmektedir. Ancak, güncel uygulamalar ve saha koşulları da dikkate alındığında taşıyıcı olmayan kâgir blok elemanlarının minimum 1,5 N/mm²'lik dayanım değerini sağlaması tecrübe edinilmiştir. Kâgir blok elemanda bu dayanım değerinin sağlanabilmesi için, blok tasarımı ve boyutlandırmasına da bağlı olmak koşuluyla blok üretiminde kullanılacak kuru karışım hafif beton harcının minimum basınç dayanımı 2,75 N/mm² ve üzerinde olması arzu edilmektedir. 28 gün kür sonrası etüv kurusu tüm pomza agregalı hafif beton örneklerinin A/Ç ve K/Ç oran değişimleri bağlamında Şekil 1 – Şekil 2’de verilen istatistiksel yaklaşımlar elde edilmiştir.

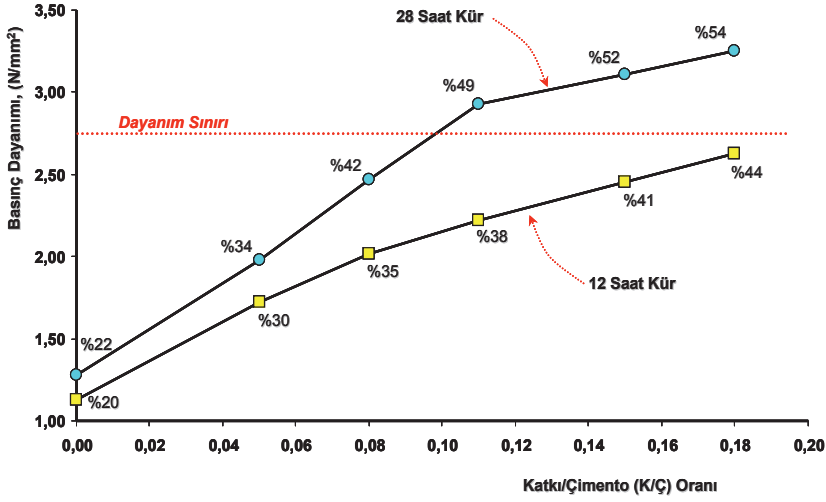


Şekil 1. Katkı/Çimento (K/Ç) oranı - etüv kurusu yoğunluk değeri ilişkisi (28 gün kür sonrası).



Şekil 2. Katkı/Çimento (K/Ç) oranı - basınç dayanım değeri ilişkisi (28 gün kür sonrası).

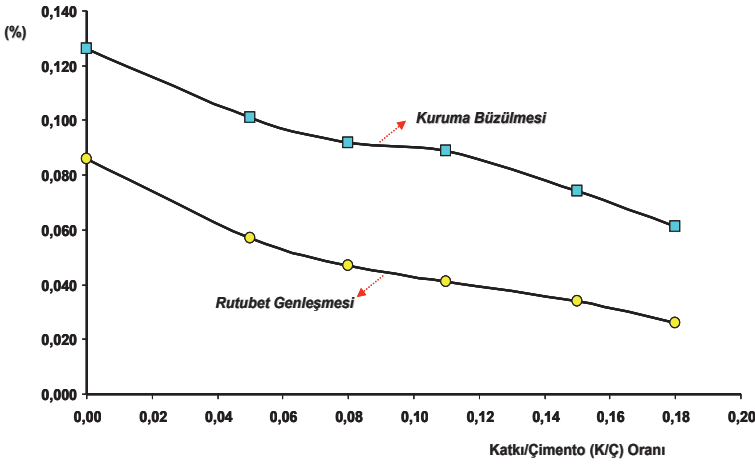
Şekil 1 irdelendiğinde görüldüğü gibi, pomza agregalı ve yeni nesil katkı kullanımıyla hazırlanan hafif beton örneklerinin 28 gün kür sonrası etüv kurusu birim hacim kütle değerlerinin tamamı 900 kg/m³ değerinin altında olup, hafif kâgir blok harcı olarak kullanılabilecek özellik göstermektedir. Bununla birlikte, çimentoya ikame yeni nesil katkı kullanım oranı arttıkça, düşük oran değişimlerinde de olsa harcın yoğunluk değerinde bir düşme eğilimi sergilediği gözlenmektedir. Bu değişim, katkı kullanım oranının artmasına paralel olarak azalan çimento dozajının bir sonucu olarak yorumlanabilir. Diğer taraftan, Şekil 2 irdelendiğinde ise, grafiksel analizde de görüldüğü gibi kâgir blok üretimi için yeterli dayanım değerinin (2.75 N/mm²) kolaylıkla sağlayabildiği tespit edilmiştir. Yeni nesil katkı maddesinin kullanılmadığı kontrol harcı K0 kodlu karışımda elde edilen basınç dayanım değeri 5.72 N/mm² iken, en yüksek katkı kullanım oranında ise bu değer %5.25'lik dayanım artışı ile 6.02 N/mm²'lik değere yükseldiği görülmektedir. Karışım kombinasyonlarında çimentoya ikame olarak yeni nesil katkı oranı arttıkça, lineer bir trendle örneklerin basınç dayanım değerlerinde oluşan artış, çalışmada önemsenen ve beklenen bir sonucu oluşturmaktadır. Bu dayanım değişiminin detaylarını irdelemek amacıyla, her bir test karışımına ait test örneklerinin, erken yaşlardaki mukavemet değerleri açısından teknik değerlerini analiz etmek ayrı bir anlam taşımaktadır. Bu bağlamda, test örneklerinin hazırlanmasından 12 saat ve 24 saat normal ortam kürü sonrası, basınç dayanım değerlerindeki değişim Şekil 3'de analiz edilmiştir.



Şekil 3. Katkı/Çimento (K/Ç) oranı - basınç dayanım değeri – kür süresi ilişkisi.

Şekil 3 irdelendiğinde açıkça görüleceği üzere, kür süresine bağlı olarak hafif kâgir harcı karışımlarının kullanılan K/Ç oran değişiminde dayanım kazanma olgusu artış eğilimi göstermektedir. Özellikle kontrol karışımının 12 saat kür sonrası dayanım değeri 1.12 N/mm² iken, bu mukavemet değeri ile 28 gün kür sonrası nihai mukavemet değerinin ancak %20'ine ulaşılabildiği görülmektedir. Bu mukavemet erişiminin 24 saat kür sonrası %22'lik bir değere ulaşılabildiği görülmektedir. Bu değerler, blok harcının arzu edilen mukavemet değerine ulaşmak için yeter düzeyde olmadığını da temsil etmektedir. Diğer bir deyişle, her iki kür süresinde de öngörüleebilecek dayanım açısından arzu edilen değere ulaşamamıştır. Çimentoya ikame olarak yeni nesil katkı malzemesi ilave edildikçe erken yaşlarda önemli ölçekte mukavemet değerlerinde de iyileşmenin olduğu görülmektedir. Örneğin 0.15 K/Ç oranının uygulandığı test örneklerinde 12 saat kür sonrası dayanım değeri 2.45 N/mm² iken, bu mukavemet değeri ile 28 gün kür sonrası nihai mukavemet değerinin %41'ine ulaşılabildiği görülmektedir. Diğer taraftan, bu mukavemet erişiminin 24 saat kür sonrası 3.11 N/mm²'lik bir dayanım değeri ile 28 gün kür sonrası nihai mukavemet değerinin %52'lik bir değere ulaşılabildiği görülmektedir. Yapılan tüm test örneklerinde 12 saat kür sonrası kâgir blok üretimi için öngörüleebilecek nihai yeterli basınç dayanımı değeri sağlamaz olduğu görülür iken, K/Ç oranının 0.90

değeri ve üzerinde çimentoya ikame olarak yeni nesil katkı kullanımıyla bu öngörülen dayanım değerinin kolaylıkla sağlanabildiği görülmektedir. Bu değişimde teknik olarak yeni nesil katkı üretiminde kullanılmış olan kalsine alunit miktarı, susuz kalsiyum sülfat ve kalsiyum formiyat ve lityum karbonat karışım kombinasyonun etkisiyle, Portland çimentosunun ilk kür yaşlarında dayanım değerinin artış eğilimi sergilediği, kür şartlarına da bağlı olmak koşuluyla 24 saat sonundaki dayanım artışı %60-110 dolayında artmaktadır. Bu tür yeni nesil katkı karışım kombinasyonlu üretilen hafif betonlarda, ilk günlerde dayanımdaki hızlı artış sebebiyle ürünün stok alanına alma süresi, dolayısıyla üretim süresi de kısalmaktadır. Ancak, 28 gün sonra dayanımda katkı kullanım oranına bağlı çok önemli bir dayanım artışı gözlenmez. Bir diğer gözlenen teknik husus ise, yeni nesil katkı maddesi bünyesindeki alunit oranına bağlı, hafif harçta sertleşme sırasında bir genleşme meydana gelebilmekte ve bu genleşme, test örneklerinin ilk 36 saatlik periyodu içerisinde ortalama %0.07 – 0.11 aralığında gerçekleştiği gözlenmiştir. Kâgir blok üretimi için bu genleşme değeri ihmal edilebilecek büyüklük arz etmektedir. Portland çimentosuna yüksek oranlarda alunit katılmış betonların sülfatlı sulara karşı katkısız olanlara göre daha dayanıklı olduğu ve bunun nedeninin alunit katkı betonda hidrasyon esnasında CaHSA bileşiğinin oluşmasından ileri geldiği belirtilmektedir [10]. Hafif beton harcı analizlerinde önemsenen diğer parametrik bir irdeleme ise *kuruma büzülmesi* ve *rutubet genleşmesi*'dir. Bu her iki olgunun toplam değeri TS EN 772-14'e göre "*toplam rutubet hareketi*" olarak da adlandırılmaktadır [11]. Hazırlanmış taze betonun içerisindeki suyun bir miktarı, betonun yerleştirilmiş olduğu kalıplar veya kalıba doldurulurken uygulanan basınç ve vibrasyon etkisiyle bünyeden kaybolabilmektedir. Gözenekli agregalardan elde edilmiş hafif beton örneklerinde kür süresince agrega gözeneklerinde kısmen veya tamamen doygun olarak bulunan suyun bu şekilde kaybı nedeniyle plastik bir davranış modeliyle büzülme meydana gelebilmektedir. Bu duruma genellikle kuruma büzülmesi de denilmektedir. Kuru karışım formunda hazırlanan hafif beton harçlarında bu özelliğin sergilenmesi çok arzu edilmez. Bu çalışma kapsamında hazırlanan hafif beton örneklerinin kuruma büzülmesi ve rutubet genleşmesi değerleri ayrı ayrı analiz edilmiş olup, Şekil 4'de verilen grafiksel ilişki elde edilmiştir.



Şekil 4. Katkı/Çimento (K/Ç) oranı - rutubet hareketi ilişkisi.

Hafif beton örneklerinin toplam rutubet hareketi irdelendiğinde, K/Ç oranı arttıkça her iki kuruma büzülmesi ve rutubet genleşmesi hareketinin de azaldığı görülmektedir. Hafif beton örnekleri için eşdeğer K/Ç oranında kuruma büzülmesi değerinin rutubet genleşmesi değerinden daha büyük olduğu tecrübe edinilmiştir. Ancak, toplam rutubet hareketi miktarının tüm hafif beton örneklerinde %1'in altında olduğu ve dolayısıyla rötre olarak da tanımlanan büzülme olgusunun kabul edilebilen teknik değerler arasında kaldığı görülmüştür. Diğer bir yaklaşımla, kalıptan yerleştirilme sonrası çıkarılmış preslenmiş olan taze betonda, çimento ve su arasındaki reaksiyonların devam edebilmesi için, genellikle yeterli miktarda su bulunması gerekmektedir. Ancak betonun içerisindeki suyun önemli bir miktarının vibrasyon-basınç ve ortam sıcaklığı vb. gibi bir nedenle fazlaca kaybolması durumunda, kapiler boşluklardaki rölatif buhar basıncı azalmakta ve hidrasyon işlevi yavaşlamaktadır. Böylece kapiler boşluklardaki su azalarak bir süre sonra hidrasyonun devam edebilmesi için yeterli su bulunamamaktadır. Bu olgu da kısmen bir büzülmeye imkân sağlamakta ancak, hidrasyon büzülmesi olarak da irdelenen bu değer miktarı ihmal edilebilecek kadar küçük değerlerde olmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmanın bulgularına göre hafif agregalı kâgir blok üretimlerinde kullanılabilir, inorganik yeni nesil bir katkı maddesinin erken mukavemet sağlama performansı analiz edilmiştir. Geliştirilen yeni nesil katkının, hafif beton karışımlarında çimento dozajına ikame olarak kullanımının arzu edilen basınç dayanımı değerlerini yeter ölçekte sağlayabildiği görülmüştür. Bu katkı kullanımı ile birim zamanda kâgir blok üretim kapasitesinin artırılacağı öngörülebilmektedir.

KAYNAKLAR

1. [Gündüz L.](#), İnşaat Sektöründe Bimsblok, 928 sayfa, 2005, Isparta.
2. [Pekmezci B. Y.](#), ve Atahan H. N., “Kimyasal ve Nano Katkılar: Betonda Kullanımı ve Beton Performansına Etkileri”, Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, 2013, İstanbul
3. ACI 212.3R-10, “Report on Chemical Admixtures for Concrete”, American Concrete Institute, 65p., 2010.
4. Gülensoy H., Şengil İ.A., “Alunit cevheri oluşumu ve bulunuşu hakkında”, Kimya ve Sanayi, 31, 157-158, 116-131, 1989.
5. Mikhailov V.V., Litver S.L., Belina M.İ., et.al., “Alunite Stressing Cement” Obraztsy, Tovarnye Znaki, 51, 45, 62, (USSR), 1974.
6. Kalsiyum Formiyat, 2017, Erişim: www.kalsiyumformiyat.com/urun-kategori/10-yapi-kimyasallari.html.
7. Lityum Karbonat, 2017, Erişim: https://tr.wikipedia.org/wiki/Lityum_karbonat.
8. Anhidrit, 2017, Erişim: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Anhidrit>.
9. [TS EN 771-3](#), Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 3: Beton kâgir birimler (yoğun ve hafif agregalı), 29 sayfa, 2011, Ankara.
10. Gabadadze T.G., Nergadze N.G., “Stability of Alunitic Expanding and Stressing Cements of Corrosive Media”, Tsement, 8, 18-19, 1972.
11. [TS EN 772-14](#), Kâgir birimler - Deney metotları - Bölüm 14: Beton ve sun’î taş kâgir birimlerin rutubet hareketinin tayini, 9 sayfa, 2004, Ankara.

DONMA-ÇÖZÜLMEME MARUZ KALAN MİNERAL ve ANTİFRİZ KATKILI HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Fatma, KARAGÖL

Yrd.Doç.Dr.

Atatürk Üniversitesi

Erzurum, Türkiye

Rıza, POLAT

Yrd.Doç.Dr.

Atatürk Üniversitesi

Erzurum, Türkiye

Yeşim, TOSUN

Arş.Gör.

Atatürk Üniversitesi

Erzurum, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada silis dumanı, uçucu kül ve organik tuz esaslı suda çözünebilen antifriz katkıları kullanılarak üretilen harçların basınç dayanımı, ultrasonik geçiş hızı, hidrasyon ısı, birim hacim ağırlık ve su emme özellikleri araştırılmıştır. Çalışmada, toplam bağlayıcı ağırlığının % 10'u oranında uçucu kül, %10 silis dumanı ve %1 oranında iki farklı antifriz katkı kullanılmıştır. Üretilen karışımlar 28 gün su kürü, 28 gün donma-çözülme (12 saat -10°C-12 saat +20°C) ve taze halde 1 gün donma-çözülme tabii tutulmuşlardır. Kullanılan katkıların tiplerine ve oranlarına göre kür şartları da göz önüne alınarak, deney sonuçlarındaki elde edilen farklılıklar kendi içlerinde ve katkısız üretilen referans grubuyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. 28 donma-çözülme çevriminden sonra, sadece antifriz katkı kullanılan grupların dayanımları diğer karışımlardan daha yüksektir. Donma-çözülme maruz kalan mineral katkı gruplarında ise uçucu kül basınç dayanımına negatif etki yapmıştır. Donma-çözülme neticesinde referans grubuna göre silis dumanı ve antifriz katkının beraber kullanıldığı grupların basınç dayanımlarında artış gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mineral katkı, antifriz katkı, donma-çözülme, hidrasyon ısı,

THE INVESTIGATION OF PROPERTIES OF MORTARS WITH MINERAL AND ANTIFREEZE ADDITIVES EXPOSED TO FREEZE-THAW

ABSTRACT

In this study, the compressive strength, ultrasonic pulse velocity, hydration heat, unit volume weight and water absorption properties of mortars produced by using silica fume, fly ash and organic salt based water-soluble antifreeze admixtures were investigated. %10 fly ash, %10 silica fume and %1 antifreeze admixtures (two different admixtures) of the total binder weight were used. The prepared mixtures exposed to 28 days' water curing, 28 days' freeze-thaw (12 hours at -10°C and 12 hours at +20°C) and 1-day freeze-thaw in fresh state. Considering the curing conditions, according to the types and ratios of the additives, the test results were evaluated within themselves and compared with the reference group produced without the additive. After 28 freeze-thaw cycles, the compressive strengths of groups that contain the antifreeze additives are higher than the other groups. In the groups with mineral additions exposed to freeze-thaw, fly ash has a negative effect on the compressive strength. After the freeze-thaw cycles, the compressive strengths of the groups that contain silica fume and antifreeze additive are higher than the reference group.

Keywords: Mineral additions, antifreeze admixture, freeze-thaw, hydration heat.

GİRİŞ

İnşaat sektörünün en temel malzemesi olarak kaliteli bir beton, çimento, su, agrega ve gerektiğinde mineral ve kimyasal katkı malzemelerin karıştırılması ve uygun sıcaklık ve nem ortamında kür edilmesi ile üretilmektedir.Çimento ve su arasındaki reaksiyonların gerçekleşebilmesi için kür sıcaklığının optimum 15-16°C arasında olması gerekir. Soğuk hava beton priz süresinin uzamasına neden olduğu için betonun dayanım kazanma hızı düşer ve doğal olarak kalıp alma süresi de uzamaktadır. ACI 306R-10'agöre, art arda üç günlük ortalama sıcaklık +5°C'nin altına düştüğünde beton dökümü için ek önlemler alınmalıdır(1). Eğer beton taze halde bir defa donma-çözölmeye maruz kalırsa nihai dayanımın yaklaşık %20-40'ını kaybetmektedir. Donma-çözölmenin meydana geldiği çevre şartları ve betonun boşluk yapısı betonun durabilitesini önemli ölçüde etkiler. Standart kür uygulanan betonla karşılaştırıldığında donma-çözölmeye maruz kalan taze beton durabilitesinin %40-60'ını ve beton ve donatı arasındaki aderansın %70'ini kaybeder(2). ACI 306R-10'a göre çimento esaslı materyallerin minimum 3.5 MPa basınç dayanımına ulaşana kadar donma-çözölmeden korunmalıdır. Ayrıca suya doygun taze beton 27.58 MPa basınç dayanımına ulaşmadan donma-çözölme döngülerine maruz kalmamalıdır (3).Soğuk havada bu dayanım değerlerine hiçbir harici koruma olmaksızın ulaşılabilmesi amacıyla,çimento ve su arasındaki reaksiyonların gerçekleşebilmesi için betondaki mevcut suyun donmasını engelleyen, betonun priz almasını sağlayan veya priz süresini kısaltan ve donma neticesinde artan su hacmi için hava boşluğu sağlayan kimyasal katkılar kullanılmaktadır.Antifriz katkılar, soğuk havada beton içindeki sıvı çözeltinin donma noktasını düşürmek amacıyla karışım suyuna eklenen kimyasal katkılardır. Kalsiyum klorit, kalsiyum nitrat ve kalsiyum nitrit en yaygın bilinen ve kullanılan antifriz katkılardır (4-5). Soğuk havada dökülen beton özelliklerine kalsiyum nitrat gibi antifrizlerin etkisi onun ötektik noktası ile ilişkilidir. Eğer katkının ötektik noktası maruz kaldığı sıcaklıktan daha düşük ise suyun donma noktasını düşürerek donmayı engelleyecektir. Ötektik nokta kullanılan malzemenin içeriğine bağlı olarak değişir. Örneğin saf kalsiyum nitratın %35'lik çözeltisinin donma noktası -16°C'dir (4-5-6).

Diğer taraftankimyasal katkıların yanında mineral katkıların kullanımıylaçimento üretimi için harcanan enerji tüketimini azalacak, atık maddelerin değerlendirilmesi ile çevre kirliliği azalacak ve atıkların

saklanması kullanılan enerjinin tasarrufu sağlanmış olacaktır (7-8). Geçirimsizlik üzerinde olumlu etkiye sahip, alüminli ve silisli yapıdaki ince taneli puzolanik malzemelerden olan uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD), kalsiyum hidroksit ve su ile reaksiyona girerek, Portlandçimentosundaki hidratasyon reaksiyonu sonucu oluşan C-S-H jellerinin oluşmasını sağlarlar ve bağlayıcı özelliğe kazandırır (9). UK'nın erken dayanımı saf Portland çimentosuna göre daha düşüktür ancak küresel yapısı sayesinde işlenebilirliğe olan pozitif etkisi neticesinde su/çimento (s/ç) oranı daha düşük beton üretilmektedir ve 28. günden sonra oluşan ikincil puzolanik reaksiyon ile nihai dayanımına olumlu etki yapmaktadır. Silis dumanı silikon metali veya silikonlu metal alaşımı üreten fabrikalarının bir yan ürünü olup, günümüzde beton ve çimento katkısı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (10). Silis dumanı çok ince taneli olması ve yüksek oranda SiO_2 içermesi nedeni ile puzolanik reaksiyonların çok erken yaşlarda başlamasına neden olmaktadır (11). Silis dumanının beton içindeki davranışı fiziko-kimyasaldır. Bu davranışın fiziksel kısmı çimento hamuru matrisindeki, özellikle de agrega-çimento arayüzeyindeki, boşluk sisteminin boyutunun küçültülmesidir. Kimyasal kısım ise zayıf kalsiyum-hidroksit (kireç) kristallerini kalsiyum-silikat-hidrateye dönüştüren puzolanik reaksiyondan oluşmaktadır. (12-13).

AMAÇ

Bu çalışmada amaç, mineral katkı olarak UK ve SD ile antifriz katkıların bir arada değişen oranlarda kullanılması sonucunda harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimlerin kür şartları da dikkate alınarak değerlendirilmesi ve karşılaştırılmasıdır.

Materyal ve Yöntem

Materyal

Bu çalışmada Ezurum Aşkale Çimento Sanayi T.A.Ş. tarafından üretilmiş olan Portland çimentosu (CEM I 42.5R) ve dere agregası kullanılmıştır. Filler malzeme olarak toplam agrega ağırlığının %5'i oranında mermer tozu kullanılmıştır. Çimentonun özgül ağırlığı 3.13 g/cm^3 'tür. Kullanılan çimento SD ve UK'nın özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. CEM I 42.5, SD ve UK'nın kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Kompozisyon	CEM I 42.5R(%)	SD (%)	UK (%)
Toplam SiO ₂	18.72	93.4	53.69
Çözünmeyen Kalıntı	0.95	-	-
Al ₂ O ₃	4.54	0.30	20.29
Fe ₂ O ₃	3.43	0.35	11.83
CaO	62.25	0.38	3.40
MgO	3.34	0.85	4.09
SO ₃	2.98	-	0.99
Kızdırma Kaybı	3.24	4.45	2.01
Na ₂ O	0.19	-	-
K ₂ O	0.68	-	2.53
Cl-	0.0098	-	-
Toplam	100	-	-
Serbest CaO	0.78		

Fiziksel Karakteristikler				
Özgöl Yüzey (Blaine) (cm ² /g)		3812	-	4020
Özgöl Ağırlık (g/cm ³)		3.13	-	1.98
Basınç Dayanımı (MPa)	2. gün	25.7		
	28. gün	57.9		

Hazırlanan harç numunelerinin kum/bağlayıcı oranı 2.75 olup, s/b oranı 0.50 alınmıştır. SD ve UK kullanılan karışımlarda mineral katkı oranı toplam bağlayıcı miktarının %10'u kadardır. CHRYSO firmasından temin edilen kalsiyum nitrat esaslı antifriz katkıları AH5 ve AH50 ise toplam bağlayıcı miktarının %1'i kadar kullanılmıştır. AH5 ve AH50 katkılarının özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. AH5 ve AH50 teknik özellikleri

Özellikler	AH5	AH50
Yoğunluk (g/cm ³)	1.240 ± 0.03	1.350 ± 0.03
Renk	Kahverengi	Kahverengi
pH	6.00 ± 1	6.50 ± 1
Çözünmeyen kalıntı	30.00 ± % 5	40.00 ± % 5
Klorit miktarı	<%0.1	<%0.1
Alkali Miktarı	<%2	<%8

Yöntem

Sadece çimento içeren referans grubu (Ç), çimento+SD (Ç-SD), çimento+UK(Ç-UK), çimento+AH5 (ÇAH5), çimento+AH50 (ÇAH50), çimento+SD+AH5(ÇAH5-SD), çimento+AH50+SD(ÇAH50-SD), çimento+AH5+UK(ÇAH5-UK), çimento+AH50+UK(ÇAH50-UK) olmak üzere toplamda 9 farklı grup üretilmiştir. Bu numuneler üzerinde basınç dayanımı, ultrasonik geçiş hızı (UPV), hidratasyon ısı, birim hacim ağırlık ve su emme deneyleri yapılmıştır. Hidratasyon ısı deneyi TS EN 196-9 standardına ve yarı adyabatik yöntemle göre yapılmıştır. Bu standart kapsamında sabit hacimde deney numunesi hazırlanarak 48 saatlik hidratasyon ısı sonuçları değerlendirilmiştir (14). Hidratasyon ısı deneyi harc fazının dökülür dökülmez standartta verilen süre içinde kalorimetreye yerleştirilmesi ve hidratasyon reaksiyonu esnasında açığa çıkan ısının referans numunesiyle karşılaştırılmasına dayanmaktadır.

Basınç dayanım testi için dökülen numuneler üzerinde teste tabi tutulmadan önce su emme ve UPV (ASTM C597 standardına göre) deneyleri yapılmıştır (15). Basınç dayanım testleri; 28 gün su kürü, 1 donma-çözülme+1 gün lab+26 gün su kürü ve 28 donma-çözülme olmak üzere üç farklı kür şartı için gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanım testi ASTM C109/C109M'e göre yapılmıştır (16). Deneyler için numuneler hazırlanırken önce su ve bağlayıcı malzemeler mikserde 1 dakika orta hızlı karıştırma işlemine tabi tutulmuş, sonra 0-2 mm ve 2-4 mm kum ve mermer tozu sırasıyla %67.5, %27.5 ve %5 oranlarında eklenerek 1 dakika orta hızlı karıştırma işlemine devam edilmiş ve son olarak 3 dakika yüksek hızlı karıştırma işlemi uygulanarak, toplamda 5 dakikalık hazırlama aşaması tamamlanmıştır. Yağlanan 5x5x5 cm ebatlı küp kalıplara numuneler dökülmüş ve donma-çözülme testi uygulanacak numuneler üretilir üretilmez donduruculara yerleştirilmişlerdir. 28 gün donma-çözülme uygulanan numunelerin kalıpları 12 saatlik -10°C'deki donma sürecinden sonra çıkarılmış ve 12 saat boyunca +20°C'de çevresel sıcaklığa maruz bırakılmışlardır. Daha sonra tekrar donduruculara yerleştirilmişlerdir. Bu numunelere 28 defa -10°C (12 saat) ve +20°C (12 saat) çevresel sıcaklık değişimi için donma-çözülme çevrimi uygulanmıştır. Su küründeki numuneler ise 1 gün laboratuvar ortamında bekletildikten sonra kalıplarından çıkarılarak standart su kürüne yerleştirilmişler ve 28 gün sonra basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Ayrıca 1 donma-çözülme çevrimine maruz kalan numuneler dondurucudan çıkarılarak kalıpları sökülmüş ve 1 gün laboratuvar ortamında bekletilerek 28. Güne kadar standart su kürüne tabi tutulmuşlardır. Karışımların hangi süreyle hangi kür ortamına maruz bırakıldığı Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Donma-çözülme uygulanan numuneler için kür şartları

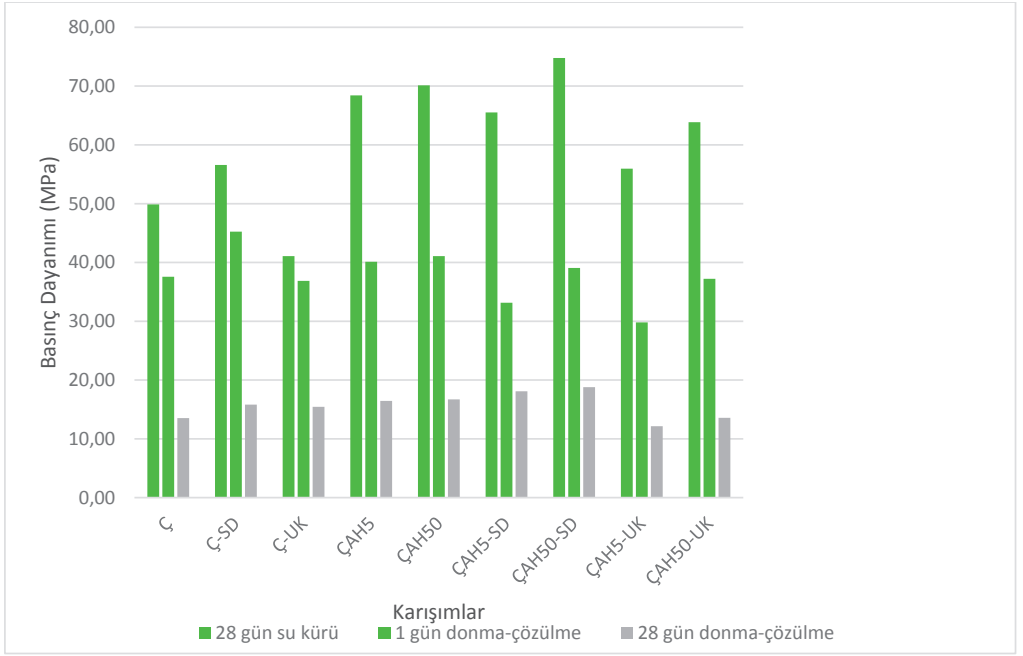
Karışımlar	-10°C (12 saat)/ +20°C (12 saat) Çevrim sayısı (gün)	Standart su kürü (gün)	1 gün laboratuvar ortamı (gün)
Ç (Su kürü)	1	26	1
Ç (Donma-Çözülme)	28/28	-	1
Ç-SD (su kürü)	1	26	1
Ç-SD (Donma-Çözülme)	28/28	-	1
Ç-UK (Donma-Çözülme)	1	26	1
Ç-UK(su kürü)	28/28	-	1
ÇAH5 (Su kürü)	1	26	1
ÇAH5 (Donma-Çözülme)	28/28	-	1
ÇAH50 (Su kürü)	1	26	1
ÇAH50 (Donma-Çözülme)	28/28	-	1
ÇAH5-SD (Su kürü)	1	26	1
ÇAH5-SD (Donma-Çözülme)	28/28	-	1
ÇAH50-SD (Su kürü)	1	26	1
ÇAH50-SD (Donma-Çözülme)	28/28	-	1
ÇAH5-UK (Su kürü)	1	26	1
ÇAH5-UK (Donma-Çözülme)	28/28	-	1

ÇAH50-UK (Su kürü)	1	26	1
ÇAH50-UK (Donma-Çözülme)	28/28	-	1

Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Basınç Dayanımı

Şekil 1’de su küründeki SD içeren karışımların basınç dayanımlarının referans karışımının dayanımından çok daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Basınç dayanım sonuçları incelendiğinde su küründeki karışımlar için en yüksek basınç dayanımı 74.78 MPa olup AH50 ve SD’nin birlikte kullanıldığı karışıma aittir. SD’nin Ca(OH)_2 ile gösterdiği puzolanik reaksiyon sonucunda kalsiyum silika hidrat (CSH) ve kalsiyum alüminat hidratlar oluşur. UK kullanımı ise referans numunesiyle kıyaslandığında basınç dayanımında düşüşe neden olmuştur. Genellikle düşük kireç ihtiva eden UK içeren karışımların erken yaştaki basınç dayanımları referans karışıma göre daha düşüktür (17). UK antifrizlerle beraber kullanıldığında elde edilen basınç dayanımlarının referans numunesinden daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Örneğin ÇAH5-UK karışımının basınç dayanımında referans numunesine göre yaklaşık %12.19’luk bir artış gözlenirken, ÇAH50-UK karışımının basınç dayanımı referans numunesine göre %28.03 artmıştır. Priz hızlandırıcı özellikteki antifrizler, UK’nın erken dayanımı üzerinde olumlu etkiye neden olmuşlardır.



Şekil 1. 28 günlük basınç dayanım sonuçları (MPa)

Taze halde 1 donma-çözülme çevrimine maruz kalan numunelerin basınç dayanımlarında su küründe elde edilen değerlere göre düşüş gözlenmiştir. Ancak UK içeren grupların basınç dayanımlarındaki düşüş diğer gruplara göre daha fazladır. Örneğin aynı şartlardaki referans numunesine göre ÇAH5-UK ve ÇAH50-UK gruplarının basınç dayanımlarında oluşan düşüş miktarları sırasıyla % 20.66 ve %0.93'tür. Görüldüğü gibi AH50 kullanılan karışımlara ait basınç dayanımları referans numunesinden genellikle daha yüksektir. AH5 ise tek başına kullanıldığında referans numunesine göre daha yüksek basınç dayanımına sahip iken, SD ve UK ile birlikte kullanıldığında basınç dayanımında referans numunesine göre sırasıyla % 11.76 ve %20.65'lik düşüş meydana gelmektedir.

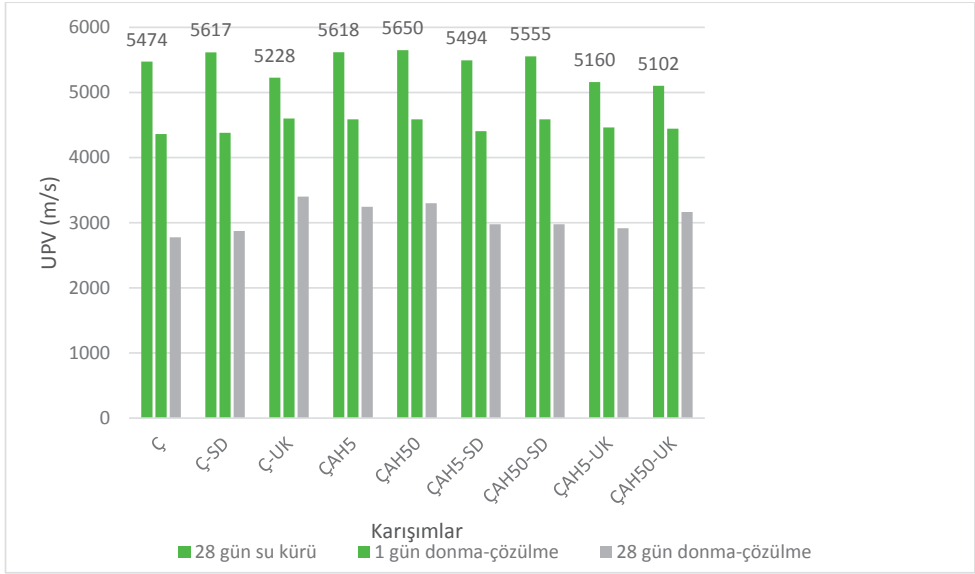
SD ve UK çimentodan daha ince oldukları için kılcal boşlukları dolduracak ve geçirimsizliği artıracaktır. SD çimento matrisinin porozite ve geçirimliliğini azaltarak betonun durabilitesini geliştirecektir. SD kullanılan karışımların kohezyonu Portland çimentosu kullanılan hamurdan daha yüksek olup

ayrışmaya daha dayanıklıdır (18-19).SD ve CH arasındaki puzolanik reaksiyon hızı sıcaklık artışıyla büyük ölçüde artmaktadır (20). Dolayısıyla kür sıcaklığı düştüğünde reaksiyon hızı da yavaşlayacak ve -10 °C gibi düşük bir sıcaklıkta harç basınç dayanımı da azalacaktır. Ayrıca donma neticesinde puzolanik katkının Ca(OH)_2 ile reaksiyona girerek CSH jel yapısını oluşturması için ihtiyaç duyulan su miktarının temini zorlaştığı için puzolanik reaksiyonlar ertelenebilir. 28 donma-çözülme neticesinde su küründeki numunelere göre genel olarak basınç dayanımlarında ciddi bir düşüş meydana gelmiştir. Ancak aynı kür şartlarındaki referans numunesinin basınç dayanımından daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. 28 donma-çözülme neticesinde, en yüksek dayanım 18,80 MPa olup ÇAH50-SD karışımına aittir. Bu değer referans numunesinin dayanımından %33.78 daha yüksektir. Burada dikkati çeken bir diğer konu SD ile antifriz katkıları arasındaki etkileşimin olumlu olması ve yalnızca antifriz kullanılan karışımlardan basınç dayanımlarının daha yüksek olmasıdır. Ancak UK ile antifriz katkıları arasındaki etkileşim olumsuz yönde seyretmiştir.

UPV

UPV test yöntemi bir materyalin içyapısında herhangi bir çatlak, hasar, bozulma veya süreksizlik durumunu tespit etmek için kullanılan tahribatsız deney yöntemlerinden birisidir. Bu yöntem bir materyalin iki zıt ucu arasındaki transdüserler arasında ultrasonik geçiş hızının ölçümüne dayanmaktadır (21).Ölçüm yapılan numunenin iki ucu arasında UPV değerlerindeki azalma içyapıda herhangi bir tahribat veya boşluk ve çatlak gibi bir süreksizliğin göstergesidir (21). Bu süreksizlikler aynı zamanda basınç dayanımında da düşüşe neden olabilir. Portland çimentosunun hidratasyonu sonucunda farklı hidratlar oluşur. CSH jel yapısı bunlardan en önemlisidir ve bu jel yapısının hacmi hidratasyon ilerledikçe büyümektedir. Oluşan jel parçacıkları diğer jel parçacıkları veya hidratlara bağlanmakta ve böylece katı faz hacmi artarken geçirimsizlik azalmaktadır. Azalan geçirimsizliğin sonucunda UPV değerleri azalmaktadır (22).

Şekil 2 incelendiğinde, 28 günlük su küründeki karışımlar için en düşük UPV değeri 5000 m/s'nin üzerindedir. SD ve antifriz içeren karışımlar ise en yüksek UPV değerlerine sahiptir. Görüldüğü gibi UPV sonuçları basınç dayanım sonuçları ile paraleldir.



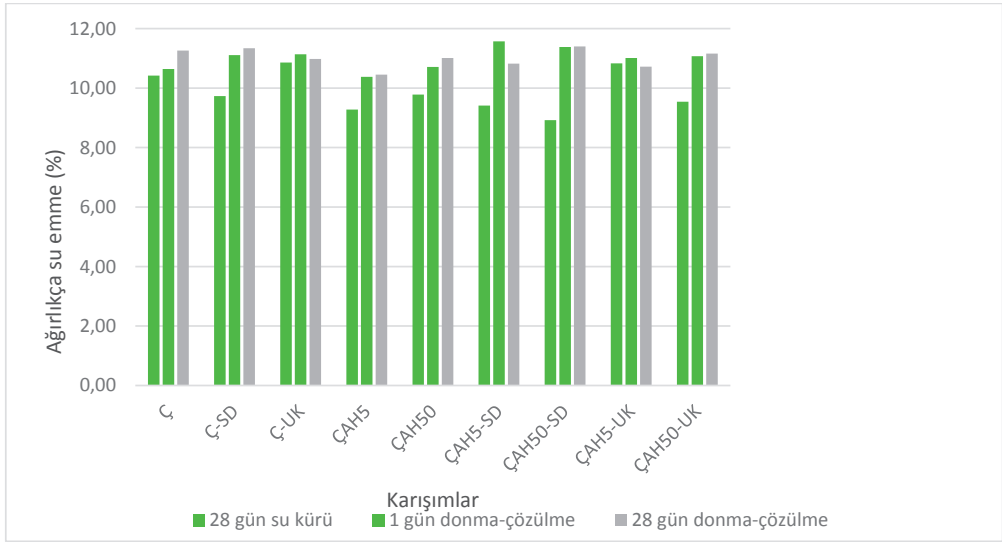
Şekil 2. UPV sonuçları (m/s)

28 donma-çözülme neticesinde bütün gruplarda ölçülen UPV değerleri 3500 m/s'nin altındadır. Ancak SD, UK veya antifriz katkılı gruplarda elde edilen ölçümler referans grubundan daha yüksektir. Bu durum basınç dayanımları ile de paralel olup, donma-çözülme neticesinde numunelerin zarar gördüğünün de kanıtıdır. Donma-çözülme ile numunelerin içyapısında boşluklar, çatlaklar ve süreksizlikler meydana gelmiş olabilir.

Ağırlıkça Su Emme

Şekil 3 incelendiğinde, ağırlıkça su emme değerlerinin basınç dayanımları ile paralellik göstermediği anlaşılmaktadır. Ağırlıkça su emme değerleri arttıkça basınç dayanımları azalmıştır. 28 donma-

çözülme neticesinde AH5 içeren karışımların su emme değerleri referans karışımından daha düşüktür. AH50 içeren karışımların değerleri referans grubuna daha yakındır.



Şekil 3. Ağırlıkça su emmedeğerleri (%)

Birim Hacim Ağırlık

Tablo 4’te karışımlara ait birim hacim ağırlıklar verilmiştir. Genel olarak birim hacim ağırlık deney sonuçlarından elde edilen verilere göre sadece çimento kullanılan referans karışımın birim hacim ağırlığı diğer karışımların birim hacim ağırlıklarından daha yüksektir. SDve UK eklendiğinde referans numunesine göre birim hacim ağırlıkta düşüş gözlenmiştir.

Tablo 4. Bütün gruplara ait birim hacim ağırlıklar

Gruplar	Birim hacim ağırlık (g/cm ³)
Ç	2,29
Ç-SD	2,25
Ç-UK	2,24
ÇA5	2,25
ÇA50	2,27
ÇA5-SD	2,27
ÇA50-SD	2,29
ÇA5-UK	2,25
ÇA50-UK	2,26

Antifriz katkılı karışımlarda ise AH50 ve SD'nin birlikte kullanıldığı karışımın birim hacim ağırlığı referans numunesiyle aynıdır. AH5, AH50 ve UK katkılarının işlenebilirlik üzerindeki olumlu etkileri neticesinde, artan işlenebilirlikle beraber küresel hidrofil yapıdaki UK tanecikleri etrafındaki su filmi tanecikler arasında bir boşluk meydana getirmekte ve böylece birim hacimdeki ağırlık azalmaktadır.

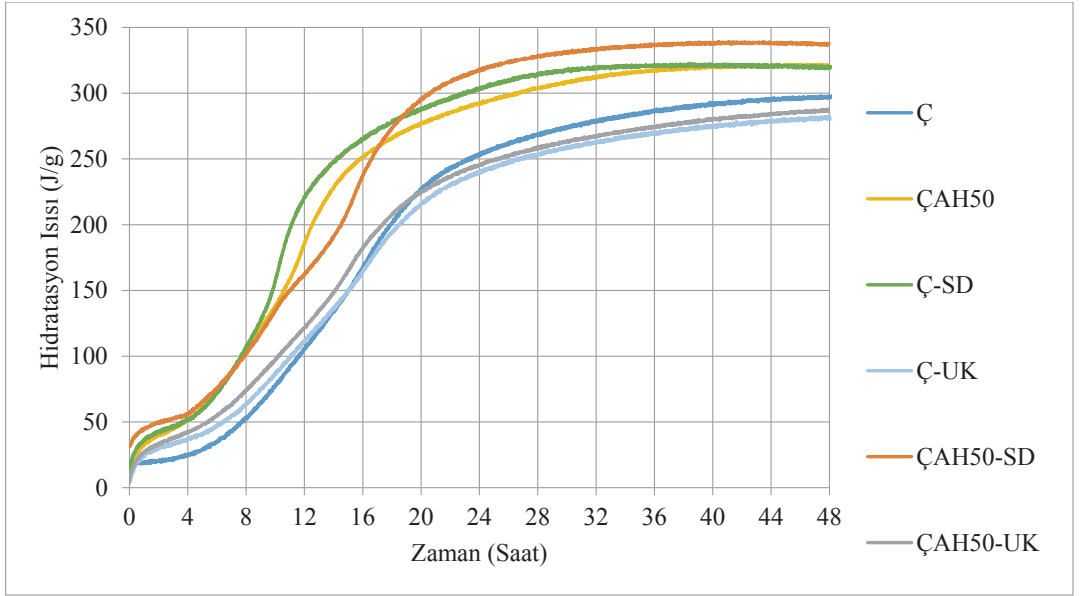
Hidratasyon Isısı

Genel olarak düşük kireç ihtiva eden UK, çimentonun belli bir miktarı yerine kullanıldığında priz süresini uzatır (23). Ancak bu durum kür şartları, katkı miktarı, antifrizler gibi kimyasal katkı kullanılıp kullanılmadığı, UK'nın inceliği, tipi gibi şartlara bağlı olarak değişebilir. Bu çalışmada kullanılan UK'nın CaO miktarının %10'dan az olması ve SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ miktarının %85,81 olup ASTM C 618-15'e (24) göre %70 üzerinde olması nedeniyle F sınıfı (düşük kireçli) UK sınıfına girmektedir. Bu sınıftaki hidrofil

yapıdaki UK tanecikleri, hidrofob yapılı malzemelere göre hidrasyon için daha fazla suya ihtiyaç göstermektedir. Hidrofil yapı priz süresini kısaltırken hidrofobik yapı ise uzatmaktadır (25). UK tanecikleri daha fazla bağlayıcı yüzey alanının ortaya çıkmasına yol açarak bağlayıcı hidrasyonunu artırır ve böylece daha yoğun bir matris yapısı oluşmasını sağlar. Ayrıca karışım suyunun daha homojen dağılmasını sağlayarak hidrasyonu kolaylaştırır (26-27).

UK içeren her iki karışımın da hidrasyon ısısı yaklaşık ilk 19 saatte referans karışımından daha yüksektir. UK taneciklerinin yüzeyinden çıkan Ca^{2+} iyonları sayesinde C_3S 'in ayrışmasını kolaylaştırması sebebiyle ilk 4 saatte meydana gelen ısı artışı muhtemelen alit hidrasyonundan kaynaklanabilir (23). Ancak daha sonraki zamanlarda meydana gelen artış, UK ile $Ca(OH)_2$ arasındaki puzolanik reaksiyon neticesindedaha fazla kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat hidratlar oluşmasıyla paralel olabilir. Ayrıca hidrofil yapıdaki UK ilk etapta priz süresini kısaltırken bu süreçte hidrasyon ısısında da bir artış meydana getirmiş olabilir. 20. Saatten sonra ilerleyen süreçte UK içeren karışımların hidrasyon ısılarında düşüş gözlenmiştir. Bu durum UK'nın hidrasyon için daha fazla suya ihtiyaç duyması ve daha düşük kireç ihtivasi ile açıklanabilir.

Silis dumanı yüksek yüzey alanı nedeniyle alitin (C_3S) hidrasyonunu hızlandırır (28). Alite ait başlangıçtaki ısı değişimi aktif silisin mevcudiyetinde yoğunlaşmaktadır (18). Dolayısıyla ilk 4 saatte meydana gelen ısı artışı alitin reaksiyonuna dayandırılabilir. Bu süreçte en yüksek ısı ÇAH50-SD karışımına aittir. Bu durum hem SD'nin varlığında alitin hidrasyon artışından hem de AH50 katkısının hidrasyon üzerindeki olumlu etkisi ve priz hızlandırıcı etkisinden kaynaklanabilir. Hidrasyon ısısı deney sonuçları incelendiğinde SD içeren karışımların hidrasyon ısılarının referans numuneden daha yüksek olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4. Hidratasyon ısıları sonuçları

SONUÇ

- Standart su küründe, sadece UK içeren karışım hariç bütün karışımların basınç dayanımları referans karışımın basınç dayanımından daha yüksektir. UK ve SD antifriz katkılarıyla birlikte kullanıldığında basınç dayanımları yükselmiştir ve en yüksek dayanım değeri ÇAH50-SD karışımına aittir.
- Donma-çözülme çevriminden sonra basınç dayanımları incelendiğinde, su küründeki karışımlara göre düşüş olduğu gözlenmektedir. 1 donma-çözülme sonucunda elde edilen veriler, taze betonun donma-çözülme çevrimine maruz kalmadan ulaşması gereken minimum basınç dayanımından (27.58 MPa) daha yüksektir. 28 günlük donma-çözülme çevrimi sonrası

antifriz ve SD'nin birlikte kullanıldığı karışımların basınç dayanımları referans karışımın basınç dayanımından %33.78 yüksektir. UPV sonuçları ve basınç dayanımları arasında paralellik mevcut olup en düşük veriler 28 donma-çözülme çevrimi sonrası elde edilmiştir.

- Ağırlıkça su emme değerleri ve basınç dayanımları arasında paralellik bulunmamaktadır. UK ve antifriz katkıların işlenebilirlik üzerinde olumlu etkilere sahip olduğu gözlenmiştir ve daha akıcı bir kıvama sahip karışımlar elde edilmiştir. Kullanılan UK kireç oranı düşük ancak Al_2O_3 oranı yüksek ve hidrofil yapıdadır ve etrafındaki su filmi, harcın daha akıcı olmasına ve hacim artışına neden olmaktadır.
- 48 saat sonunda en yüksek hidratasyon ısısı ÇAH50-SD karışımına aittir. Bu durum hem SD'nin varlığında alitin hidratasyon artışından hem de AH50 katkısının hidratasyon üzerindeki olumlu etkisi ve priz hızlandırıcı etkisinden kaynaklanabilir. UK içeren grupların gerek yüksek Al_2O_3 miktarından gerekse yüksek özgül yüzey alanından dolayı ilk 19 saatte hidratasyon ısısı referans numunenin hidratasyon ısısından daha yüksektir. Ayrıca ilerleyen süreçte hidrofil yapıda ve düşük kireç ihtiva eden UK tanecikleri hidratasyon için daha fazla suya ihtiyaç duymakta ve hidratasyon yavaşlamaktadır. Bu çalışmadan sonra farklı s/b oranları ile daha yüksek puzolanik katkı ve daha yüksek antifriz oranları çalışılabilir. Farklı kür süreleri ile uzun vadedemeydana gelebilecek etkileşimler ve içyapı ve agrega ile bağlayıcı faz ara yüzey özellikleri de dikkate alınarak çalışılabilir.

KAYNAKLAR

1. ACI Committee 306 and ACI 306R-10. Cold Weather Concreting. Detroit, Michigan: American Concrete Institute; 2002.
2. Karagöl. F., Demirboğa. R., Khushefati W.H., "Behavior of fresh and hardened concretes with antifreeze admixtures in deep-freeze low temperatures and exterior winter conditions," Construction and Building Materials, Volume 76, 1 February 2015, pp 388-395.
3. Polat. R., "The effect of antifreeze additives on fresh concrete subjected to freezing and thawing cycles," Cold Regions Science and Technology Volume 127, July 2016, pp 10-17.
4. Karagöl. F., Demirboğa. R., Kaygusuz. M.A., Yadollahi. M.M., Polat. R., " The influence of calcium nitrate as antifreeze admixture on the compressive strength of concrete exposed to low temperatures," Cold Regions Science and Technology Vol. 89, 2013, pp 30-35.
5. Ramachandran. V.S., 1995. Concrete Admixtures Handbook, Second edition. pp. 740-756.
6. Demirboğa. R., Karagöl. F., Polat. R., Kaygusuz. M.A., "The effects of urea on strength gaining of fresh concrete under the cold weather conditions," Construction and Building Materials, Vol 64, 2014, pp. 114-120.
7. Özyıldırım. C., and Halstead. W. J., "Improved Concrete Quality with Combinations of Fly ash and Silica Fume," ACI Materials Journal, Vol. 91, No. 6, 1994, pp 587-594.
8. Güneyisi. E., Özturan. T., and Gesoğlu. M., " Laboratory Investigation of Chloride Permeability for High Performance Concrete Containing Fly ash and Silica Fume," Proceeding of the International Conference, Challenges of Concrete Construction, 2002, Scotland, pp 295-305.
9. Erdoğan. Y.T., "Atık Malzemelerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu," Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, 18-19 Kasım 1993, 1-8.ss
10. Erdoğan, T.Y., 2003, Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
11. Çark. A., ve Sümer. M., "Değişik Kür Şartlarında Silis Dumanı Kullanımının Betonun Mukavemetine Etkisi. Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar," 4. Ulusal Beton Kongresi, 30 Ekim-1 Kasım (1996), İstanbul, 267-277.ss.

12. Tautanji. A.H., Bayasi. Z., "Effect of curing procedures on properties of silica fume concrete," Cement and Concrete Research, Vol. 29 (4), 1999, pp 497-501.
13. Özturan. T., "Uluslararası IV. Betonda Uçucu Kül, Silis Dumanı, Curuf ve Doğal Puzolanların Kullanımı Konferansının Değerlendirilmesi," Endüstriyel Katı Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, 18-19 Kasım 1993, Bildiriler Kitabı, 57-78 ss.
14. Türk Standartları, Çimento deney yöntemleri - Bölüm 9: Hidratasyon ısısı - Yarı adyabatik yöntem (TS EN 196-9), 2011, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. 17 sayfa.
15. ASTM C597, 2009. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
16. ASTM C109 / C109M, 2016. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
17. ACI 232.2R-03, "Use of Fly Ash in Concrete," 2003, pp 41.
18. ACI 234R-06: "Guide for the Use of Silica Fume in Concrete," 1996 (Reapproved 2012), pp 50-55.
19. Atış. C.D., Özcan. F., Kılıç A., Karahan. O., Bilim. C., Severcan. M.H., "Influence of dry and wet curing conditions on compressive strength of silica fume concrete," Building and Environment, Volume 40, Issue 12, December 2005, pp 1678-1683.
20. Kurbus, B., Bakula, F., and Gabrousek, R., , "Reactivity of SiO₂ Fume from Ferrosilicon Production with Ca(OH)₂ Under Hydrothermal Conditions," Cement and Concrete Research. V. 15, No. 1, 1985, pp. 134-140.
21. AbdiOmer. S., Demirboğa. R., Khushefati. W.H., "Relationship between compressive strength and UPV of GGBFS based geopolymer mortars exposed to elevated temperatures Sharmarke," Construction and Building Materials, Volume 94, 30 September 2015, pp 189-195.
22. Genovés. V., Vargas. F., Gosalbez. J., Carrion. A., Borrachero. M.V., Paya. J., "Ultrasonic and impact spectroscopy monitoring on internal sulphate attack of cement-based materials," Materials&Design, Vol 125, July 2017, pp. 46-54.

23. Tokyay. M., "Betonda UK, GYFC ve SD'nin Rolü: Mevcut Bilgi Birikimi," Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, mtokyay@metu.edu.tr., ss 1-21.
24. ASTM, (2015). "Standard specifications for fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as mineral admixture in Portland cement concrete", ASTM C 618-15, Philadelphia, USA.
25. Malhotra, V. M., Ramachandran, V. S., Feldman, R. F. and Aitcin, P. C., "Condensed Silica Fume in Concrete," 1987 CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 221 pp.
26. Monteiro, P. J. M., and Mehta, P. K., "Improvement of the Aggregate-Cement Paste Transition Zone by Grain Refinement of Hydration Products," Proceedings, 8th International Congress on the Chemistry of Cement, Rio de Janeiro, 1986, V. 111, pp. 433-437.
27. Dorum. A., Yılmaz. B., Koçak. Y. ve Uçar. A., "Puzolan Yüzey Özelliklerinin Çimento Harçlarının Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, " e-Journal of New World Sciences Academy ISSN:1306-3111, Volume: 5, Number: 2, Article Number: 1A0096, 5, (2), 2010, pp 448-462.
28. Kurdowski, W., and Nocun-Wczelik, W., "The Tricalcium Silicate Hydration in the Presence of Active Silica," 1983, Cement and Concrete Research, V. 13, No. 3, pp. 341-348.

GEVŞEK YAPI ZEMİNLERİNİN VE ZAYIF YAPILARIN KO-POLİMER - UÇUCU KÜL İLE ÇİMENTOLANMASI VE GÜÇLENDİRİLMESİ- ŞIRNAK KENTSEL DÖNÜŞÜM YAPILANDIRMA

Yıldırım İsmail TOSUN

Yrd.Doç.Dr.

Şırnak Üniversitesi

Şırnak, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada çeşitli oranlarda polimer ilavesi yapılan çimentolanmış kompozit zemin dayanımları irdelenmiştir. % 0,2-0,8 Poli akrilamid ve poli propilen PP kopolimerli çimento bulamacıyla 150 gr/lt, 42M sınıf HSR çimento ile, 459 dev / dakika hızla blenderde 1000 g deiyonize su ile 2,5 dk karıştırıldı ve sonuç olarak su-çimento oranı 0,8 olan bir 1.97 g/cm³ yoğunlukta çimento bulamaç ile ve kompozit polimerli bloklar elde edilmiştir. Şırnak ilinin ve Cizre ilçesinin çeşitli semtlerindeki potansiyel ve aktif heyelan sahalarının, jeoteknik açıdan incelemesi ve duraylılık analizleri yapılmıştır. Çalışma alanı ve çevresindeki 3 km² lik bir alanından alınan örselenmiş 1-3m derinlikteki numuneler enjeksiyon deneyleri ve kompozit blok malzemelerin jeoteknik özellikleri test edilerek aşınma ve don ve basma dayanımı olarak belirlenmiştir.Üretilen hafif beton blokların dayanımları 7,2 den 18,4 MPa dağılmıştır. Blok agregaların macun ile Modifiye darbe shatter dayanım değerleri de kritik edilmiştir. Böylelikle en ideal sıkı paketlenme ile bu blok agregalar ve cüruf karışımlarından üretilen macunlu blokların dayanımları da 17,3-19,2 MPa çıkabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kopolimer güçlendirme, Uçucu kül kompozit, Zemin güçlendirme, Mikro çimentolama, polimer sağlamlaştırma

CO-POLYMER-FLY ASH CEMENTING FOR WEAK FOUNDATIONS AND WEAK CONSTRUCTIONS THE CASE FOR ŞIRNAK URBAN RECONSTRUCTION

ABSTRACT

In this study, cemented composite soil strengths were investigated by adding polymer in various proportions by weight. 0.2-0.8% Polyacrylamide and polypropylene PP were mixed with a cement slurry of 150 gr / l, 42M class HSR cement at a rate of 459 rpm for 2.5 min with 1000 g of deionized water in a blender, resulting in a water-cement a cement slurry with a density of 1.97 g / cm & It; 3 & gt ;, and composite polymer blocks were obtained. Potential and active landslide areas in various districts of Sirnak province and Cizre district were analyzed. The specimens 1-3m deep from the 3 km² area of the study area and surrounding area were determined as corrosion and frost resistance by testing the geotechnical properties of injection tests and composite block materials. The strengths of the lightweight concrete blocks were dispersed to 7.2 -18.4 MPa. The modulus impact shatter resistance values of the block aggregates are also critical. Thus, with the ideal tight packing, the strength of the mixed blocks produced from these block aggregates and slag mixtures can also reach 17.3-19.2 MPa.

Keywords: Copolymer strengthening, Fly ash composite, Soil strengthening, Micro cementation, Polymer strengthening

GİRİŞ

Mağaraların kalker taş duvarlarının ısınma ve soğumasıyla oluşan çatlaklar ve gözenekli taş aşınması iklim şartlarına bağlı olarak kayaç dayanımı etkilenmektedir. Bu nedenle yörede yaygın olarak Mardin Taşı, Kalker Taşları yapı malzemesi olarak tarihi mekanlar da halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Hatta Hasankeyf ilçesindeki tarihi mağaralarda ilkel bir odun ateşinin isı ile karartılarak muhafazası bir tür geleneksel adet kılınmaktadır. Yörede bu yöntem mağaraların sağlamlaştırılmasında yaygın olarak tercih edildiği dillerde bir ilkel yöntem gibi söylenmektedir.

Doğada yörede yaygın olarak mağara kayaç gurubunu teşkil eden, çok geniş kalker taşı yayılımı özellikle Siirt, Şırnak, Mardin ve Diyarbakır yöresinde 130-280 m kalınlığında binlerce km² lik geniş bir alana yayılmıştır. Kimyasal olarak alkali karbonatları, tuzları ve silikatları da içermektedir.

Eski yapıların restorasyonun da ve de uzun süreli tarihi eserlerin korunmasında nemlenmeyi engelleyici mikro granülle çimentolama yöntemi geliştirilerek eserlerin korunması amaçlanmıştır. Böylelikle tarihi yapıda oluşan leke ve kılcal çatlaklar kapatılarak maksimum korunması gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca Asitlere karşı dayanımı da arttırılmıştır. Yöresel Mardin taşının kalker yapı malzemesi olması ve bölgede bol miktarda bulunması nedeniyle binlerce yıldır yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Yaklaşık 9000 yıllık geçmişi ile camiler, hanlar, hamamlar, medreseler, evler ve yollarda ana malzeme olarak Mardin taşı kullanılmıştır. Mardin taşının fiziksel, kimyasal, dokusal özellikleri gözenek ve hafifliği ile yapılan macun derzleşmede başarılı sonuçlar üretebilmektedir. Bu tip renk orijinliği korucuyu karışımlara yer verilerek yöredeki eski eserlerin, yapı mekânların korunması ve restorasyonu önemli olmaktadır. Cizre Abdaliye Medresesi ve Kalesi gibi yapıların taş dolgu macunlanması önem taşımaktadır (Şekil 1)

Doğal dolgu tozu üretiminde yerel ucuz doğal kayaçlarını değerlendirilmesi ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Yapı malzemesi şartnamelerini sağlayan en uygun hafif macun dolgu tozu üretilmelidir. Dolgu tozu tesislerinin tasarımı, kırıcı, elek ve öğütücü seçimi önemli olmaktadır (Park vd. 2005, Moulia ve Khelafib, 2008). Taş ocaklarında tras, tüf, volkanik cüruf ve pomza gibi formasyonlar hafif agrega üretimini olanak sağlar (Doel, 2007). Dayanımı zayıf dolgu tozu üretimi derzleşmeyi olumsuz etkiler (Piora ve Piora, 2004, Szilagyi ve Terec, 2013). Gözenekli dolgu tozu üretimi kayacın türü dokusu ve mikro yapısıyla ilgili olmaktadır.

İnşaat sektöründe kırma taş üretimi, (asfalt mıcır, beton, yol malzemesi vs.) genellikle çekiçli ve darbeli kırıcılar ile gerçekleştirilmektedir. Bu tip kırıcılarda tozlanma daha yüksek oranda olmasına rağmen tane şekli bakımından avantajlı köşeli tane oluşumunu sağlamaktadır. Macun dolgu malzemesi üretiminde ince tane üretimi gerekir. Bu tane şekli ve gözenekliliği çimento ile karışımdaki derzin su emme miktarını etkilemektedir.

Kalker türündeki agregalar genellikle alkali kimyasal nitelikte oldukları için sulu asidik atık veya asidik çözeltilerle kısmen çözülebilmektedir. Genelde gözenekli



Şekil 1 Cizre Abdaliye Medresesi

Duvarları

halde olan toz cüruf, kireçtaşı, tuf, şeyl, sleyt gibi orta sert kayaların gözenekleri gelişebilmektedir. Makro ve mikro gözenekler kimyasal asit ile etkileşimin derecesine bağlıdır ve yağmur asidik suları gibi çözeltiler etkili olabilmektedir. Bu asit etkileşim tekniği ile irdelenbilmektedir. Kimyasal çözeltinin etkileşim süreci gözenek yapısını etkiler. Howard ve Datta kimyasal öğütmenin birçok avantaja sahip olduğu belirlemiştir(Howard ve Datta, 1976, Howard vd., 1977). Tosun kimyasal etkileşimin çimento hammaddelerinin yapısını etkilediğini ve yararlı olduğunu belirlemiştir (Tosun, 2014).

Şırnak ilinin kalker, gözenekli kalker, marn, şeyl, türü hafif agregalar dayanım ve sertlik özelliklerine bağlı heterojen yapılar içermektedir.

Gözenekli kalker, kalker, marn, şeyl oluşan 5 adet yerel hafif agrega numunesi bu çalışmada kimyasal etkileşime tutulmuştur. Bu çalışmada iki kademeli kırma, eleme işlemine tabi tutulmuştur. Sekonder ve tersiyer olarak adlandırılan bu çekiçli kırma sistemleri sonucunda malzeme nihai eleklerden geçirilerek istenilen 40mm altındaki boyutlarda ASTM C330 standardına uygun olarak sınıflandırılarak dolgu toz üretiminin son aşaması tamamlanmıştır.

Marn ve marnlı kalkerin düşük gözenekli yapılarından dolayı özellikle hafif agrega olarak kullanımı mümkün değildir (Gündüz vd., 1998) ancak bu çalışma kapsamında kimyasal etkileşime dirençli hale getirilerek değerlendirilebilirliği incelenmiştir.

Bu çalışmada temel olarak 5x5x5cm küp marn ve marnlı kalker numuneleri laboratuvar koşulları altında nokta yükleme dayanımı ve tek eksenli basınç dayanımı testlerine tabi tutulmuştur. Makro, mikro yapısal ve mineralojik incelemeler yapılmıştır.

Hafif agreganın gözenekli yapısından ötürü darbe dayanımını belirlemek için modifiye bir darbe shatter testi uygulanmıştır.

ASTM C330 standardına uygun olarak No4, No200 eleklerden elenerek numuneler ayrılmış, her biri $\sqrt{2}$ serisine göre elenerek boyut dağılımları Gaudin Schuman ve RRS e göre belirlenmiştir. Maksimum paketlenme yoğunluğundan yararlanarak numuneler hazırlanmıştır.

Hazır macun karışımının yaklaşık olarak ağırlıkça % 90-95'lik, hacimce ise % 80-85'lik bölümünü hafif macun tozu oluşturmaktadır. Macun dolgu tipi, gözenekliliği, tane şekil yapısı, gradasyonu gibi özellikleri kullanımını etkilemektedir. Kimyasal etkileşimle yarı hafif agregası üretimini olanak sağlayan Şırnak ili kazan taban cürufu %50 ağırlık oranında (yaklaşık %75-80 hacim oranında katılarak macun üretilmiştir. Macun üretiminde kullanılacak kayaç tozundan aranan özellikler esas olarak düşük yoğunluk ve yüksek gözenekli dayanım olmaktadır.

ŞIRNAK İLİ TAŞ OCAĞI KALKERİ ve MADEN ATIĞI KAYAÇLARIN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Şırnak ili ve çevresinde yol yapımında kullanılan ve kullanılabilecek agregası sahalarının başlıca çeşitli bölgelerde ve kömür ocaklarında bulunmaktadır:

Altere Kalker (Şırnak Merkez), Marnlı Kalker (Şırnak Merkez), Marn (Şırnak Merkez), Cizre Beyaz Gözenekli Kalker (Şırnak Cizre), Kasrik Altere Gözenekli Kalker, Cizre Dere Kalker, Cizre Dere(kalker) Bölgesi, Kömür ocağı atığı Marn ve Şeyl

Kırma taş ocaklarında üretilen agregalar birbirlerine göre farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar özellikle jeolojik yapı ve buna bağlı olarak seçilen işletme yöntemiyle ilgilidir. Şırnak ili kalker ve marnlı beton agregası olarak kullanılabilir niteliktedir. Ancak bu bölgede sağlam bölümlerin kahvemsî-sarı renkli alterasyona uğramış birimlerden oluşmaktadır. Bu bölge agregası üreten ocakların azlığı taşıma maliyeti nedeniyle genellikle beton karışımlarında tercih edilmektedir.

Şırnak ili bölgesinde yer alan yaşlı kalkerler sağlam beton şartnamelerine uygunluk göstermekte ve geniş bir alanda yer aldıklarından büyük rezervlerde bulunmaktadır. Ancak dere kenarları Siirt formasyonu olarak adlandırılan Mesozoik yaşlı kumtaşı - killi şist içerebilmektedir. Daha homojen olmayan bir yapı göstermektedir. Özellikle killi şistlerin üretilen macunun içine karışması dolguların plastisitesi ve gözenek açısından sorun çıkarabilmektedir.

Şırnak ili Kasrik bölgesinde ileri Mesozoik yaşlı kalkerler içerisindeki karstik boşluklar ve marnlı oluşumlar agregası üreticilerinin üzerinde durması gereken en önemli problemdir. Ayrıca bu bölgedeki agregaların %2,7 - %3,1 arasında değişen su emme oranları yapılan karışım tasarımlarında hafif beton üretiminde avantaj sağlar.

Genellikle altere gözenekli kalker, dolomitik kalkerlerin yer aldığı bölgede faylanmalar sonucu oluşan kırıklara yerleşen kırı - çamurlu dolgular, agregası üretim sahalarında yer yer tabaka aralarına, kırık ve çatlaklara yerleşmiş killi çamurlu oluşumlar görülebilmektedir. Hafif agregası üretiminde belirgin gradasyon sorunu oluşturmaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Kimyasal analizler ve parlak kesit İncelemesi

Numunelere ait mineralojik bileşimler Standard kimyasal Ca, Mg ve silika analizleri yardımıyla tespit edilmiştir. Deneylerde kullanılan Şırnak ili çevresinden temsili olarak temin edilmiş kayaların kimyasal bileşimi Çizelge 1 de verilmiştir.

Parlak kesit hazırlanmasından önce akışkan bir sarı renkli epoksi reçine örnekler orta derecede bir vakum ile emdirilmiştir. Bu reçine gözeneklere nüfuz ederek mikroskop altında gözeneklerin daha kolay görünmesini sağlamaktadır. (Şekil 2)



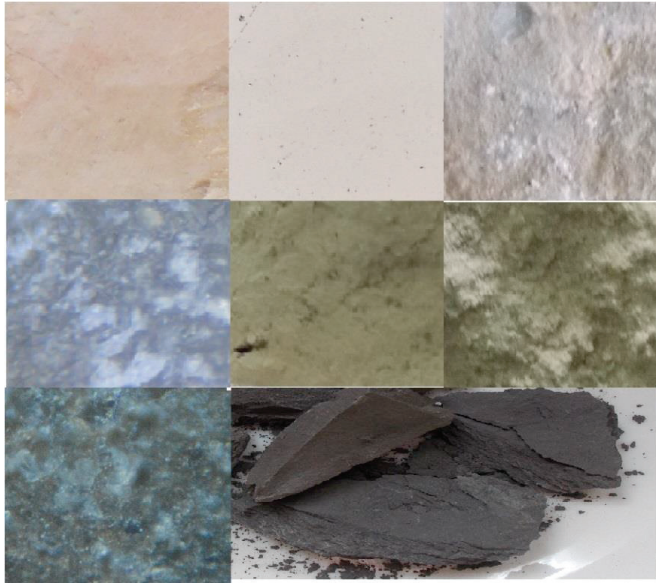
Şekil 2. Macun mikro silisin çatlak içindeki yerleşimi

Kimyasal Etkileşimin Agregata Üzerine Etkileşimi

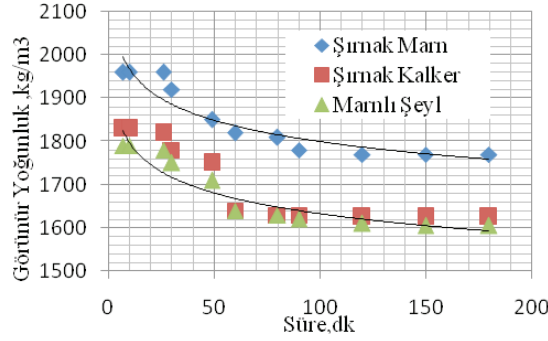
Kimyasal olarak asidik sular ve asidik maden suyu agregalar çözelti olarak gözenekli hale getirilmiştir. Orijinal Agregata tipinin kireçtaşı olan temel kimyasal yapısını bunu mümkün kılmaktadır. Bu amaçla 50-70 oC 1M HCl ve 1M H₂SO₄ asit ile muamelesinde çeşitli macun dolgular üzerinde etkisini değerlendirmek amacıyla farklı tipte agregalar 1-2kg'lık numuneler olarak 20lt asit kaplarında 1,2 ve 3gün bekletilmiştir. Makro görüntüler, Şekil 3 de görülmektedir. Ürünler yıkanarak ağırlık değişimi ve görünür özgül ağırlık ve hesapla gözenek değişimi belirlenmiştir. Kimyasal etkileşime göre görünür 1ltlik kapta agregata görünür özgül ağırlık değişimi Şekil 4 de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Şırnak ili kalker, marn ve şeylin kimyasal analiz değerleri

% Bileşen	Şırnak Kalkeri	Şırnak Marnlı Kalkeri	Şırnak Marnı	Şırnak Gözenekli Kalkeri	Şırnak Şeyl
SiO ₂	3,53	9,42	24,14	2,12	48,53
Al ₂ O ₃	2,23	6,53	12,61	1,71	24,61
Fe ₂ O ₃	0,59	4,48	7,34	0,58	7,59
CaO	49,48	39,23	29,18	45,22	9,48
MgO	2,20	2,28	4,68	7,41	3,28
K ₂ O	0,41	0,53	3,32	0,40	2,51
Na ₂ O	0,35	0,24	1,11	0,21	0,35
Kızd.Kayb	46,19	26,11	21,43	48,04	3,09
SO ₃	0,32	0,21	0,20	0,02	0,32



Şekil 3. Şırnak a Marnı, b Kalkeri ve c,d. Kimyasal etkileşim sonrası agrega görüntüsü

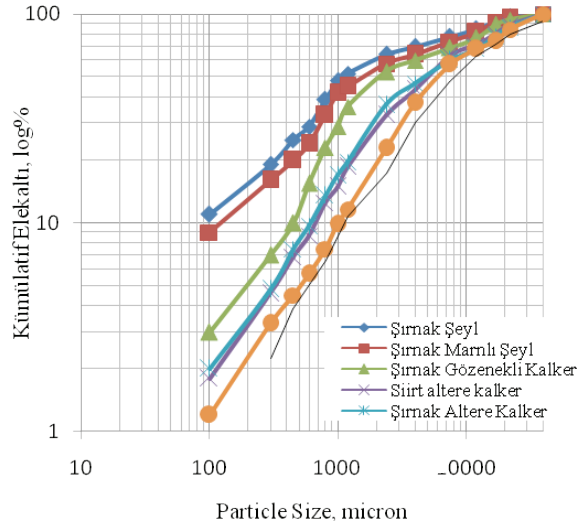


Şekil 4. Şırnak Marn ve Kalker ve Kimyasal etkileşim sonrası görünür özgül ağırlık değişimi

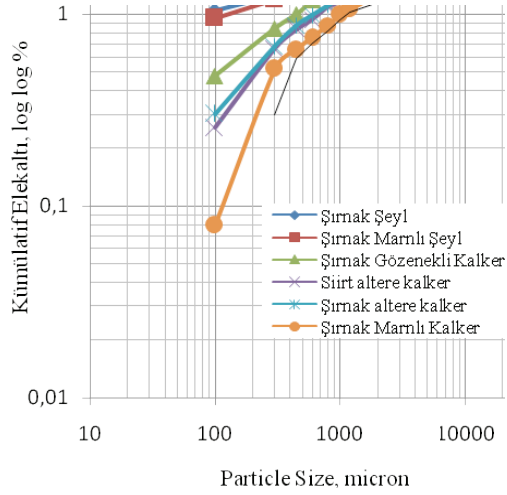
Kimyasal etkileşim sonrasında, gözenekli agrega numuneleri Modifiye Darbe shatter dayanımı için test edilmiştir. Belirli gradasyonlar da hazırlanan ürün blok hafif dayanımlı özellikte elde edilmiştir (Sarı ve Pasamehmetoglu, 2005) ve bu hafif karışımlara farklı miktarlarda çimento bağlayıcı ilave edilerek (Demirdag ve Gündüz, 2008, Gündüz a, b, 2008) hafif beton numuneler üretilmiştir. Kaba birim ağırlık, dolu boşluk, boşluk yüzdesi ve dayanım ilişkileri çıkartılmıştır. Optimum yarı hafif agrega içeriği belirlenmiştir. Macun blok üretiminde bu blok gradasyonları tercih edilmiştir.

Tane boyutu analizleri

Macun dolgu tozları bilyalı değirmen öğütme sonrası yaklaşık 100-50 g lık temsili numuneler olarak 120 dk lık sedimentasyon testine tabi tutulmuştur. Boyut dağılımları Gaudin Schuman ve RRS e göre belirlenmiştir. Test sonuçları Şekil 3 de verilmiştir. Agregaların elek analizleri (ASTM C136). ASTM C330 standardına uygun olarak No4 ve No200 eleklerden elenerek iri ve toz numuneler ayrılmış, her biri $\sqrt[4]{2}$ serisine göre elenerek sonuçları Çizelge 2, de verilmiştir.



Şekil 5. Macun dolguların Gaudin Schumann Tane Boyut Dağılımlarının Değişimi.



Şekil 6. Macun dolgu tozu RRS Tane Boyut Dağılımlarının Değişimi

Bu testler sırasında Gaudin Schuman dağılım indeksi kaba paketlenme gözeneği hafif beton üretimi için irdelenmiştir. Buradaki dağılım oranı log %/mm olarak belirlenmiştir. Bu testlere göre Gaudin Schuman tane boyut yaklaşımının RRS göre daha uygun görünür yoğunluğu sağladığı gözlenmiştir.

Çizelge 2. Macun dolgu Tozlarının Elek Analizi Sonuçları

Agrega	Elek	16	8	4	2,8	1,2	0,4	0,2
Şırnak şeyl	0-5			99	95	76	27	12
	5-15	100	48	0,2				
Şırnak Marnlı şeyl	0-5			99	87	66	21	9
	5-15	100	38	0,2				
Şırnak Gözenekli Kalker	0-5			99	79	60	19	7
	5-15	100	28	0,2				
Siirt Kalker	0-5			99	77	54	17	6
	5-15	100	24	0,0				
Şırnak Kalker	0-5			99	76	52	16	5
	5-15	100	23	0,0				
Şırnak Marnlı Kalker	0-5			99	72	48	11	3
	5-15	100	21	0,0				

10mm maksimum tane boyutundaki tanelerin boşluk oranı 1lt lik kalıpta kaba ağırlık ölçümü ve gözenek % hesapla [v: % Boşluk oranı ile tanelerin % hacim doluluk oranı 1/1+v olarak, gözenek%:1-(1/1+v)] belirlenmiştir.

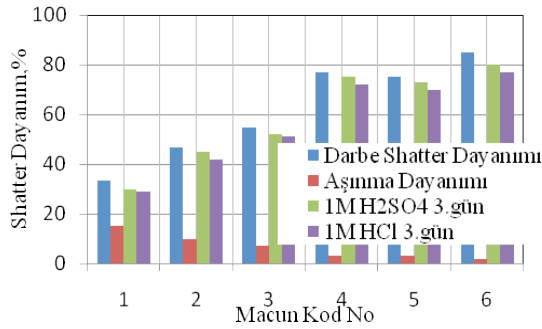
Darbe Dayanım Testleri

Agrega numuneleri basınç dayanımı ve Darbe shatter dayanımı testine tabi tutulmuş ve ezilen ürünün boyut dağılımı ile darbe mekanik dayanım belirlenmiştir (ASTM D6024-07). Sınıflandırılmış agrega numuneleri sabit 5kg luk darbe balyoz ağırlığının $\phi 8\text{cm} \times 50\text{cm}$ kovanda 50cm düşme etkisi ile boyutunun tozlaşması olarak irdelenmiş ve ürün hafif beton numunelerle kıyaslanmıştır. Bu teknolojik uygulamalar ile yerel doğal taşların macun dolgu tozu olarak değerlendirilebilirliği daha da geliştirilebilmektedir. Darbe dayanımı testlerinde 5kg lık balyoz ağırlık 4 kere 50cm yükseklikten 8 cm iç çapındaki çelik kovan içersindeki -40+25mm lik agrega üzerine düşmeye bırakılarak, göreceli olarak daha zayıf 5 mm altı ve 25 mm üzeri ağırlık yüzdesi olarak sert, dayanımı daha yüksek olarak irdelenmiştir. Sonuçlar Şekil 5 de gösterilmiştir.

Tane şekil değiştirmeleri fotoğraf tekniği ile bir üst boyut şekil değiştirmenin olduğu varsayılarak, yakın hacim değişimlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır.

Nokta Yük ve Basınç Dayanım Testleri

Test numuneleri 5x5x5 cm bloklar olarak üretilmiş ve 10 adet numune tek eksenel basınç dayanımı testine ELE markalı preste kırılarak %95 doğruluk oranında belirlenmiştir. Sonuçlar Şekil 6 ve 7 de verilmiştir.



Şekil 7. Darbe dayanımı test sonuçlarının şematik görüntüsü;1. Şırnak Şeyl 2. Şırnak Marnlı Şeyl 3. Şırnak Gözenekli Kalker 4. Şırnak Altere Kalker 5. Siirt Altere Kalker 6. Şırnak Marnlı Kalker

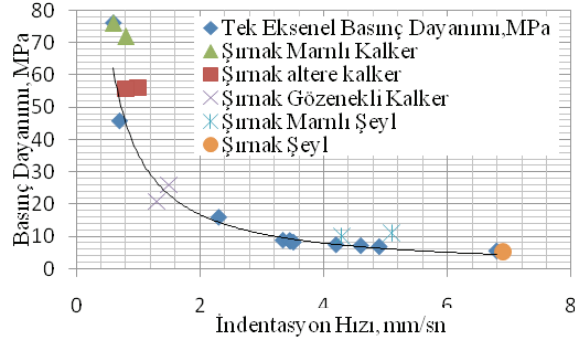
Macun Blok Üretimi

Bu çalışmada, bu taşların 44mikron altına indirilmiş tozu ile %5 ağırlık oranında Antalya ferrokrom tesisi silis dumanı ve %15 Mardin çimentosu CEM IV ile karışım macun hazırlanarak mekanik nitelikleri ve dayanım özellikleri hedeflenmiştir.

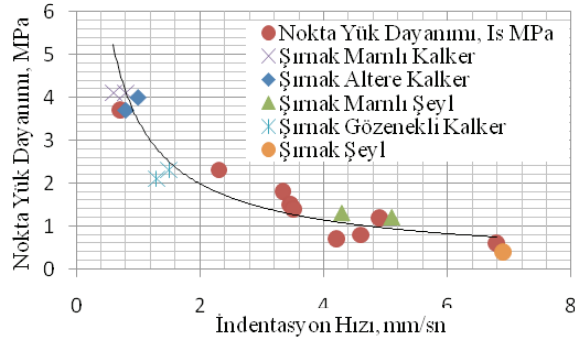
Bu amaçla, yerel kayaların 44mikron altına indirilmiş tozu ile %5 ağırlık oranında Antalya ferrokrom tesisi atığı filitre tozu silis dumanı ve %15 Mardin çimentosu CEM IV ile karışım macun hazırlanarak 10 mm üzeri bu kalker agregalar ile 5x5x5cm lik bloklar üretilmiştir. Bağlayıcı olarak CEM IV 32,5 tipi Mardin Limak çimentosu kullanılmıştır. Su/ Bağlayıcı (S/B) oranı ön deneyler sonucunda 0,50 olmasına karar verilmiştir(TS 802). Her bir seride bağlayıcı miktarının %15 oranında macunlu agregalar üretilmiştir ve 28 günlük kür sonunda basınç dayanımı belirlenmiştir.

Cüruf numuneleri de blok üretiminde dolgu tozu olarakveya agregalar kullanılmıştır (Erdoğan, 2003, Chen ve Liu, 2008, Demirboğa vd., 2001). Gradasyonda TS 706 da verilen sınır değerler arasında kalacak şekilde %50 0–5 mm agregası(%50agrega) , %25 5–10 mm agregası ve %25 macun dolgu tozu olarak ayarlanmıştır. Blokların Tek Eksenli Basınç Dayanımı, Nokta Yükü Dayanımı, Darbe Dayanımı,

Sürtünme İle Aşınma Kaybı, Darbeli Aşınma Kaybı deneyleri, Su Emme deneyleri ile tarihi eserlerin macun derz ile sağlamlaştırılabilme özellikleri incelenmiştir.



Şekil 8. Tek eksenli Basınç Dayanımı test sonuçlarının İndentasyona bağlı değişimi.



Şekil 9. Nokta Yük Basınç Dayanımı test sonuçlarının İndentasyona bağlı değişimi.

BULGULAR VE YORUM

Gözenekli kalker dokusu, kimyasal etkileşim sonucu ve petrografik değişimler Şekil 4’de görülmektedir. Şırnak altere kalkerinin %2,1-3,2 oranında silikat miktarının değiştiği ve gözenek boyutunun 1-3mm makro 50-300 mikron boyutunda mikro gözenek olarak yer aldığı belirlenmiştir. Bu gözenek miktarı Şırnak marnlı kalkerinde %13,4-14,8 silika içeriğinin mikro kristalin yapısında 5-30 mikron boyutunda mikro gözenek olarak bulunmaktadır. Marnlı kalkerde ve marn da kimyasal etkileşimin derecesi silika içeriğine ve mikro kristalin gözenek yapısına bağlı olarak yeterli olmamıştır. Düşük gözenek en büyük nedendir, numunenin gözenek katı kaya dokusu marn bileşenine dayalıdır ve düşük değerdedir.

Şekil 5 ve 6 e göre en ideal gradasyon Gaudin Schumann yaklaşımı ile belirlenebilmektedir. Marnlı kalkerde dağılım faktörü %81 re yükselmiş, Şeyl de ise %45 oranına düşmüştür.

Kimyasal etkileşim süresinin etkisi test edilmiştir. 3 günlük muamelede numunelerin gözenekleri yükselmiştir. Şekil 6'de gösterildiği gibi Darbe shatter dayanım değerleri iki günlük kimyasal asit etkileşiminde yaklaşık % 24 azalmıştır. Gözenek oranı da kalker ve şeyl örneklerinde benzer olmuş % 17 oranında artmıştır. Masif yapılarının orijinal gözenek büyüklüklerinin ve tane yapıların benzemesinden kaynaklanmıştır. Ayrıca şeyl taşı içersindeki kalsit ve dolomit bileşeni bunu sağlamıştır.

Homojen ince taneli yapı dayanımı daha da arttırmıştır. Özellikle Şırnak marnında heterojen silikat bileşen darbe dayanımını yüksek oranda tutmuştur. Şırnak ve Siirt kalkerlerinin silika içeriği az olduğu için yumuşak niteliktedir ve darbe ve aşınma dayanımı daha düşük görülmüştür.

Şekil 5 aşınma dayanımı değerlerini göstermektedir. Kalker numunelerinin içerdiği silikatın miktarına bağlı olarak değişmiştir ve ayrıca mikro yapısal özelliklerine ve gözeneğe de bağlı olarak değişmiştir. Aşınma koşullarına gözenek yoğunluğunun aşınma gelişiminde ve buna bağlı olarak kırılma yüzeylerin oluşmasına ve daha düşük aşınma dayanımı değerlerinin gözlenmesine etken olmuştur.

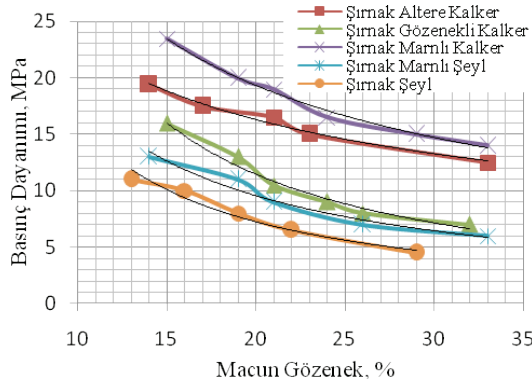
Şırnak marnlı kalker ve marnlı şeyl kayaları aynı tip olmasına rağmen, farklı aşınma ve dayanım özellikleri vardır. Deneysel çalışmalarda, Şırnak kalker, marnlı kalkerinin darbe dayanımları diğer örneklerden daha yüksektir. Bu durumun nedeni, bunların gözenekliliği ve kil dokusudur.

Şekil 8 de görüldüğü gibi tek eksenli basınç dayanımı testlerinde en yüksek dayanım değerlerinin kalkerlerin türüne ve silikat bileşimlerine bağlı olarak 76 – 35 MPa arasında değiştiği tespit edilmiştir. Düşük tek eksenli basınç dayanımı değerine sahip Şeyl gözenek oranı % 5 in üzerine çıkmaktadır. Büyük dayanım değerlerinin elde edildiği Siirt altere kalker, ise % 4'ten fazla silikat fazları gözlenmiştir. Şırnak gözenekli kalker, özellikle yoğunluğu düşük % 3,6 gözenekli matriste 39,3 MPa iken %7,4 gözenekli matriste 34,6 MPa düştüğü belirlenmiştir.

Şekil 8 da farklı gözeneklerde ve kaba yoğunluktaki kalkerlerin basınç dayanımları incelendiğinde benzer değişim gözlenmiştir. Açıkça görüldüğü gibi tek eksenli basınç dayanımı testlerinde gerilme-şekil değiştirme diyagramı incelendiğinde marn ve kalkerlerin yüksek dayanım sergilediği bunun da %0,5-1,8 gözenek miktarından kaynaklandığı görülmektedir.

Şekil 9 nokta yük dayanım değerlerinden de görüldüğü gibi iri taneli yapı, marn matrinden daha zayıf ve daha kırılma olduklarından heterojen sert marn daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir.

Şekil 10 üretilen macunlu blokların dayanım değerlerinden de görüldüğü gibi marnlı yapı, kimyasal etkileşimi ve üretilen hafif beton daha dayanıklı kılınmıştır. Heterojen sert marn daha yüksek gözeneğe ulaşmıştır. Buda altere kalkerde kimyasal etkileşimin doygunlukla durduğunu ve macun blok üretiminde avantajlı olduğunu göstermiştir.



Şekil 10. Macun Blokların Boşluk Oranına Bağlı Tek Eksenli Basınç Dayanımı test sonuçları

SONUÇ

Çimentonun sıkıştırılması, çimento matrisinin gözeneklerinde bulunan gözeneksiz suyun serbest bırakılmasına neden olan gözenek çökmesi gibi hidratlı çimentonun yapısında değişiklikler meydana getirir. Gözeneklerden çıkan su, sulu olmayan çimento parçacıklarının hidratasyonunu hızlandırır ve çimento içindeki çatlaklar ve kırıkların kendiliğinden iyileşmesine yardımcı olur. Sıkışmadan sonra yeni poli akrilik ve propilik asitli oksitlerin çökmesi gözlenmiş ve bu mineraller, hidratlanmamış çimento taneleri ile serbest bırakılmış gözenekli su arasındaki reaksiyonlar sonucu oluşmuştur. Sıkıştırmadan sonra çimento tanelerinin sertliklerinde bir artış da gözlenmiştir. Bu ayrıca, çimentonun sıkıştırılmasının hem kompozit dayanımını hem de taşıma yükü için destek olmuştur.

Taş ocaklarında en azından kalkerin işlenmesi renklere bağlı olarak macun dolgu tozu üretiminde kullanımı ekonomiye yarar sağlayacaktır.

Macun dolguda boşluksuz yapının oluşmasında en büyük dolgu tozu boşluk oranı olmuştur, Özellikle silis dumanı düzenli yüzey teması ve kenetlenmeyi sağlamıştır. Silis dumanı miktarının macun dolguda optimum seviyelerde kullanılması bağlayıcılık açısından son derece önemlidir.

Kimyasal etkileşimde sülfürik asitli çözeltide 2 günlük sürede silikatlı ve silisli bloklar avantajlı dayanım sergilemiştir. Bu nedenle dolgu tozunun silis miktar tuzlanmaya maruz yapıda avantajlı olacağı anlaşılmaktadır.

En ideal sıkı paketlenme ile de macunlu blokların dayanımları da 18-24 MPa çıkabilmektedir.

En yüksek dayanım değerleri ise dolgu tozunun genel dokusu ve mikro yapısal özellikleri tarafından kontrol edilmektedir.

Pomza ve cüruf tozlarında dolgu tozu üretiminde başarılı sonuçlar verebileceği gözlenmiştir. Darbe dayanım değerlerinin macunlu blok dayanımı ile doğrudan ilişkili olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. ASTM C 330, 2013. Standart Specifications For Lightweight Aggregates for Structural Concrete, ASTM, Philadelphia.
2. ASTM C 618, 2013. Standart Specifications For Fly Ash And Raw Or Calcined Natural Pozzolan For Use As Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, ASTM, Philadelphia,.
3. ASTM C 136, 2013. Standard test method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, Pennsylvania.
4. ASTM D6024-07, 2007. Standard test method for Ball Drop on Controlled Low Strength Materials, ASTM, Pennsylvania.
5. Bieniawski, Z.T. 1967. Mechanism of brittle failure of rock Part I - Theory of fracture process. *I. J. of Rock Mech. and Min. Sc. and Geomech. Abstr.* 4: 4, s. 395-406
6. Chen, B., Liu, J., 2008. Experimental Application Of Mineral Admixtures in Lightweight Concrete With High Strength And Workability, *Construction and Building Materials* 22, s. 655–659)
7. Cheng-Yi H, Feldman RF (1985) Hydration reactions in Portland cement– silica fume blend. *Cem Concr Res* 15:585–592
8. Cohen MD, Bentur A (1988) Durability of Portland cement–silica fume pastes in magnesium sulfate and sodium sulfate solutions. *ACI Mater J* 85(3):148–157
9. Demirboğa, R., Orung, I., Gül, R., 2001, Effects of expanded perlite aggregate and mineral admixtures on the compressive strength of low-density concretes. *Cement and Concrete Research*, 31: s.1627–32
10. Demirdag S, Gündüz L , 2008. Strength properties of volcanic slag aggregate lightweight concrete for high performance masonry units. *Construction Building Materials*, 22:s.135–142
11. Gleize PJP, Müller A, Roman HR (2003) Microstructural investigation of a silica fume–cement–lime mortar. *Cem Concr Compos* 25:171–175
12. Grutzeck MW, Atkinson S, Roy Della M (1983) Mechanism of Hydration of condensed silica fume in calcium hydroxide solution, fly ash, silica fume, slag and other mineral by-products in concrete. American Concrete Institute Publication SP-79, Detroit, pp 643–665
13. Gündüz L ,2008. Use of quartet blends containing fly ash, scoria, perlitic pumice and cement to produce cellular hollow lightweight masonry blocks for non-load bearing walls. *Construction Building Materials*, 22, s. 747–754

14. Gündüz, L., 2008. The effects of pumice aggregate/cement ratios on the low-strength concrete properties, *Construction and Building Materials*, 22,5, s721-728
15. Gündüz L, Bekar M, Şapcı N , 2007. Influence of a new type of additive on the performance of polymer-lightweight mortar composites. *Cem Concr Compos* 29:s. 594–602
16. Gündüz, L., Uğur, İ., 2005. The effects of different fine and coarse pumice aggregate/cement ratios on the structural concrete properties without using any admixtures, *Cement and Concrete Research*, 35, 9, s. 1859-1864
17. Gündüz L, Sariisik A, Tozaçan B, Davraz M, Uğur İ, Çankıran O (1998) Pumice technology, vol 1. Süleyman Demirel University, Isparta. pp 275–285
18. Howard, P.H. Datta, R.S., 1977, Chemical Cominution: A Process for Liberating the Mineral matter from Coal, Coal Desulfurization (Ed. T. Wheelock) Washington, ACS Series 64, pp.58-64.
19. Howard, P.H. Datta, R.S., Hanchett, A. 1976, Pre-combustion Coal Cleaning Using Chemical Cominution: NCA/BCR Coal Conference and Expo Coal: Energy for Independence, Lousville.
20. Moulia, M., Khelafib H., 2008. Performance Characteristics Of Lightweight Aggregate Concrete Containing Natural Pozzolan, *Building and Environment* , 43, s. 31–36
21. Park, C. K. Noh, M. H. Park, T. H. , 2005. Rheological Properties Of Cementitious Materials Containing Mineral Admixtures, *Cement And Concrete Research*. s 842-849
22. Piora LS, Piora IL , 2004. Production of expanded-clay aggregate for lightweight concrete from non-selfbloating clays. *Cem Concr Compos* 26:s.639–643
23. Sarı, D., Pasamehmetoglu, A. G., 2005, The effects of gradation and admixture on the pumice lightweight aggregate concrete, *Cement and Concrete Research* , 35, 5, s. 936-942
24. Sellevold, EJ, Nilsen T (1987) Condensed silica fume in concrete: a world review. In: Malhotra VM (ed) Supplementary Cementing Materials for Concrete. CANMET, Ottawa, pp 165–243
25. Simsek, O. 2004. *Beton ve Beton Teknolojisi*. Seçkin Yayıncılık, 1. Baskı, Ankara
26. Szilagyi, H. Terec L., 2013. Bricks recycled aggregates for structural green lightweight concrete, *13th SGEM GeoConference on Nano, Bio And Green Technologies For A Sustainable Future*, www.sgem.org, SGEM2013 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-06-3 / ISSN 1314-2704, s. 375 - 380 doi:10.5593 /sgem 2013/bf6/s26.004
27. Tosun Y.I., 2014, Chemical Activated Grinding of Cement Raw Materials, Proceedings of XIVth International Mineral Processing Symposium, Kuşadası, Turkey

FT-IR SPEKTROSKOPİSİNİN KANTİTATİF DEĞİŞİMLERE KARŞI DUYARLILIĞININ İNCELENMESİ

Uğur Erşen Şenbil KATKI ÜRETİCİLERİ BİRLİĞİ

Kemal Köseoğlu Ege Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği A.B.D.

ÖZET

FT-IR spektroskopisi, kimyasal bileşiklerin organik yapılarını aydınlatmak amacıyla kullanılan ve temeli ışık – madde etkileşimine dayalı enstrümantal bir yöntemdir. Günümüzde hem üniversitelerde, hem de endüstride kalite kontrol amaçlı ve de özel araştırma geliştirme çalışmalarında etkin olarak kullanılmaktadır. Çimento ve beton sektörüne kimyasal katkı üreten firmalar da hammaddelerinin ve ürünlerinin kalite kontrolünde mevcut yöntemi etkin biçimde kullanmakla beraber, FT-IR spektrometresine sahip çimento ve beton firmaları, kendileri için son derece önem arz eden bu kimyasal katkıların kalitesini değerlendirmede spektroskopik analizi önemli bir parametre olarak değerlendirmektedirler. Yöntem kimyasal bileşiklerin kalitatif analizinde temel bir rol oynasa da, kantitatif değişimlere duyarsız kalmamaktadır. Fakat buradaki en önemli nokta, spektrometrelerin kantitatif değişimlere karşı duyarlılığın incelenmesi ve de somut rakamlarla ne derece ifade edilebilir olduğunun görülmesidir. Bu çalışmada, spektrometrelerin, kantitatif değişimlere karşı duyarlılığı ve de elde edilen spektrumlar arasındaki, özellikle yapı kimyasalları (çimento&beton) alanında yaygın olarak kullanılan korelasyon faktörünün incelenmesi üzerine çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: FT-IR spektroskopisi, Kalite kontrol, Yapı kimyasalları, Çimento ve beton kimyasal katkıları.

EXAMINING THE FT-IR SPECTROSCOPY'S SENSITIVITY TO QUANTITATIVE CHANGES

ABSTRACT

FT-IR spectroscopy is an instrumental method which is based on light-material interaction, in order to enlighten the organic structures of chemical compounds. Nowadays, this method is used effectively for quality control and specific R&D works, at universities and industry. While construction companies which produce chemical additives to cement and concrete sector, also use this method effectively to control their raw materials and products; cement and concrete companies which have FT-IR spectrometer evaluate the spectroscopic analysis as an important parameter to determine the quality of chemical additives which are very important for them. Also method has played an essential role in qualitative analysis of chemical compounds; it is not insensitive for quantitative changes. But the most important point in this area, to examine the sensitivity of spectrometers to quantitative changes and to see how can be expressed with concrete figures. In this study, sensitivity of spectrometers to quantitative changes and to examine the correlation factor which is especially used common in construction chemicals sectors (cement&concrete) between the obtained spectrums were studied.

Keywords: FT-IR Spectroscopy; Quality control; Construction chemicals; Cement and concrete chemical additives.

1.GİRİŞ

Üretimin yer aldığı tüm endüstrilerde hammaddelerin ve de ürünlerin kalite kontrolü büyük önem taşımaktadır. Spektroskopik analizler bu anlamda endüstriye büyük olanaklar sağlamakla birlikte, kullanılan cihazların özellikleri her geçen gün gelişmektedir. Bu çalışmada, Türkiye çimento ve beton endüstrisinde kullanılan yapı kimyasallarının kalitesini ölçmek amacıyla kızılötesi spektroskopisi analizleri sonucu elde edilen korelasyon katsayılarının (iki veya daha fazla spektrum arasındaki benzerliğin rakamsal biçimde ifadesi) kantitatif değişimlere karşı ne derece hassas olduğu incelenmiştir.

Kızılötesi spektroskopisi, IR spektrumlarının her molekül için 'parmak izi' özelliği taşımasından bu yana, kimya alanında ve endüstride moleküllerin tanımlanmasında ve karakterize edilmesinde kullanılmaktadır.[1] Spektrumun kızılötesi bölgesi, ışının 12800 ile 10 cm⁻¹ dalga sayılı bölümünü kapsar. Hem cihaz hem de uygulama açısından kızılötesi spektrumu, yakın-, orta-, ve uzak-kızılötesi ışınları olmak üzere üç bölgeye ayrılır.[2] Aşağıda yer alan tabloda her birinin sınırları gösterilmektedir.

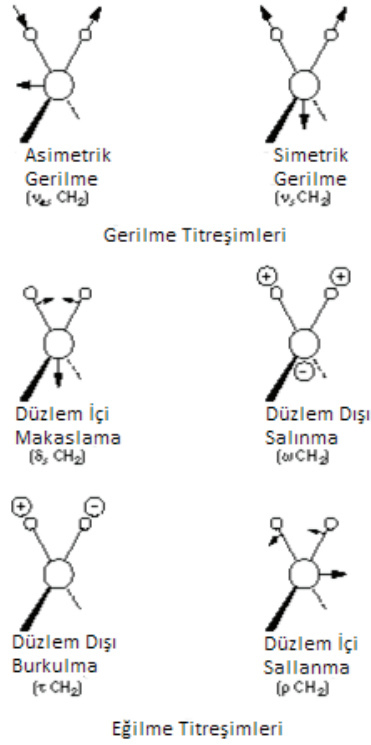
Tablo 1 Kızılötesi spektral bölgeler

Bölge	Dalga Sayısı aralığı (cm ⁻¹)	Frekans Aralığı (Hz)
Yakın	12800 - 4000	$3,8 \times 10^{14}$ - $1,2 \times 10^{14}$
Orta	4000 - 200	$1,2 \times 10^{14}$ - $6,0 \times 10^{13}$
Uzak	200 - 10	$6,0 \times 10^{12}$ - $3,0 \times 10^{11}$

Son on yılda nispeten ucuz Fourier dönüşüm spektrometrelerinin ortaya çıkması orta-infrared ışınının uygulama tipi ve sayısında kayda değer bir artmaya yol açmıştır.[2] Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR), maddelerin optik özelliklerini ölçmek için köklü bir tekniktir.[3] Spektrum, maddenin üç fiziksel halinden de elde edilebilir ve çoğu durumda tahribatsız bir metottur.[4-6] Bir molekülün kızılötesi absorpsiyon göstermesi için, titreşim sırasında,şpesifik bir özellik olan,değişen elektrik dipol momentine sahip olması gerekir.[5] Bir örnek kızılötesi ısıma ile analiz edildiğinde, FT-IR spektrumu molekülün titreşim ve dönme enerjileri hakkında bilgi sağlar.[4] Titreşim ve dönme hareketlerinin oluşuma mekanizması:

- Atom kütlelerine
- Bağların gücüne
- Molekül geometrisine bağlı olarak değişmektedir.[7]

Titreşimler *gerilme* ve *eğilme* denilen iki grupta toplanır. Gerilme titreşimlerinde atomlar arası uzaklığın devamlı değişmesi söz konusudur. Eğilme titreşimleri ise iki bağ arasındaki açının değişmesi ile karakterize edilir dört tiptir: Makaslama, sallanma, salınma ve burkulma. [2]



Şekil 1:Doğrusal olmayan bir molekülün titreşim modları, CH_2 . (+ sayfa düzleminde okuyucuya doğru hareketi gösterir, - sayfa düzleminde okuyucuya ters yönü gösterir) [8-9].

2.MATERYAL VE METOD

2.1. Cihazın Özellikleri

Tüm analizlerde kullanılan Fourier Dönüşüm Kızılötesi Spektrometresi *Bruker Alpha-ATR*. Kristal *Germanyum*. Çalışma frekans Aralığı $4000 - 550 \text{ cm}^{-1}$. Kullanılan yazılım *OPUS 7.0*.

2.2. Kimyasallar

Numune 1 olarak isimlendirilen kimyasal ile farklı konsantrasyonlarda (Tablo 2 – Tablo 3) 0,001 g tartım hassasiyetiyle hazırlanan çözeltiler.

Tablo 2 Birinci çalışma için hazırlanan çözelti verileri (Her bir örnekte kimyasal miktarı % 10 ve katları şeklinde azaltılıp, yerine su ilave edilmiştir).

	Numune-1 (g)	Su (g)
Örnek 1	100,000	0
Örnek 2	90,000	10,000
Örnek 3	80,000	20,000
Örnek 4	70,000	30,000
Örnek 5	60,000	40,000
Örnek 6	50,000	50,000

Tablo 3 İkinci çalışma için hazırlanan çözelti verileri (Her bir örnekte kimyasal miktarı % 1 ve katları şeklinde azaltılıp, yerine su ilave edilmiştir).

	Numune-1 (g)	Su (g)
Örnek 1	100,000	0
Örnek 2	99,000	1,000
Örnek 3	98,000	2,000
Örnek 4	97,000	3,000
Örnek 5	96,000	4,000
Örnek 6	95,000	5,000

“Numune-1, Numune-2 ve Numune-3” olarak isimlendirilen kimyasallar ile farklı konsantrasyonlarda (Tablo 4) 0,001 g tartım hassasiyetiyle hazırlanan çözeltiler.

Tablo 4 Üçüncü çalışma için hazırlanan çözelti verileri (Her bir örnekte her hammaddeden % 5 ve katları şeklinde azaltılıp, toplam azalma miktarı kadar su ilave edilmiştir).

	Numune-1(g)	Numune-2(g)	Numune-3(g)	Su(g)
Örnek 1	15,000	25,000	10,000	50,000
Örnek 2	14,250	23,750	9,500	52,500
Örnek 3	13,500	22,500	9,000	55,000
Örnek 4	12,750	21,250	8,500	57,500
Örnek 5	12,000	20,000	8,000	60,000

2.3. Yöntem

Elde edilen spektrumlar arasındaki korelasyon karşılaştırılması 3 farklı yöntem ile gerçekleştirilmiştir. Korelasyon katsayıları yüzde (%) olarak ifade edilmiştir.

Yöntem 1: Örnek 1 referans seçilmiştir, karşılaştırma alanı olarak tüm bölge ($4000 - 650 \text{ cm}^{-1}$) ve benzerlik eşik değeri % 98 seçilmiştir

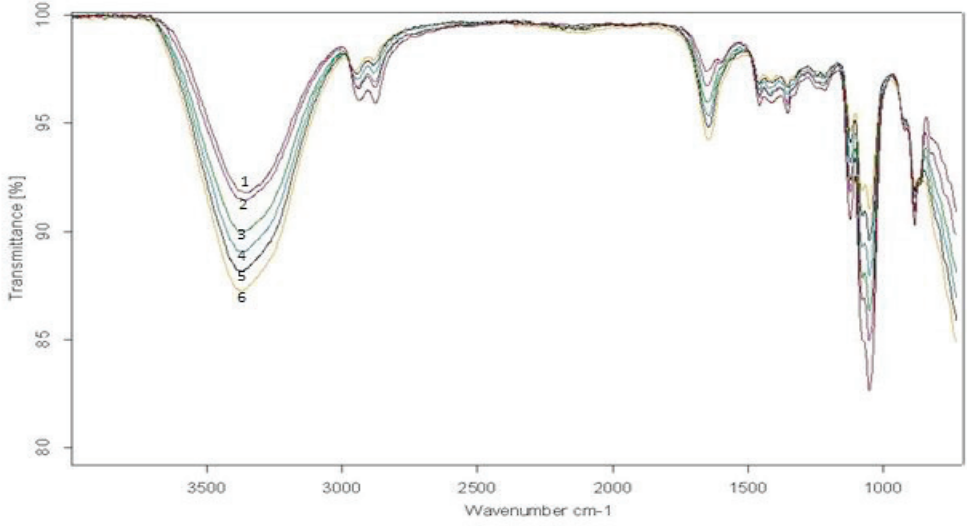
Yöntem 2: Örnek 1 referans seçilmiştir, karşılaştırma alanı olarak, grafikte yalnızca absorpsiyon sonucunu pik veren bölgeler ($3750-3000$; $3000-2700$; $1800-700 \text{ cm}^{-1}$) ve benzerlik eşik değeri % 98 seçilmiştir.

Yöntem 3: Örnek 1 referans seçilmiştir, karşılaştırma alanı olarak, grafikte yalnızca absorpsiyon sonucu pik veren bölgeler ($3750-3000$; $3000-2700$; $1800-700 \text{ cm}^{-1}$) seçilmiştir, karşılaştırma fonksiyonunda birinci türev alınarak, 17. dereceden smooth point işaretlenmiştir ve benzerlik eşik değeri % 98 seçilmiştir.

2.4. Elde Edilen Spektrumlar ve Korelasyon Katsayıları

2.4.1. Birinci çalışmanın sonuçları

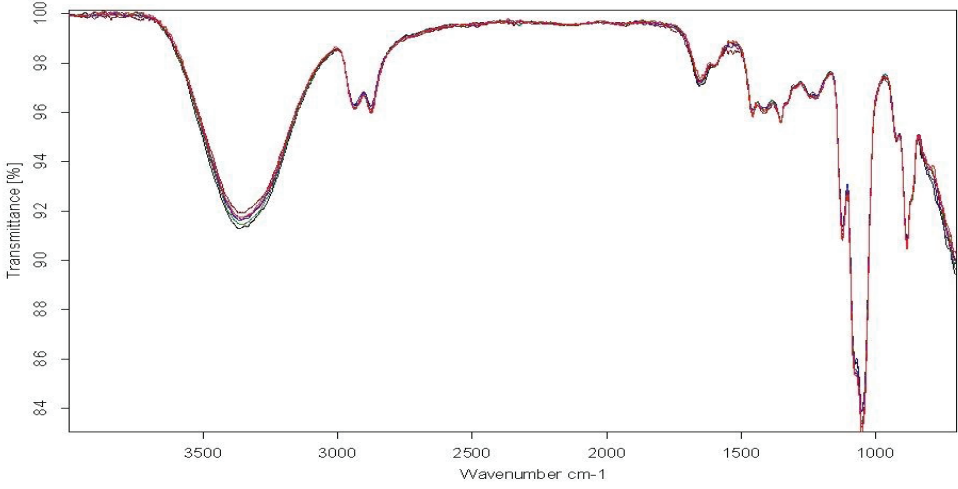
Şekil 2: Birinci çalışma sonucu elde edilen spektrumlar.



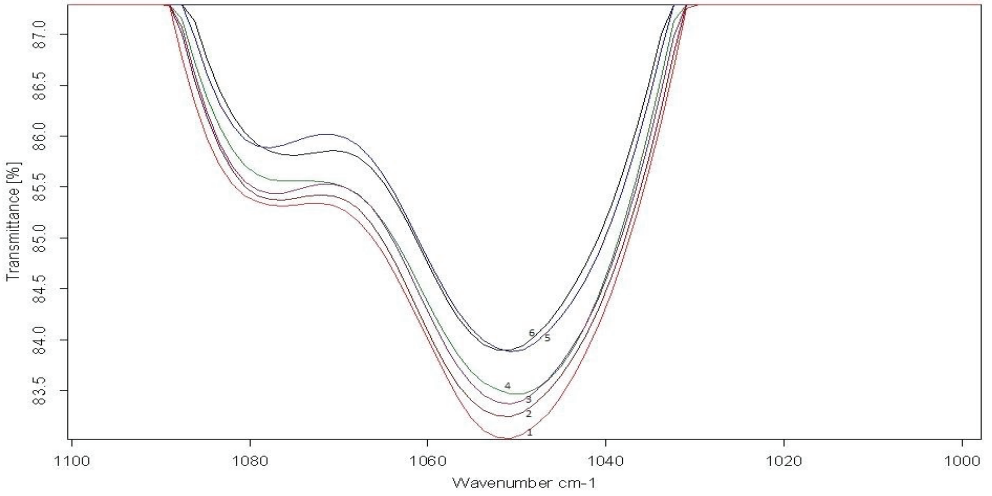
	YÖNTEM 1	YÖNTEM 2	YÖNTEM 3
	Korelasyon Katsayısı	Korelasyon Katsayısı	Korelasyon Katsayısı
Örnek 1 : Örnek 1	100,00 ✓	100,00 ✓	100,00 ✓
Örnek 1 : Örnek 2	98,70 ✓	98,07 ✓	93,26 ✗
Örnek 1 : Örnek 3	96,41 ✗	94,09 ✗	90,36 ✗
Örnek 1 : Örnek 4	93,59 ✗	89,54 ✗	90,78 ✗
Örnek 1 : Örnek 5	90,51 ✗	84,69 ✗	83,47 ✗
Örnek 1 : Örnek 6	87,64 ✗	80,35 ✗	75,26 ✗

2.4.2. İkinci çalışmanın sonuçları

Şekil 3: ikinci çalışma sonucu elde edilen spektrumlar.



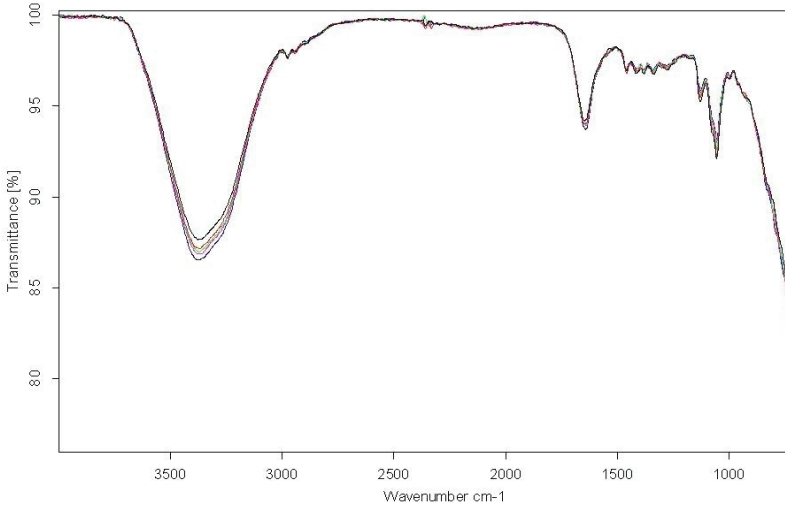
Şekil 4: İkinci çalışma, etken madde pikinin bulunduğu bölge (1100 - 1000 cm⁻¹)



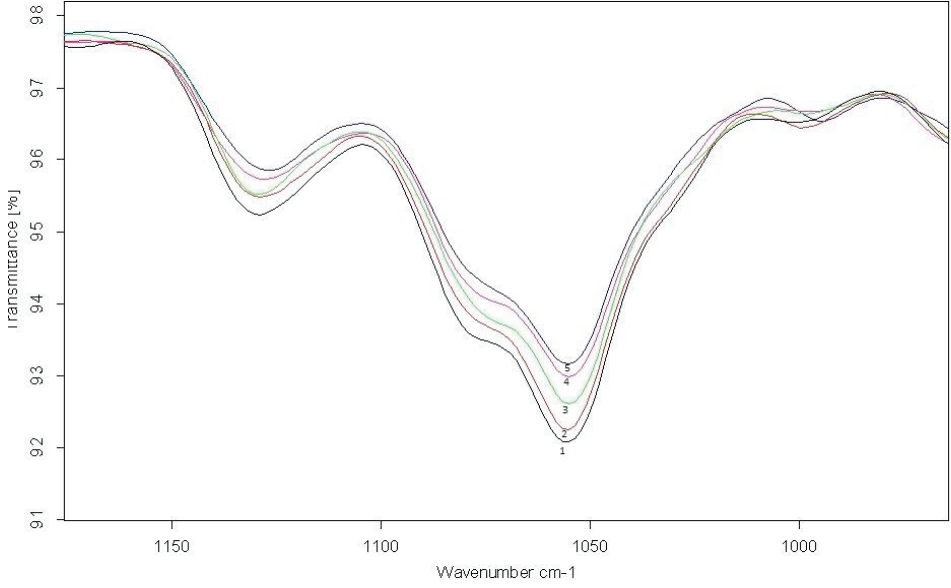
	YÖNTEM 1	YÖNTEM 2	YÖNTEM 3
	Korelasyon Katsayısı	Korelasyon Katsayısı	Korelasyon Katsayısı
Örnek 1 : Örnek 1	100,00 ✓	100,00 ✓	100,00 ✓
Örnek 1 : Örnek 2	99,86 ✓	99,81 ✓	96,09 ✗
Örnek 1 : Örnek 3	99,94 ✓	99,91 ✓	95,90 ✗
Örnek 1 : Örnek 4	99,87 ✓	99,80 ✓	97,95 ✗
Örnek 1 : Örnek 5	99,57 ✓	99,41 ✓	93,27 ✗
Örnek 1 : Örnek 6	99,60 ✓	99,42 ✓	95,66 ✗

2.4.3. Üçüncü çalışmanın sonuçları

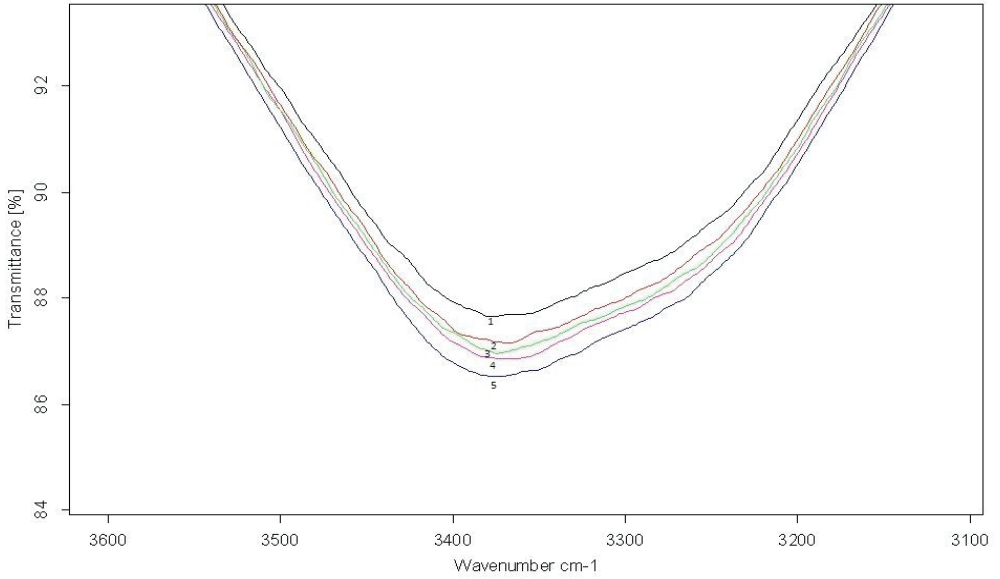
Şekil 5: Üçüncü çalışma sonucu elde edilen spektrumlar.



Şekil 6: Üçüncü çalışma etken madde pikinin olduğu bölge (1100-1000 cm^{-1})



Şekil 7: Üçüncü çalışma OH^- grubu pikinin bulunduğu bölge (3100-3600 cm^{-1})



	YÖNTEM 1	YÖNTEM 2	YÖNTEM 3
	Korelasyon Katsayısı	Korelasyon Katsayısı	Korelasyon Katsayısı
Örnek 1 : Örnek 1	100,00 	100,00 	100,00 
Örnek 1 : Örnek 2	99,83 	99,93 	99,06 
Örnek 1 : Örnek 3	99,74 	99,85 	98,94 
Örnek 1 : Örnek 4	99,86 	99,75 	98,55 
Örnek 1 : Örnek 5	99,85 	99,59 	98,12 

3.SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Birinci Çalışma Verilerinin Değerlendirilmesi: % 10'luk seyreltmeler görsel açıdan spektrumlarda bariz bir şekilde kendini göstermiştir ve seyreltme miktarı arttıkça 3750 – 3000 cm^{-1} ve 1635 cm^{-1} bölgesindeki su piklerinin şiddeti giderek artmıştır; 3000 – 2700 cm^{-1} ve 1200 – 1000 cm^{-1} bölgesindeki Numune-1 piklerinin şiddeti giderek azalmıştır. Yöntem 1 ve Yöntem 2 birinci %10'luk seyreltmede iki spektrum arasında %98 üzerinde korelasyon kurarken yöntem 3 daha hassas olduğu için birinci seyreltmeden itibaren korelasyon faktörünü düşük vermiştir. Sadece korelasyon faktörünü dikkate alan kullanıcıların 1. ve 2. yöntemde % 10'luk seyrelmeyi kaçırabileceklerini söylemek mümkün.

İkinci Çalışma Verilerinin Değerlendirilmesi: % 1'lik seyreltmeler görsel olarak spektrumlara etki etmiştir fakat bu etki çok az miktarda olduğu için seyrelmelere karar vermenin çok sağlıklı olmayacağını söylemek mümkündür. 1. ve 2. yöntem tüm örneklerde referans spektrum ile % 99 üzerinde korelasyon kurarken, daha hassas olan 3. Yöntemin korelasyon faktörleri yine benzerlik eşik değerinin altında kalmıştır. % 5'e kadar olan bir seyrelmenin korelasyon faktörüne dayanarak yorumlamanın doğru bir yol olmayacağı görülmektedir.

Üçüncü Çalışma Verilerinin Değerlendirilmesi: % 5'lik seyreltmeler görsel olarak spektrumlarda kendini göstermiştir. 3750 – 3000 cm^{-1} ve 1635 cm^{-1} bölgesindeki su piklerinin şiddeti giderek artıyorken, diğer bölgelerde seyrelmeye bağlı olarak azalma meydana gelmiştir. Her üç yöntemde de tüm örneklerin referans spektrum ile korelasyonu benzerlik eşik değerinin üzerinde bulunmuştur. Başka bir deyişle korelasyon faktörüne dayalı bir yorumda % 5'lik seyrelmeler yakalanamamıştır.

Üç çalışmayı da göz önünde bulundurarak, spektroskopik yöntemin kalite kontrol amacıyla kullanımının son derece önemli ve etkin bir yöntem olduğu görülmektedir. Yöntem kalitatif analizde çok etkin bir rol oynasa da, kantitatif değişimlere karşı duyarsız kalmamaktadır. Kalite kontrol amacıyla hammadde veya ürünlere onay vermek üzere bir karara varmak için yorumlama sırasında kullanılan yöntem ve verilere çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Yapı kimyasalları (çimento & beton) sektöründe yaygın kullanıma sahip olan benzerlik eşik değerinin sağlıklı bir yol olmadığı, bunun yanında görsel olarak spektrumları yorumlamanın, analisti daha doğru sonuçlara götüreceği görülmektedir. Spektrumlar arasında korelasyon katsayısına dayalı onay verilip/verilmemesi ne kadar pratik bir yöntem olsa da, firmaların kalite parametreleri açısından yanılgıya sebep olabilecek durumlar doğurabilir. Bu nedenle spektroskopi biliminin kullanıcılar tarafından iyice özümsemesi ve de bu doğrultuda yorumlama yapılması gerekmektedir.

4.KAYNAKLAR

- [1] Theophanides, T., 2012, Infrared Spectroscopy - Materials Science, Engineering and Technology, In Tech, Croatia.
- [2] Skoog, D., Holler, F., Nieman, T., 1998, Principles of Instrumental Analysis Fifth Edition, Sounder College Publishing, USA.
- [3] Hsu, W., Tong, J., Liao, B., Burg, B., Chen, G., 2013, Direct and quantitative broadband absorptance spectroscopy on small objects using Fourier transform infrared spectrometer and bilayer cantilever probes, Appl. Phys. Lett., 102, 051901 (2013); doi: 10.1063/1.4790184, USA.
- [4] Haridassa, C., Aw-Mussea, A., Misraa, P., Jordan, J., 2000, Fourier Transform infrared (FT-IR) spectroscopy of trace molecular species of importance for the elucidation of atmospheric phenomena, Computers and Electrical Engineering, 26:47-65.
- [5] Stuart, B., 2004, Infrared Spectroscopy : Fundamentals and Applications, John Wiley & Sons, Ltd, USA.
- [6] Coleman, P, B., 1993, Practical sampling techniques for infrared analysis, CRC Press, USA.
- [7] Astley, D., Organik Yapı Tayini- Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü, Türkiye.
- [8] Sherman Hsu, C. P., Infrared Spectroscopy Separation Science Research and product Development – Chapter 15 - 247-283.
- [9] Silverstein, R. M., Bassler G. C., Morrill, T.C., 1981, Spectrometric Identification of Organic Compounds, 4th edition, John Wiley & Sons, New York.

20 Ekim 2017 Cuma

October 20th 2017 Friday

2.Gün/Second Day

4.Oturum/Fourth Session

Oturum Başkanı/Session Chair

Prof. Dr. Mustafa TOKYAY

YENİ NESİL KOMPOZİT HARÇLARDA POLİMER KULLANIMLARI ÜZERİNE BİR İNCELEME

Şevket Onur KALKAN

Arş. Gör.

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi,

İnşaat Mühendisliği Bölümü,

İzmir, Türkiye

Lütfullah GÜNDÜZ

Prof. Dr.

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi,

İnşaat Mühendisliği Bölümü,

İzmir, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, yapı malzemeleri sektöründe beton ve kompozit harç üretimlerinde, kimyasal katkı ve polimer kullanımının gelişimi üzerine kısaca bilgi verilmiştir. Kompozit harçlarda sıklıkça kullanılmakta olan bir polimer katkı olarak selüloz eterleri, bu çalışma kapsamında irdelenmiştir. Farklı viskozite değerlerine sahip selüloz eterlerin harcın fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Araştırma bulgularına göre, selüloz viskozitesindeki artış harcın karma suyunu olan ihtiyacını arttırmıştır. Yüksek viskoziteli selüloz katkıların kompozit harcı daha tutucu bir yapısal özelliğe dönüştürmesi ile selüloz viskozitesindeki artış harçların yayılma değerlerinde bir azalmaya yol açmıştır. Yüksek viskoziteli selüloz eterlerin kullanıldığı harçların kılcal su emme değerleri de yüksek bulunmuştur. Ayrıca, kompozit harç örneklerinde kullanılan selüloz eterlerin viskozitesi arttıkça örneklerin basınç dayanım değerlerinin iyileştiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompozit harç, polimer, selüloz eter, viskozite, selüloz.

AN INVESTIGATION ON POLYMER USES IN NEW GENERATION COMPOSITE MORTARS

ABSTRACT

In this study, brief information was given on the development of chemical additives and polymer use in concrete and composite mortar productions in the building materials sector. Cellulose ethers as a polymer additive, which is frequently used in composite mortars, have been studied in this study. The effects of cellulose ethers with different viscosity values on the physical and mechanical properties of the mortar were investigated. According to research findings, the increase in cellulose viscosity increased the need for mixed water. The increase in cellulose viscosity, with the conversion of high viscosity cellulose admixtures to a more conservative structural property, resulted in a decrease in the spreading values of the mortars. The capillary water absorption values of the mortars using high viscosity cellulose ethers are also high. Furthermore, as the viscosity of the cellulose ethers used in the composite mortar specimens increased, the compressive strength values of the samples were observed to improve.

Keywords: Composite mortar, polymer, cellulose ether, viscosity, cellulose.

GİRİŞ

Çimento, ülkemizde inşaat sektöründe kaba yapıdan ince yapıya kadar neredeyse bütün aşamalarında yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Ancak çimento harcı, hızla gelişen teknoloji ile birlikte birçok açıdan gereken performansın sağlanabilmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, yeni nesil kompozit formda çimento harçlarının kullanımları yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte, yeni nesil kompozit harçların niteliklerinin iyileştirilmesi adına çalışmalar yapılmakta ve farklı mineral ve kimyasal katkı malzemesi kullanım potansiyelleri araştırılmaktadır. Kimyasal katkı maddelerinin kompozit harçlarda kullanımı genellikle taze ve sertleşmiş haldeki harcın bir ya da birden fazla özelliğini iyileştirme amacına yöneliktir. Kimyasal katkıların, harcın özelliklerini iyileştirmelerine rağmen, bilinçsiz kullanıldıkları durumda olumsuz etkileri de olmaktadır. Sektörel inovasyon kapsamında halen sürdürülmekte olan teknik bir çalışmada, kompozit harçların performans açısından yetersiz kaldığı durumlar irdelenmiş ve hangi durumlarda ne tür katkı maddeleri kullanılabileceğine dair araştırmalar yapılmıştır. Kimyasal katkıların çimento hamuru ile nasıl bir etkileşim oluşturduğu ve taze harç ile sertleşmiş harç üzerinde fiziksel, kimyasal ve mekanik açıdan nasıl etkiler oluşturduğuna ilişkin araştırmalar incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

AMAÇ

Bu bildiride sunulan deneysel çalışmaların amacı, sektörel anlamda yaygın olarak kullanılan selüloz eterlerin farklı türlerinin kompozit harçların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini detaylı olarak incelemektir. Ayrıca, üretim proseslerine göre farklı türde selüloz eterler de çalışma kapsamında anlatılmıştır. Bunun yanında, yapı malzemeleri sektöründe kimyasal katkılar ve polimerlerin gelişimindeki tarihsel sürece değinilmiştir.

Polimerlerin Endüstride Kullanımları

Doğal polimerlerin endüstriye yönelik kullanımları çok eski tarihlere dayanmakta olup, bu konuda doğal kauçuk-selüloz, nişasta en çok kullanılan doğal polimerlerdir. Tarihsel gelişim içinde doğal polimerler yerlerini “modifiye edilmiş (doğal polimere, fiziksel özelliklerini değiştiren katkı, dolgu maddesi ve benzeri ilave edilmesi) doğal polimerlere” diğer bir deyişle “yarı sentetik polimerlere” bırakmışlardır [1-13]. Bunun sebepleri; polimerik hammaddelerin işlenmesindeki sorunlar ile ürünlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin yetersiz olmasıdır. 19. yüzyılda doğal selüloz gibi doğal bitki selülozundan sentetik selülozun üretilmesiyle başlayan polimer endüstrileri, naylon gibi doğal bir polimer temeli olmayan sentetik polimerlerin üretimi insanlık için önemli bir nitelik kazanmıştır [2, 9]. Daha sonraki yıllar, klasik malzemeler olan metallerin yerini alabilecek özellikte, yüksek performansla sahip plastik malzemelerin gelişimine şahit olmuş ve insan hayatının hemen her noktasında bu polimerler yer almış durumdadır. Bunlara polikarbonatlar, polisülfonlar, poliamidler, kevlar gibi aromatik poliamidler örnek verilebilir [3]. Günümüzdeki kompozit harç tekniklerinde polimer bileşen kullanımlarının neredeyse ilk örneklerinin betonlarda uygulanan katkı maddelerinin kullanımından esinlenerek başladığı görülebilmektedir. Beton katkı maddeleri bilindiği gibi su, agrega ve çimento dışında betonlara çok düşük miktarda katılan organik ve inorganik kimyasal maddelerdir. Çimentonun sahip olduğu özellikleri, iyi yönde ve belirli bir ölçüde değiştirmek amacı ile beton üretilirken veya üretildikten sonra katılarak taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini geliştirirler. Bu katkı maddeleri, mineral ve kimyasal olarak iki guruba ayrılırlar. Kimyasal katkılar betonun akışkanlığının artırılması, erken ve yüksek dayanıma ulaşılması, geçirimsizliği ve donatı dayanımının sağlanması yanında priz sürelerini değiştirmek gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar. Akışkanlaştırıcılar, uygulamada su/çimento oranını azaltarak daha yüksek dayanım kazanabilmek, kütle betonlarında hidrasyon ısısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması veya aynı işlenebilmeyi sağlayabilmek ve kolay yerleşmeyi sağlamak amacıyla kullanılmaktadırlar. Akışkanlaştırıcılar su içerisinde eriyen boşluklu kimyasal dizilişleri ile suyun yüzey gerilimini düşüren organik maddelerdir. Bunlar, beton içine hava sürükleyerek çimento topaklaşmasını önlemek suretiyle etkili olmaktadır. Su indirgeyiciler negatif elektriksel yüke sahip olup, su yüzeyinde hareket etme eğilimindedirler. Su ve çimento reaksiyona girdiğinde çimento taneleri su moleküllerini çevreleyerek flokül bir yapı oluştururlar. Suyun bu şekilde kapanması istenen akışkanlığa ulaşabilmek için daha fazla su ilavesini gerektirir. Akışkanlaştırıcı

madde ilave edildiğinde çimento tanecikleri tarafından adsorbe edilerek negatif yüklü katkı partikülleriyle birleşirler ve aynı yüklü olduklarından birbirlerini iterler. Sonuçta kapanmış olan su açığa çıkar. Katkının defloküller etkisi sonunda çimento flokülleşmesi önlenmekte ve açığa su çıkmaktadır. Bu maddelerin topaklaşmayı önlemeleri ve aynı zamanda tanelerin birbiri üzerinde kaymalarını kolaylaştırarak yağlayıcı etki göstermeleri betonun iç sürtünmesini azaltmakta ve işlenebilirliği artırmaktadır. Betonda oluşturulan bu ve benzeri teknik etkiler, farklı amaçlarla kullanımı tasarlanan çimentolu harçlarda da katkı materyalleri olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu sayede, daha özellikli harç kompozisyonlarının oluşturulmasına imkân tanımıştır. Günümüzde ise giderek artan bir eğilimle farklı orijinlere sahip polimer bileşenler ile elde edilen çimentolu ve/veya çimentosuz harç karışımlar, kompozit bir karma yapısıyla çok özel kullanım yerlerine kadar çeşitlendirilebilecek özellikler sağlayabilen ürün türevleri şeklinde teknik gelişimleri görülebilmektedir. Çimento bağlayıcılı kompozit harçlarda genellikle aşağıda gruplandırılan polimer ve katkı türleri kullanılmaktadır [5-9, 11, 12].

- Bağlayıcı ve Adezyon Kazandırıcılar
- Plastikleştirici Ajanlar
- Akışkanlaştırıcı Ajanlar
- Yanma Geciktirici ve Önleyici Ajanlar
- Biyositler – Bakteri Önleyici Ajanlar
- Antistatik Maddeler
- Selüloz Eterleri
- Hava Sürükleyici Ajanlar
- Su İtici Ajanlar
- Priz Hızlandırıcı Ajanlar
- Priz Geciktirici Ajanlar
- Pigmentler - Renklendiriciler
- Proses Kolaylaştırıcı ve pH Düzenleyici Ajanlar
- Çiçeklenme Direnci Sağlayan Ajanlar
- Korozyon Önleyici Ajanlar
- Rötire Giderici Ajanlar
- Tikotropi Sağlayıcı Ajanlar

Selüloz Eterleri

Selüloz eterleri, etilselüloz, metilselüloz, karboksimetilselüloz, hidroksietilselüloz ve benzilselüloz gibi türevlerle endüstriyel önem kazanır. Selüloz eterleri ticari olarak, alkali ortamda (genellikle NaOH) uygun bir alkolün sülfat veya klor tuzlarıyla etkileşimi sonucu hazırlanır. Alkali selüloz bir ara ürün olarak oluşur. Eterleşme derecesi reaksiyon sıcaklığının yanı sıra, selüloz, alkali, su ve diğer değişkenlerin de oransal özelliklerine bağlıdır. Selüloz eter, çevre dostu, ilk kaynağı ağaç veya pamuk selülozü olan, suda çözünebilen, molekülleri arasında %30-65 oranında kristal formda hidrojen bağı bulunan doğal polimerdir. Eterifikasyon diye de adlandırılan kimyasal prosten sonra, selüloz hidroksil gruplarının metil ve/veya hidroksipropil grupları ile yer değiştirmesi sonucu suda çözünen noniyonik selüloz etere dönüşmesinden oluşan kimyasal üründür. Üretim proseslerine göre [10];

- * MC (metil selüloz),
- * HPMC (hidroksipropil metil selüloz),
- * HEMC (hidroksi etil metil selüloz),
- * HEC (hidroksi etil selüloz)
- * CMC (karboksi metil selüloz)

gibi değişik modifikasyonlarda özel selüloz eterler üretilmektedir. Selüloz eter, kalınlaştırma, jelleştirme, emülsiyon oluşturma, stabilize etme işlemlerine ve su tutma, iyi çalışılabilirlik özelliklerinin sağlanabilmesine ihtiyaç duyulan her alanda kullanılabilir. Piyasada HPMC, HEMC ve MHEC gibi saf ve modifiye olmak üzere değişik tipleri olan bu kimyasalın en büyük özelliği bünyesinde su tutmasıdır. Bulundukları ortama suyu çekerler ve belirli bir miktardaki suyu belirli bir süre için bünyesine hapsederler, böylelikle harcın çalışma süresinin ayarlanabilmesine imkân verirler. Uygulama esnasında daha uzun bir süre çalışabilme imkânı elde edilmiş olur. Harcın kıvamını geliştirerek taraklama işlemini kolaylaştırır ve ihtiyaca göre üretiminden gelen modifikasyon nedeniyle değişik viskozite değerleri göz önünde bulundurulursa, harcın kayma direnci arttırılabilir. Özellikle open time testi ve çekme testi sonuçlarına bakılarak tercih edilirler. Ürünün özelliğine göre viskozite değerleri önemlidir. Sıva harcı ve derzlerde genelde düşük viskoziteli selüloz eterlerinin tercih edilmesi prensip olarak ele alınır.

Ancak, uygulamada yapışma olgusunun iyileştirilmesi için yüksek viskoziteli selüloz eter kullanımları da görülebilmektedir. Selüloz eter kullanımlarında genellikle kabul edilen viskozite sınıflandırması şu şekilde tanımlanabilir:

- * Viskozite değeri 5 - 15 arasında olanlar çok düşük viskoziteli,
- * Viskozite değeri 20 - 1500 arasında olanlar düşük viskoziteli,
- * Viskozite değeri 1500 - 4000 arasında olanlar orta viskoziteli,
- * Viskozite değeri 4000 - 15000 arasında olanlar yüksek viskoziteli,
- * Viskozite değeri 15000 - 150000 arasında olanlar çok yüksek viskoziteli.

Kıvamlaştırma ajanı, su tutma yardımcısı, bağlayıcı, dispersiyon yardımcısı, yağlayıcı, kolloid veya dengeleyici gibi birçok tipik özellikleri olan selüloz eterler birer yapı kimyasalları katkısıdır. Çimento ve alçı bazlı toz harç katkı sistemlerinde HPMC (hidroksipropil metil selüloz) ve HEMC (hidroksi etil metil selüloz) selüloz eterleri çoğunlukla kullanılan ajanlardır.

Deneyisel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Bu inceleme çalışmasında, çimento bağlayıcılı kompozit harç karışımında selüloz eterin viskozite değeri etkisinin, elde edilen harç formuna etkilerini irdelemek amacıyla, 6 ayrı viskozite değerine sahip HEMC (hidroksi etil metil selüloz) selüloz eteri türü aynı harç karışımlarında kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan HEMC selüloz eteri viskozite değerleri sırasıyla 4000, 15000, 30000, 60000, 120000 ve 150000 mPas'dır. Bu selüloz eter malzemeler, beyaz renkli toz formda olup endüstriyel olarak çimento ve alçı bazlı karışımlarda kullanılabilen ürünler olup, ticari olarak piyasadan tedarik edilmiştir. Bu çalışmada, kompozit harç karışımları için ana bileşen malzemeler olarak 100 mikron boyut altı mikronize edilmiş kalsit, toz kireç ve genleşmiş perlit ticari olarak piyasadan temin edilerek kullanılmıştır. Kalsiyum karbonat diğer bir adı ile Kalsit minerali, yoğunluğu ve doğal olma özeliği bakımından geniş bir kullanım alanına sahiptir ve bu durum kalsiyum karbonatın hayatımızın bir çok alanında yer almasını sağlar. İnorganik mineral olan kalsit, birbirinden farklı birçok sektörde üretim

malijetlerini optimize eden en 6nemli dolgu maddesidir. Bu çalışmada kullanılan s6nmüş toz kireç (STK) EN 459-1 standardına uygun CL80 sınıfı ticari bir ürün olarak tedarik edilmiş ve karışım kombinasyonlarında kullanılmıştır. STK bütün harç kombinasyonlarında pH stabilize edici katkı malzemesi hüviyetindedir. Genleşmiş perlit; başlıca inşaat, filtre, yalıtım, tekstil yıkama, dolgu malzemesi, d6km, petrol endüstrileri ile tarım sekt6r, deniz kirliliğinin 6nlenmesi çalışmaları ve temizleyici olarak kullanılır. İnşaat sekt6rnde genleşmiş perlit, düşük birim hacim ağırlığı ile birlikte üstün yalıtım 6zelliklerine sahiptir. Tüm harç kombinasyonlarına ait 6rneklerin hazırlanmasında Beyaz imento kullanılmış olup, su olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Kompozit Harç Tasarımı ve Test 6rneklerinin Hazırlanması

Yeni nesil kompozit harç karışımalarında, HEMC selüloz eter içermeyen ve 250 kg/m³ imento dozajında bir seri “kontrol karışımı” test numunesi olarak hazırlanmış olup, “K0” ile kodlanmıştır. Deneyisel alışmalar İzmir Kâtip elebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği B6lm, Yapı Malzemeleri ArGe Laboratuarında yapılmıştır. Deneyisel çalışmada kullanılan kompozit harç karışimleri izelge 1’de verilmiş olup, test 6rneklerinin hazırlanmasında kullanılan HEMC selüloz eter viskozite değeri, taze yaş harç ve priz sonrası sertleşmiş harcın kuru birim hacim kütle değeri ise izelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. Kompozit harç karışım kombinasyonları.

Karışım	imento (kg/m ³)	Kalsit (kg/m ³)	Kireç (kg/m ³)	Perlit (kg/m ³)	Selüloz (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Su/imento Oranı
K0	250	379	50	36	0,0	464	1,86
K1	250	377	50	36	1,4	471	1,89
K2	250	377	50	36	1,4	481	1,93
K3	250	377	50	36	1,4	494	1,98
K4	250	377	50	36	1,4	510	2,04
K5	250	377	50	36	1,4	521	2,09
K6	250	377	50	36	1,4	529	2,12

Çizelge 2. HEMC selüloz eter viskozite değerleri ve harç yoğunlukları.

Karışım	Selüloz	Yaş Harç Formu	Sertleşmiş Harç Formu
	Viskozitesi	Birim Hacim Kütle	Birim Hacim Kütle
	(mPas)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
K0	-	1087	839
K1	4000	1079	835
K2	15000	1073	831
K3	30000	1059	824
K4	60000	1053	820
K5	120000	1039	813
K6	150000	1032	810

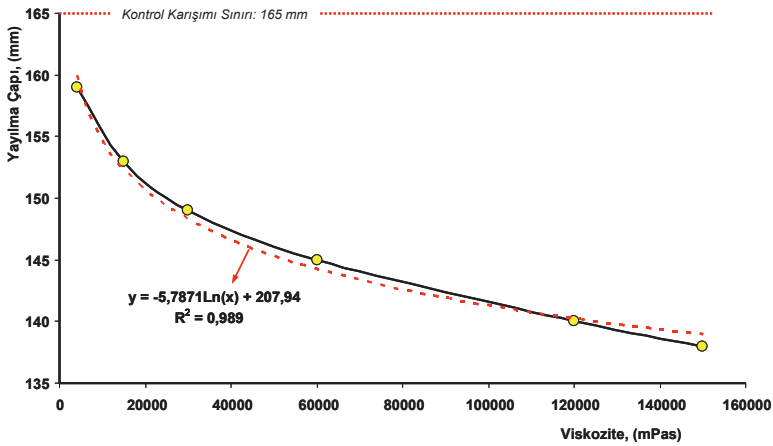
Yeni nesil kompozit harç kombinasyonunda HEMC selüloz eter viskozite değerinin harcın teknik performansına etkilerini irdelemek amacıyla, karışımdaki çimento dozajı 250 kg/m³ olarak sabit tutularak, mikronize kalsit miktarı ile ağırlıkça ikame (yer değiştirme) olarak kullanılmış olup, deneysel çalışmada öngörülen Su/Katı (S/K) oran değişimi 0,66 – 0,74 aralığında 6 farklı karışım kombinasyonu olarak tasarlanmış olup, K1-K6 olarak kodlanmıştır. Tüm karışımlarda HEMC selüloz eter katkı oranı ağırlıkça %0,20 olarak (1,4 kg/m³) sabit tutulmuş olup, mikronize kalsit, toz kireç ve genişlemiş perlit kullanım miktarları da sabit olup sırasıyla değerleri 377 kg/m³, 50 kg/m³ ve 36 kg/m³ olarak tasarlanmıştır. Karışımda kullanılan HEMC selüloz eter katkı miktarının artmasına bağlı olarak S/Ç oranı da artış göstermiş olup, 1,86 – 2,12 oran değişim aralığında uygulanmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanan örneklerin basınç dayanımlarını belirlemek amacı ile 50 x 50 x 50 mm boyutlarında kübik numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler, kalıplardan çıkarıldıktan sonra 3 gün boyunca nemli ortamda kürlendikten sonra 28. Gün sonuna kadar normal ortam şartlarında kürlendirilmeye devam edilmiştir.

Araştırma Bulguları

HEMC selüloz eter katkılı yeni nesil kompozit harç test örneklerinin deneysel analiz bulguları Çizelge 3’de özetle verilmiştir. Kompozit harç test örnekleri TS EN 998-1 standardının öngördüğü bazı teknik parametre ve prensiplere göre analiz edilerek irdelenmiştir.

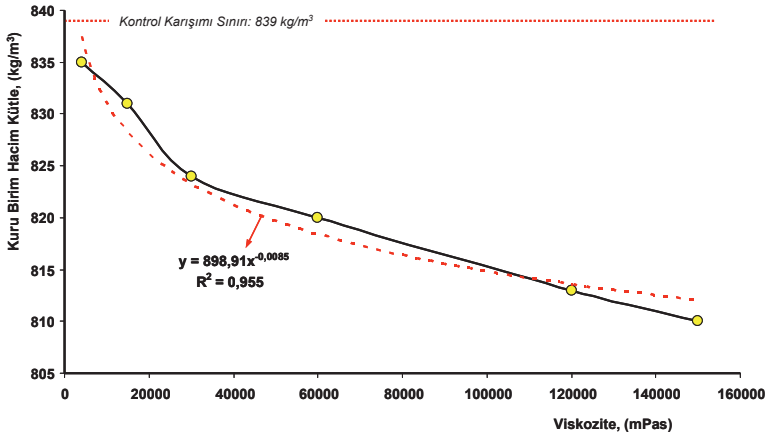
Çizelge 3. Test örneklerinin analiz bulguları.

Karışım	Yayılma Çapı (mm)	Basınç Dayanım Değeri (N/mm ²)	Kapilarite (kg/m ² min ^{0.5})
K0	165	2,75	0,255
K1	159	2,78	0,276
K2	153	2,80	0,292
K3	149	2,83	0,321
K4	145	2,84	0,343
K5	140	2,86	0,369
K6	138	2,87	0,384



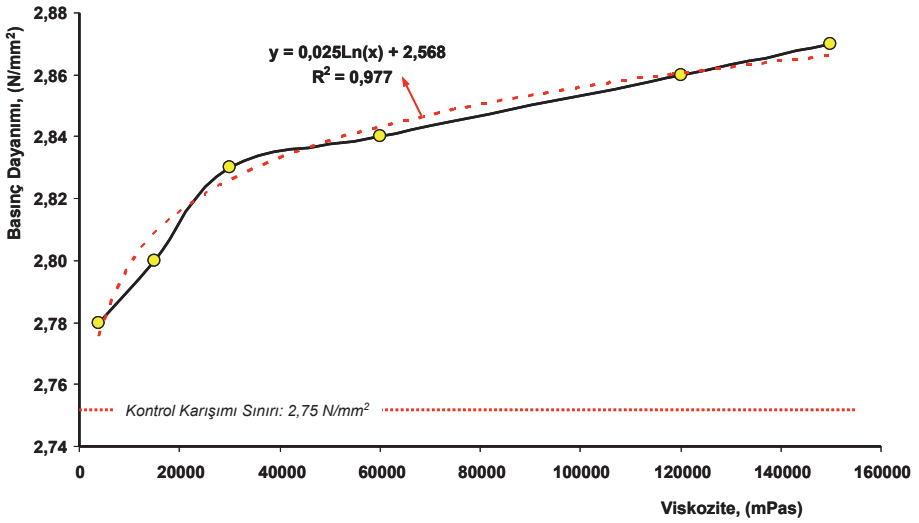
Şekil 1. HEMC selüloz eter viskozite - harç yayılma çapı ilişkisi.

Kompozit harçların su ihtiyacını ve işlenebilirlik özelliğini inceleyebilmek için üretilen yaş harçlar üzerinde ASTM C-109 standardına uygun olarak yayılma tablası deneyi gerçekleştirilmiştir. Yayılma tablası deneyinin sonuçları Şekil 1’de grafiksel olarak gösterilmektedir. Şekil 1 incelendiğinde, HEMC selüloz eterin viskozite değeri arttıkça kompozit harç örneklerinin yayılma tablası üzerindeki ortalama yayılma çapları azalmaktadır. Bu olgunun oluşumu, selüloz eterin viskozitesindeki artışın harçlarda tutuculuk özelliğini arttırmasıyla birlikte meydana geldiği gözlemlenmiştir. Selüloz eter viskozitesi arttıkça örneklerin daha kompakt ve daha plastik bir özelliğe kavuştuğu görülmüştür. Bu durum ise harcın yayılmasını engellemektedir. Selüloz eter içermeyen kontrol numunesinin yayılma değeri 165 mm olarak elde edilmiş, selüloz viskozitesindeki artışa bağlı olarak yayılma çapı 150000 mPas’lık viskozite değerine geldiğinde 138 mm’ye kadar gerilemiştir. Bununla birlikte, şantiye uygulamalarında kompozit harçların uygun işlenebilirlik şartlarını sağlayabilmesi için yayılma çapı değerlerinin 130 mm ile 165 mm aralığında olması gerektiği tecrübe edilmiştir. Bu durumda üretilen selüloz katkılı harçların saha kullanımları uygun olacaktır.



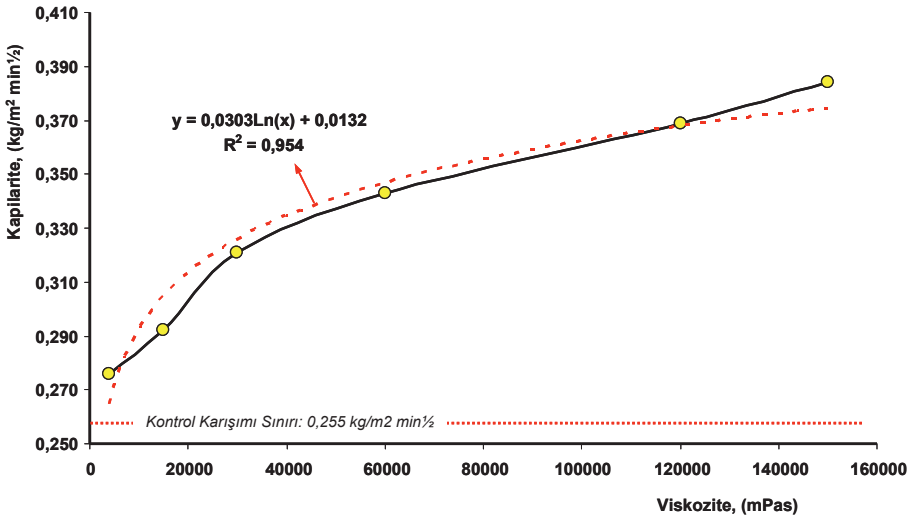
Şekil 2. HEMC selüloz eter viskozite – kuru birim hacim kütle ilişkisi.

Şekil 2’de kompozit harç kombinasyonlarında kullanılan selüloz eter viskozitesindeki değişimin birim hacim kütle ile etkileşiminin grafiksel analizi yapılmıştır. Bildiride daha önce de bahsedildiği gibi HEMC selüloz eter katkısı üretilen harç örneklerinin daha kompakt bir özellik sergilemesine yol açtığı tecrübe edinilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi selüloz eter viskozitesindeki artış kompozit harçları daha kompakt ve daha dolu bir formata dönüştürmesinden dolayı, harçların birim hacim kütlelerinde üstel bir fonksiyon olarak bir azalma trendi kaydedilmiştir. Selüloz eter içermeyen kontrol karışımının sertleşmiş harç birim hacim kütle değeri 839 kg/m^3 olarak elde edilmiş, selüloz viskozitesindeki artışa bağlı olarak birim hacim kütle değeri, 150000 mPas ’lık viskozite değerine geldiğinde 810 kg/m^3 olarak elde edilmiştir. Şekilden de anlaşılabileceği gibi 30000 mPas ’lık viskozite değerine kadar örneklerde birim hacim kütle azalma olgusu daha hızlı gelişmektedir. Bu değerden yüksek viskozite değerlerinde ise birim hacim kütle değerlerindeki azalma daha düşük miktarda gerçekleşmiştir. Ayrıca TS EN 998-1 standardında hafif harç özellikte geliştirilen harçların maksimum birim hacim kütlelerinin 1300 kg/m^3 olması gerektiği belirtilmiştir. Standartta göre, bu çalışma kapsamında üretilen örneklerin hafif kompozit harçlar olduğu söylenebilir.



Şekil 3. HEMC selüloz eter viskozite – basınç dayanımı ilişkisi.

Şekil 3’de, çalışmada kullanılan HEMC selüloz eter viskozitesindeki değişikliğin örneklerin basınç dayanımına olan etkisi grafiksel olarak analiz edilmiştir. Şekilden de anlaşılabileceği üzere, karışımlara eklenen selüloz eterin viskozitesi arttıkça örneklerin basınç dayanımları logaritmik bir fonksiyon trendi ile artma eğilimi sergilemektedir. Bu olgu, selüloz eter viskozitesindeki artışın harcı daha kompakt bir matrise dönüştürmesi ve böylelikle priz almış kuru birim hacim ağırlığını artırması ile açıklanabilir. Daha önce yapılan çalışmalardan ve literatür taramalarından edinilen tecrübe, kuru birim hacim ağırlığı yüksek olan örneklerin daha yüksek basınç dayanım karakteristiği sergilediğini göstermektedir. Benzer durumun bu çalışma kapsamında üretilen örnekler için de geçerli olduğu söylenebilmektedir. Şekil 2 ve Şekil 3 birlikte incelendiğinde, 4000 mPas viskoziteli K1 örneğinin selüloz katkılı örnekler arasında en düşük birim hacim kütle ve en düşük basınç dayanımı, 150000 mPas vizkositeli K6 örneğinin ise en yüksek birim hacim kütle ve en yüksek basınç dayanımına sahip olduğu kolaylıkla görülebilir. Şekil 3’de de gösterildiği gibi kontrol örneğinin basınç dayanımı 2,75 MPa olarak tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen 4000, 15000, 30000, 60000, 120000 ve 150000 vizkositeli selüloz eterlerin örneklerin basınç dayanımlarında sırasıyla %1.09, %1.82, %2.91, %3.27, %4.00 ve %4.36 iyileştirme sağlamıştır.



Şekil 4. HEMC selüloz eter viskozite – kapilarite ilişkisi

Şekil 4’de, çalışmada kullanılan HEMC selüloz eter viskozitesindeki değişimin harç örneklerinin kılcal (kapiler) su emme değerine etkisi grafiksel olarak analiz edilmiştir. Bilindiği üzere, selüloz eter malzemeler genellikle su tutucu malzemelerdir. Karışım bünyesinde selüloz eter kullanımının artması, eşdeğer bir yayılma değeri ulaşmak için genelde daha yüksek su ihtiyacı oluşturmaktadır. Bu olgu, göreceli bir şekilde, sertleşmiş harcın kılcal (kapiler) su emme değerine de etki ettiği görülebilmektedir. Yapılan çalışmada özellikle HEMC selüloz eterin viskozite değeri arttıkça, matris yapının su emme oranının artmasının bir fonksiyonu olarak harcın kapiler su emicilik özelliğinde artış eğiliminin olduğunu gözlenmiştir. Düşük viskozite değerli HEMC selüloz eterli bir harç karışımı ile yüksek viskozite değerli HEMC selüloz eterli bir harcın benzer koşullarda %40 ulaşan oranlarda kapiler su emiciliğinde artış gözlenebilmektedir. Bu olgunun yalnızca viskoziteye bağlı bir değişim olmayıp, karışımda kullanılan diğer bileşenler arasında yer alan gözenekli agregaların ve harç matris yapısının oluşum mekanizmasının da etkin olduğunu irdelemek gerekir.

SONUÇ

Bu çalışmada, yapı malzemeleri sektöründe kimyasal katkılar ve polimerlerin gelişim süreci üzerine kısa bilgiler verilmiştir. Ayrıca, sektörde kullanılan selüloz eterlerin kullanım şekli ve üretim yöntemlerine göre farklı selüloz eterler anlatılmıştır. Ayrıca, çimentolu harç türevlerinde sıklıkla kullanılan HEMC tipi selüloz eterlerin bir dizi çimentolu harç kombinasyonlarının geliştirilmesindeki etkisi de deneysel olarak incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, selüloz eter katkının viskozite değerinin üretilen harç örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde önemli etkileri olduğu saptanmıştır. Viskozite değeri büyüdükçe harçların daha tutucu ve daha kompakt bir yapısal özellik kazandığı tecrübe edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Baysal B., 1994, Polimer Kimyası, ODTU, Fen-Edebiyat Fakültesi Yayınları.
2. Beşergül B., 2003, Polimer Kimyası, Celal Bayar Üniversitesi, Gazi Kitabevi.
3. <http://www.atakimya.com.tr>
4. <http://www.epoksiboya-epoksirecine.com/alkid-recineleri>
5. <http://www.kumrukimya.com/recine-toz-tutkalların-kullanım-alanları.htm>
6. <http://teknikbil.blogspot.com.tr/2013/11/polimer-malzemeler-ve-ozellikleri.html>,
7. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Biyosit>
8. http://terrasilicone.com/tr/index.php/urunler/wf_menu_profiles/kopuk-kesiciler-kopuk-onleyiciler-urunler.html
9. <http://temyad.com/app/kullanici-dosyaları/NAYLON.pdf>
10. <http://www.boyaturk.com/Haber/Seluloz-Eter-ve-Yapi-Malzemelerindeki-Kullanımı.html>
11. Kadioğlu T., Şengül C., Şengül Ö., Akkaya Y., Taşdemir M. A., Rötire Azaltıcı Katkı Malzemeleri, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, İTÜ, İstanbul, s121-130.
12. Kaya, M., 1999, "Alev Geciktirici ve Duman Bastırıcı Katkı Maddeleri", Yangın ve Güvenlik, Sayı 43, ss: 44-49, Mart-Nisan.
13. Sacak M.,2002, Polimer Kimyası, Ankara Üniversitesi, Gazi Kitabevi.

HAFİF AGREGALI KOMPOZİT HARÇLARIN HİDROFOBLUK ÖZELLİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİNDE BİOPOLİMER KATKI KULLANIMI ÜZERİNE BİR İNCELEME

Şevket Onur KALKAN

Arş. Gör.

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü,
İzmir, Türkiye

Lütfullah GÜNDÜZ

Prof. Dr.

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü,
İzmir, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, mikronize boyutta zeytin çekirdeği ve bazı kimyasalların belirli oranlarda kombine edilmesi ile üretilen yeni nesil bir biopolimer katkının hafif yapıdaki kompozit harçların hidrofohluk özelliğine etkileri detaylı olarak irdelenmiştir. Ayrıca, bu çalışma kapsamında, biopolimer katkı kullanılarak üretilen kompozit harçların diğer fiziksel ve mekanik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Sabit işlenebilirlik değerleri baz alınarak üretilen harç örneklerinde, biopolimer artışına bağlı olarak harcın basınç dayanımında artış olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, biopolimer oranındaki artış harcın su emme ve kapilarite değerlerinde bir düşme etkisi göstermiştir. Diğer bir deyişle, sertleşmiş harcın hidrofohluk özelliğini iyileştirmiştir. Mikronize boyutta zeytin çekirdeği ile üretilen biopolimer katkının bir diğer önemli etkisi de ısı iletkenlik üzerinde gözlenmiştir. Kompozit harca eklenin biopolimer oranı arttıkça harcın ısı iletkenlik değerlerinde de önemli bir düşüş kaydedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hafif harç, hidrofohluk, polimer, biopolimer, zeytin çekirdeği.

AN ANALYSIS ON THE USE OF BIOPOLYMER CONTRUBITION IN THE DEVELOPMENT OF HYDROPHOBIC PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT AGGREGATED COMPOSITE MORTARS

ABSTRACT

In this study, the effect of a new generation biopolymer additive, which is produced by combining olive seed/stone and some chemicals in micronized size at specific ratios, on the hydrophobicity property of lightweight composite mortars are examined in detail. In addition, in this study, other physical and mechanical properties of composite mortars produced by using biopolymer additives have been experimentally investigated. It has been observed that in the samples of mortars produced on the basis of constant workability values, the compressive strength of the mortars increases due to the increase of biopolymer amount. Also, the increase in the biopolymer ratio had a declining effect on the water absorption and capillarity values of the samples. In other words, the biopolymer additive improves the hydrophobicity property of the hardened mortars. Another important effect of the biopolymer, produced by the olive stone in micronized size, contribution was also observed on the thermal conductivity. As the biopolymer ratio added to the composite mortar increased, the thermal conductivity values of the mortar were also significantly reduced.

Keywords: Lightweight mortar, hidrofofycity, polymer, biopolymer, olive stone.

GİRİŞ

Zeytin insan yaşamı için çok önemli bir besin kaynağıdır. 2015 yılı verilerine göre, tüm dünyada 900 milyona ulaşan zeytin ağaçlarının %98'i, ülkemizin de yer aldığı, Akdeniz coğrafyasında bulunmaktadır [1]. 2016 TÜİK verilerine göre ise [2], Türkiye'de toplam 174 milyon adet zeytin ağacından aynı yıl için 1.73 milyon ton zeytin üretilmiştir. Bu üretimin 430 bin tonu sofralık zeytin, 1.3 milyon tonu ise zeytin yağı üretimi amacıyla kullanılmıştır [2]. Dolayısıyla, zeytin tüketiminden en az iki farklı katı atık üretildiği söylenebilir. Sofralık zeytin tüketiminden zeytin çekirdeği atık olarak üretilmekte ve zeytinyağı fabrikalarından ise pirina adı verilen üretim atığı meydana gelmektedir. Zeytin meyvesinin yaklaşık % 40-55'i zeytin özsuyu, % 18-32'si yağ, % 14-22'si çekirdektir [3]. Bu bilgiye dayanarak, ülkemizde her yıl evlerde en az 60 bin ile 95 bin ton arasında zeytin çekirdeği atık duruma gelmektedir. Zeytinyağı üretiminden arta kalan pirina ve/veya zeytin çekirdeği olarak nitelendirilebilen biokütlenin genel olarak kullanımı elektrik veya ısı enerjisi üretimi maksadı ile yakılması şeklindedir. Bu atık malzemenin, aktif karbon, furfural üretimi, plastik üretiminde dolgu, aşındırıcı, kozmetik, biyosorbent, hayvan yemi ve reçine oluşumu gibi diğer potansiyel kullanımları için de araştırmacılar tarafından çalışmalar yürütülmüştür [4]. Zeytin atıklarının inşaat sektöründe yapı malzemesi türvelerinde kullanımı üzerine literatürde bazı çalışmalar bulunmaktadır. Alkheder ve diğ. [5] zeytin yağı üretiminden arta kalan zeytin atıklarının yakılması ile üretilen külün çimento pastasında kullanımı üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada araştırmacılar, çimento ile ağırlıkça %3, %6, %9, %12 ve %15 oranında atık zeytin külünü yer değiştirmişlerdir. Çalışma sonunda çimento pastası içerisindeki atık zeytin külü miktarı arttıkça harçların priz başlangıç ve priz bitiş sürelerinde ötelenme olduğu görülmüştür. Ayrıca, atık zeytin külü miktarındaki artış harcın basınç ve eğilme mukavemetinde azalmaya sebebiyet vermiştir. La Rubia-Garcia ve diğ. [6] iki fazlı zeytinyağı üretim tesislerinin işlemlerinden arta kalan yaş durumdaki ezilmiş zeytin atıklarının ısı yalıtımlı tuğla üretiminde gözenek oluşturuca ajan olarak kullanılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada ağırlıkça %5, %10, %15, %20 ve %25 oranında yaklaşık %62 nem içeren zeytin atıkları doğrudan tuğla harcına ilave edilmiştir. Araştırma sonucunda, yaş durumdaki zeytinyağı proses atıklarının tuğla harcında gözenek oluşturduğu ve harcın yoğunluğunda atık oranı arttıkça azalma ve harcın ısı iletkenlik değerinde önemli ölçüde azalma kaydedilmiştir. Barreca and Fichera [7] çalışmalarında, üç

fazlı yetinyacağı üretim prosesinden arta kalan ve nispeten düşük nemli zeytin atıklarını, doğal yöntemlerle kurutulmasından sonra, çimento harcında harcın ısı yalıtım özelliğini iyileştirmek amacıyla kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, zeytin atığı kullanımının ısı iletkenliği önemli ölçüde düşürdüğü tespit edilmiştir. Cuenca ve diğ. [8] atık zeytin peletlerinin yakılarak elde edilen uçucu külün kendiliğinden yerleşen beton üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılması üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Laboratuvar test sonuçlarına göre uçucu kül dolgulu betonların basınç dayanım değerleri, referans numunesinin basınç dayanım değeri ile aynı veya biraz daha fazla olarak tespit edilmiştir. Uçucu kül dolgulu beton örneklerinin kendiliğinden yerleşebilme karakteristiği ise yine referans örneklerinin kendiliğinden yerleşebilme karakteristiği ile benzer sonuçlar vermiştir. Eisa [9] çalışmasında, ayrı ayrı karışımlarda silis dumanı, uçucu kül, zeytin çekirdeği külü ve mısır koçanı külünün çimento ile yer değiştirme yöntemi ile beton üzerindeki etkilerini incelemiştir. Kontrol numunesine oranla, zeytin çekirdeği külü içeren beton numunelerinin çökme değerlerinde %200 artış tespit etmiştir. Ancak, zeytin çekirdeği külü, basınç dayanım değerlerini %75'e kadar düşürmüştür. Literatür çalışmasından da görülebileceği gibi zeytin atıklarının inşaat sektöründe çimentolu bileşiklerin üretilmesinde çeşitli kullanımları bulunmaktadır. Ancak, bu atıkların polimer olarak kullanımına ilişkin yeterli düzeyde kaynak bulunmamaktadır. İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemeleri Ana Bilim Dalı Ar-Ge İnovasyon Laboratuvarında sürdürülmekte olan bir ArGe çalışmasında, zeytin çekirdeklerinin BioPolimer katkı malzemesi olarak geliştirilmesi üzerine analizler yapılmıştır. Bu tebliğde, geliştirilen bu BioPolimerin yeni nesil hafif agregalı kompozit harç kombinasyonlarında kullanımı ve harcın hidrofobluk özelliğinin gelişimine olan etkileri üzerine elde edilen teknik bulgular irdelenerek tartışılmıştır.

AMAÇ

Bu bildiride sunulan deneysel çalışmaların amacı atık zeytin çekirdeklerinin kompozit harçlarda harcın özellikle hidrofobluk karakteristiğine ve fiziksel ve mekanik davranışına etkisini incelemektir. Atık zeytin çekirdekleri öğütülüp istenilen tane boyutlarına getirildikten sonra bazı kimyasallar ile belirli oranlarda karıştırılarak yeni bir biopolimer üretilmiştir. Üretilen yeni nesil biopolimerin harcın fiziksel

ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışma ile ayrıca doğaya dost bir ürün geliştirilmekle birlikte atık bertarafı da sağlanmaktadır.

Materyal ve Metot

Deneyisel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

Bu deneyisel çalışmada, atık zeytin çekirdeklerinin bazı kimyasallar ile modifikasyonları ile yeni nesil doğal bir biopolimer üretilmiştir. Zeytin meyvesi, sap, ağırlıkça %1-3 oranında kabuk (epikarp), %70-80 oranında meyve eti (mezokarp), %18-22 oranında çekirdek (endokarp) ve %2-6 oranında çekirdek içinden oluşmaktadır [10]. Zeytin çekirdeği içi ağırlıkça %22-27 oranında yağ barındırmaktadır [4, 10]. Çekirdek içinin barındırdığı yağ yüksek miktarda linoleik asit barındırdığı için, çekirdek içinin yağ bileşimi çoklu doymamış yağ asitleri (PUFAs) bakımından zengindir. Ayrıca zeytin çekirdeği içi yağında bulunan linoleoil zinciri, zeytin yağında bulunana göre daha boldur [11]. Çizelge 1’de zeytin çekirdeğinin kabuğu ve zeytin çekirdeği içinin CHCl_3 – EtOH ekstraktları ile saptanan kimyasal bileşenleri verilmiştir.

Çizelge 1. Zeytin çekirdeğinin kabuğu ve zeytin çekirdeği içinin CHCl_3 – EtOH ekstraktları ile saptanan kimyasal bileşen oranları [10].

Bileşen	Zeytin çekirdeği kabuğu	Zeytin çekirdeği içi
Alkanlar	1.7	Eser miktar
Skualen	-	Eser miktar
Alkil esterler	-	0.3
Triasilgliserol	78.0	80.0
Serbest yağ asitleri	7.0	8.0
Alifatik alkoller	0.1	0.2
Aldehitler	-	-
Triterpen alkoller	1.5	0.4
Triterpen asitler	0.6	4.0
Serbest steroller	Eser miktar	Eser miktar
Steril esterler	1.1	2.0
Tanımlanamayan	10.0	5.0

Çizelge 1’den de kolaylıkla görülebileceği gibi zeytin çekirdeğinde büyük oranda triaçilgliserol bulunmaktadır. Triaçilgliseroller, gliserol (gliserin) ve üç yağ asidinden oluşan bir esterdir. Bitkisel ve hayvansal yağların ana bileşenidir. Triaçilgliseroller, nanopolar ve *hidrofobik* moleküllerdir [12]. Zeytin çekirdeğinde gliserole bağlı başlıca yağ asidi Dilinoleoil-oleoil-gliserol (LLO)’dür. Bu deneysel çalışmada kullanılan zeytin çekirdeği -125µm boyutlarındadır. Zeytin çekirdeği tozu içeren biopolimer katkı, *mikronize zeytin çekirdeği* ile birlikte *sodyum oleat* ve *gliserid stearin* belirli oranlarda karıştırılarak üretilmiştir. Bu çalışmada, bağlayıcı malzeme olarak beyaz Portland çimentosu, ana agrega malzemeler pomza ve tuf olarak seçilmiştir. Ayrıca, dolomit, sönmüş toz kireç ve selüloz dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır.

Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Karışım Dizaynı

Bu deneysel incelemede, atık zeytin çekirdekleriyle üretilen bir biopolimerin kompozit harçlar üzerindeki etkisini incelemek üzere farklı karışım oranları tasarlanmıştır. Ayrıca biopolimer kullanımından kaynaklanabilecek etkileri doğru irdeleyebilmek için, biopolimer kullanılmamış ayrı bir karışım da kontrol karışımı olarak tasarlanmıştır. Harç kombinasyonlarının tasarımı Çizelge 2’de verilmiş olup, karışım oranları TS EN 998-1’de belirtilen tasarım metodolojisine ve ilgili standartlara göre gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2. Hafif harç karışım kombinasyonları.

Bileşen	Kontrol	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
BOPC (%)	30	30	30	30	30	30
Pomza (%)	35	35	35	35	35	35
Dolgu malzemesi (%)	12.15	12.15	12.15	12.15	12.15	12.15
Tuf (%)	22.85	22.75	22.65	22.55	22.45	22.35
Biopolimer (%)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5

Çizelge 2’den de görülebileceği gibi, Z1 kodlu karışım formülasyonu, kompozit harçların fiziksel ve mekanik özelliklerini karşılaştırabilmek amacıyla, biopolimer ilavesi kullanılmadan formülize edilmiştir. Diğer karışım dizaynlarında ise (Z1, Z2, Z3, Z4, Z5) %0.1’den %0.5 oranına kadar %0.1’lik bir oran ile

arttırılan biopolimer kullanımı dizayn edilmiştir. Bütün karışım dizaynlarında bağlayıcı olarak kullanılan beyaz Portland çimentosu (BOPC) standartlaştırılarak %30 oranında kullanılmıştır. Benzer şekilde, 1.5mm altı olarak kullanılan pomza miktarı da karışım kombinasyonlarında sabit olarak %35 oranında kullanılmıştır. Ayrıca, toz kireç, dolomit ve selülozdan oluşan dolgu malzemesi de %12.15 oranında sabit olarak kullanılmıştır. Karışım dizaynında, biopolimer oranının artışı kadar tuf oranında azaltma yapılmıştır. Numunelerin birim hacim ağırlık analizleri TS EN 1015-10 standardına uygun olarak tespit edilmiştir. Bütün numunelerin kılcal (kapiler) su emme katsayılarının tayininde TS EN 1015-18 standardı kullanılmıştır. Üretilen numunelerin kıvam analizleri ASTM C1407-13 standardının öngördüğü şekilde yayılma tablası kullanılarak tespit edilmiştir. Priz başlangıç ve priz bitiş sürelerinin tayin edilmesi için ASTM C191-13 standardının öngördüğü şekilde vicat aparatı kullanılmıştır. 50mm x 50mm x 50mm boyutlarında üretilen küp numunelerin basınç dayanım testleri ASTM C109 standardına göre yapılmıştır. Harç örneklerinin ısı iletkenlik değerlerinin tespitinde ise ASTM C177-13 standardı kullanılmıştır.

Araştırma Bulguları

Kıvam ve Karışım Suyu Miktarı

Kompozit harç karışımlarının hazırlanmasında harcın su ihtiyacı, yayılma tablası aparatı ile tespit edilmiş ve her bir karışım için ayrı ayrı uygun su değerleri saptanmıştır. Çizelge 3 incelendiğinde, bu çalışmada yapılan deneysel incelemeler ve bu incelemelerden elde edilen bulguların özeti verilmiştir. Çizelge 3'den de anlaşılabileceği üzere bütün karışımların hazırlanmasında, kompozit harçların işlenebilirliğini sabit tutabilmek amacıyla harçların yayılma tablası üzerindeki yayılma değerleri 165 ± 5 mm olacak şekilde sabit tutulmuştur. Harç örneklerinin hazırlanması sırasında zeytin çekirdeği ile üretilen biopolimer katkı kullanımının artışı ile birlikte harcı su ihtiyacının da arttığı tecrübe edilmiştir. Bu bağlamda, üretilen kompozit harçlarda sabit işlenebilirlik değerini koruyabilmek için biopolimer oranı arttıkça karışıma dahil olan su miktarı ve buna bağlı olarak su/katı oranı da arttırılmıştır (Çizelge 3).

Çizelge 3. Üretilen kompozit harçların başlıca fiziksel ve mekanik özellikleri.

Karışım	Su/katı oranı	Taze harç birim hacim ağırlık (kg/m ³)	Sertleşmiş harç birim hacim ağırlık (kg/m ³)	Yayılma değeri (mm)	Basınç dayanımı (MPa)
Kontrol	0.452	1125	788	165±5	2.43
Z1	0.463	1095	794	165±5	2.45
Z2	0.474	1107	785	165±5	2.49
Z3	0.486	1112	778	165±5	2.54
Z4	0.492	1115	771	165±5	2.61
Z5	0.533	1123	762	165±5	2.69

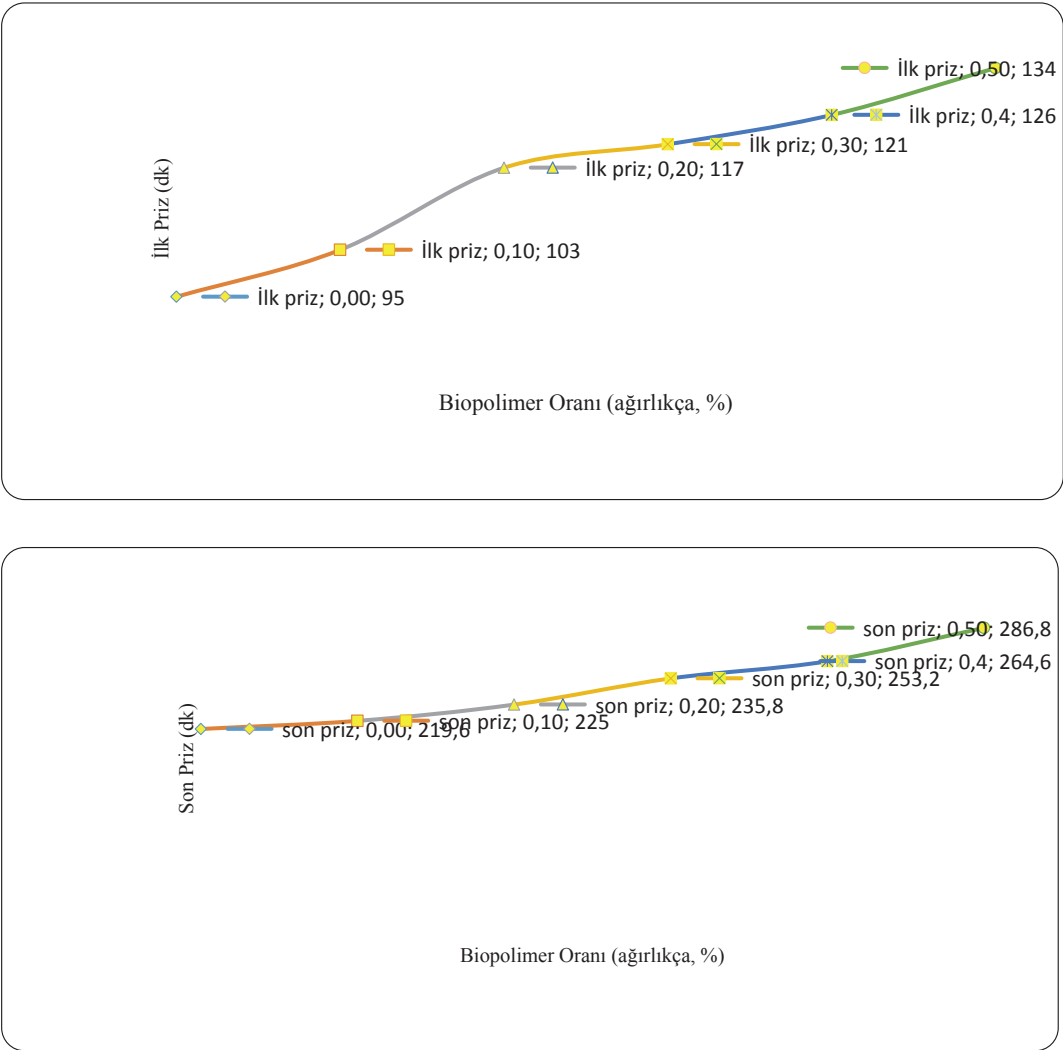
Birim Hacim Ağırlık Değerleri

Karışımlarda biopolimer oranı arttıkça istenilen kıvam değerine ulaşmak için su/katı oranı arttırılmıştır. Ancak, artan su/katı oranı kompozit harç örneklerinin taze harç birim hacim ağırlıklarında küçük miktarda artışa yol açmış ve sertleşmiş harç birim hacim ağırlık değerlerinde herhangi bir artışa neden olmamıştır (Çizelge 3). Bu olgu, üretilen harç örneklerinin priz alma ve sertleşme süresince bünyede bulunan suyu kolaylıkla kaybedebildiğini göstermektedir. Test edilen numunelerinin taze harç birim hacim ağırlık değerleri, 1095 kg/m³ ile 1123 kg/m³ arasında değişim sergilemiştir. Üretilen harçların sertleşmiş harç yoğunlukları ise biopolimer oranındaki artışa bağlı olarak 794 kg/m³ ile 762 kg/m³ arasında bir azalma eğilimi sergilemiştir. Harç örneklerinde yoğunluğun azalması ile harç örneklerinin beklenmedik şekilde daha dayanımlı olduğu görülmüştür.

Harç Örneklerinin İlk Priz ve Son Priz Değerleri

Bu deneysel araştırmada, taze harç örneklerinin priz başlangıç ve bitiş zamanlarını hesaplamak için vicat aparatı kullanılmıştır. Bu test, ASTM C191-13 standardının öngördüğü şartlara göre gerçekleştirilmiştir. Hafif agregalı kompozit harç örneklerinin ilk priz ve son priz değerleri Şekil 1’de ayrıntılı olarak verilmiştir. İlk priz süresinin, biopolimer oranının artışına bağlı olarak 95 ile 134 dakika arasında değiştiği gözlenmiştir. Bütün örneklerin nihai priz süresi için de benzer şekilde artan bir değişim söz konusu olmuştur. Benzer şekilde, hafif kompozit harç örneklerinin son priz süreleri,

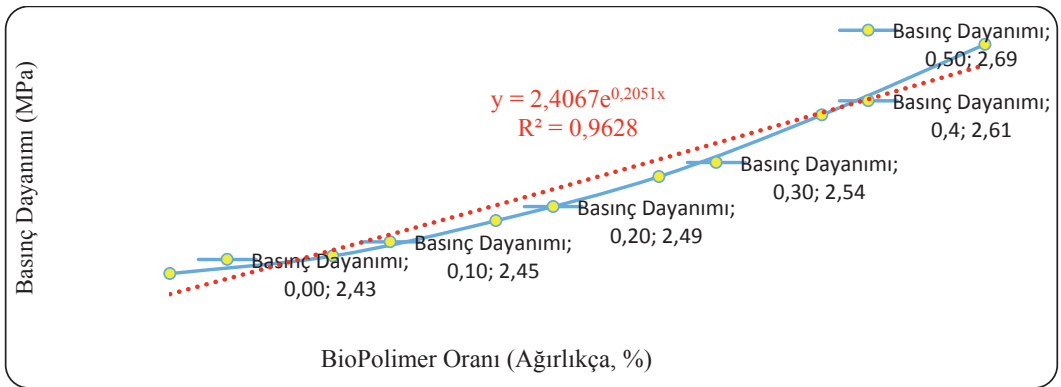
biopolimer miktarındaki artışa bağlı olarak 220 dakika ile 287 dakika arasında değişim sergilemiştir. Genel olarak, test sonuçları, biopolimer katkının hafif kompozit harçta hem ilk priz süresini hem de son priz süresini belirli bir miktarda ötelediğini göstermektedir.



Şekil 1. Biopolimer oranı – ilk priz ve son priz değerleri ilişkisi.

Basınç Dayanımı

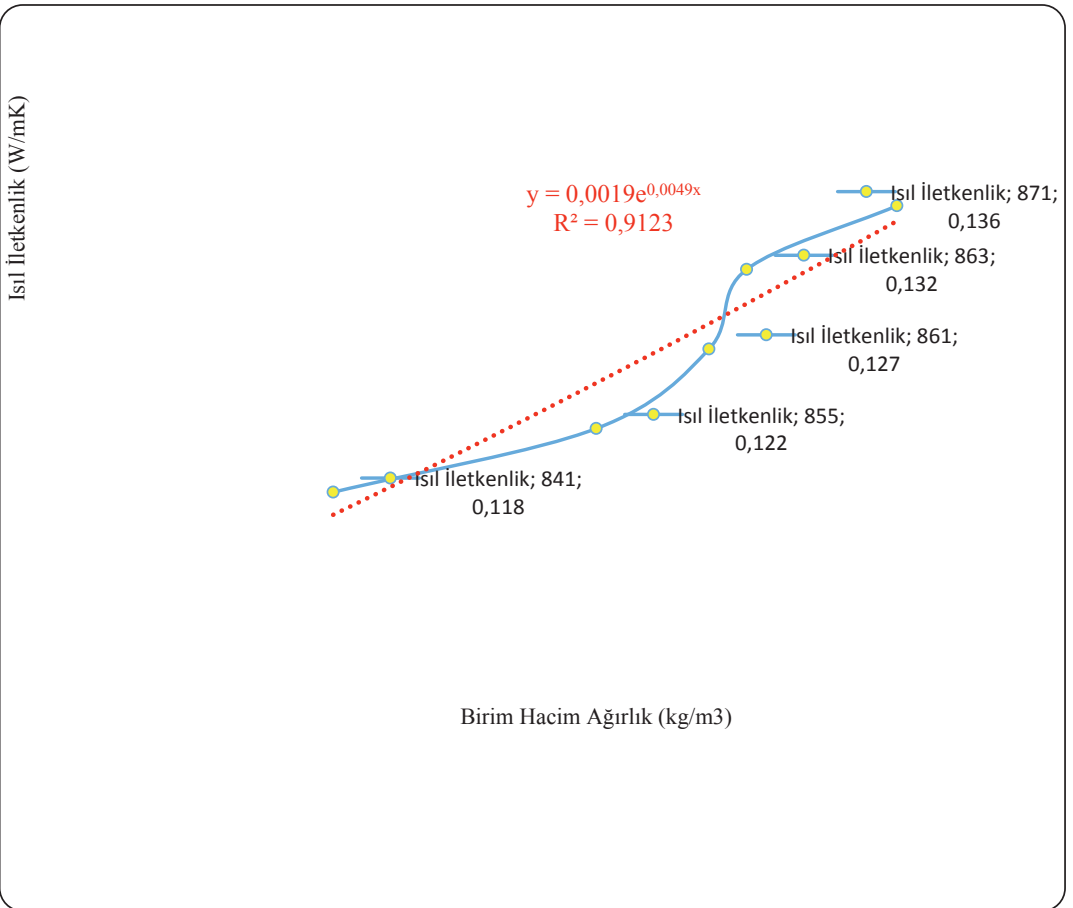
Bu çalışma kapsamında üretilen küp numunelerin 28 günlük basınç dayanım testleri ASTM C109 standardının öngördüğü kriterlere göre yapılmış ve bu testlerin sonuçları grafiksel olarak Şekil 2’de verilmiştir. Literatürde, çimento bağlayıcılı malzemelerin birim hacim ağırlıklarındaki azalma, genellikle basınç dayanımında da bir azalmaya sebebiyet verdiği tecrübe edinilmiştir. Ancak, her ne kadar karışım dizaynlarında biopolimer oranı arttıkça kompozit harcın birim hacim ağırlığı azalsa da, bu çalışmada, biopolimer oranındaki artışa bağlı olarak basınç dayanımlarında da artış gözlemlenmiştir. Bu olgu, kompozit harcın çimento matrisindeki bağ yapısının bu çalışmada üretilen biopolimerin etkisi ile güçlendiği ve böylece, biopolimer katkının basınç dayanımı açısından malzemeyi daha mukavim bir duruma getirdiği söylenebilir. Basınç dayanım testinden elde edilen verilere göre, biopolimer katkısız olarak hazırlanan kontrol karışımının basınç dayanım değeri 2.43 MPa olarak saptanmıştır. Diğer karışımlara ilave edilen %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5’lik biopolimer katkı, kompozit harcın örneklerinin basınç dayanımını iyileştirerek sırasıyla 2.45, 2.49, 2.54, 2.61, ve 2.69 MPa değerlerine ulaştırmıştır. Şekil 2’den de görülebileceği gibi, basınç dayanımı açısından en etkili biopolimer oranı %0.5 olarak saptanmıştır. Bu oran harcın basınç dayanım değerini yaklaşık olarak %10.7 oranında arttırmıştır. TS EN 998-1 standardında öngörülen kategorilere dayanılarak hafif agregalı kompozit harç örneklerinin 28 günlük basınç dayanım değerlerinin tümünün CS II basınç dayanım sınıfını sağladığı görülmektedir.

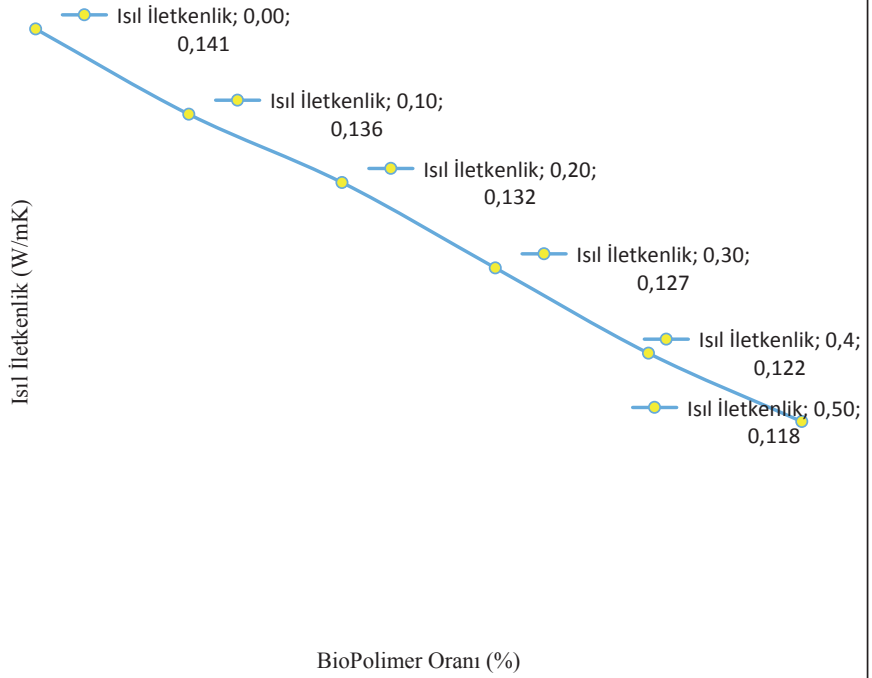


Şekil 2. Biopolimer oranı – basınç dayanımı ilişkisi.

Isıl İletkenlik

Hafif agregalı kompozit harçların en önemli özelliklerinden biri de gözenekliliğinin bir fonksiyonu olarak düşük yoğunluk değerlerinde sağladıkları ısı yalıtım performans özelliğidir. Hafif agregalı kompozit harç örneklerinin ısı iletkenlik değerleri ASTM C177-13 standardında öngörülen Mahfazalı Sıcak Kutu yöntemine göre ölçülmüştür. Elde edilen tüm karışım kombinasyonlarına ait harç yoğunluk değişimi ve biopolimer oran değişimi bağlamında ısı iletkenlik değerleri Şekil 3'de grafiksel olarak verilmiştir.





Şekil 3. Basınç dayanımı ve biopolimer oranı – ısı iletkenlik ilişkisi.

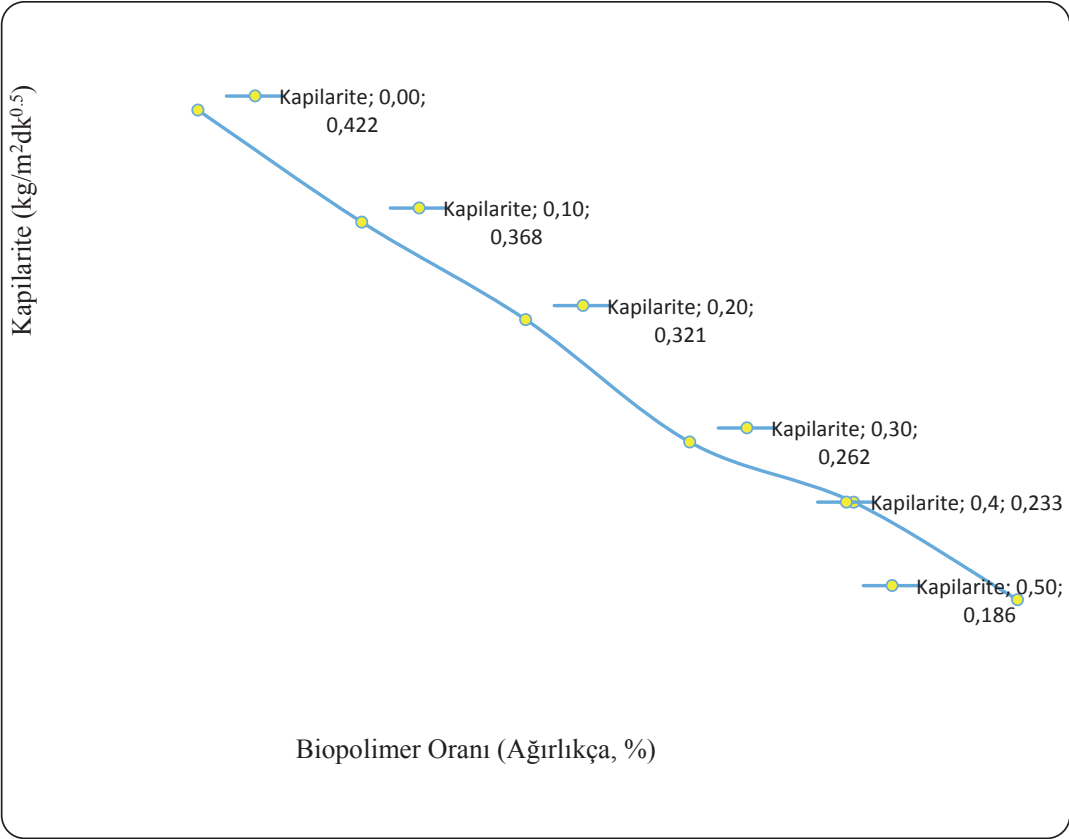
Isı iletkenlik analiz bulguları incelendiğinde görüldüğü gibi, en düşük ısı iletkenlik değeri biopolimer kullanım oranı en yüksek olan örneklerde tespit edilmiştir. Hafif agregalı kompozit harç örnekleri için elde edilen ısı iletkenlik değeri aralığı 0,118 – 0,141 W/mK arasında değişim göstermektedir. Karışım kombinasyonunda biopolimer oranı arttıkça, ısı iletkenlik değeri üstel bir fonksiyonel yaklaşımla azalmakta olup, kompozit harcın yapısı daha yalıtkan bir duruma gelmektedir. Bununla birlikte, %0'dan %0.5'e değişen biopolimer kullanım oranıyla, hafif agregalı kompozit harç yaklaşık olarak %16

daha fazla enerji verimliliği sağlayan bir yapısal özelliğe dönüşmektedir. Bu da özellikle ısı yalıtım özelliği üst performanslarda üretilecek harç elemanlarında atık zeytin çekirdeği içeren biopolimer katkıların çok önemli bir konuma gelebileceğini göstermektedir.

Kapilarite

Kompozit harç ürünleri, sektörel uygulamalarda yaygın olarak dış atmosfer veya dış ortam koşullarında kullanılabilecek özellikte olabilir. Bu sebeple, bu tür yapı malzemelerinin su etkisine karşı dirençleri ve bünyelerinde kapiler olarak yükselen veya malzeme bünyesine emilen suya karşı gösterdikleri direnç çok önemlidir. Bu bağlamda, harç malzemelerin kapiler su geçirimsizlik değerlendirmesi de kaçınılmaz bir duruma gelmektedir. Sektörel uygulamalarda harç ürünlerinin sertleştikten sonra su geçirime ve/veya kılcal (kapiler) su emme değerlerini olabildiğince düşük tutmak amacıyla, genellikle harç karışımına bir takım polimerler, düşük miktarlarda eklenmektedir. Harcın su emme özelliğini düşürmek amacıyla karışımlara dahil edilen bu tür polimerler harçları hidrofobik bir yapı sergileme özelliğine iter. Böylece bu tür özel polimerli harçlar büyük ölçüde su geçirimsiz bir hal alır. Harçlara hidrofobik özellik katan bu tür polimerler çoğunlukla oleik asit tuzları, stearik asit, kaprilik asit ve yağ asitlerinin başka kimyasallar ile karıştırılması sonucu üretilmektedir [13]. TS EN 998-1 standardında harç gruplarının kılcal (kapiler) su emme (c) değerleri için, 3 ayrı sınıf öngörülmüştür (W0–W2). Çalışma kapsamında hafif harç malzemeler olarak hazırlanan örneklerin kılcal (kapiler) su emme değerleri TS EN 1015-18 standardına göre analiz edilmiş olup, bulgular Şekil 4’de verilmiştir. Grafiksel analizden de görüldüğü üzere, harç karışımlarında biopolimer kullanım oranı arttıkça, kılcal (kapiler) su emme karakteristiği azalma trendi göstermektedir ve kapiler olarak daha geçirimsiz bir yapısal form kazanmaktadır. Kompozit harç örneklerinde kullanılan %0, %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5’lik biopolimer oranına karşılık, kapiler su emme değerleri sırası ile 0.422, 0.368, 0.321, 0.262, 0.233 ve 0.186 olarak tespit edilmiştir. En yüksek biopolimer kullanımı olan %0.5 oranında kompozit harcın kılcal su geçirimsizlik özelliği %55.92 oranında iyileşmiştir. Kompozit harca su geçirimsizlik özelliğini katan en büyük etmen biopolimerin içerisinde bulunan zeytin çekirdeğinin sahip olduğu yağ asitleridir. Ayrıca, harç örneklerinin kılcal (kapiler) su emme karakteristiği kontrol numunesinde $0.40 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{dak}^{0.5}$ ’nin üzerinde olduğu için standarda göre kabul edilemez durumda

iken, biopolimer oranı arttıkça standarda göre kılcak (kapiler) su emme sınıfı önce W2 daha fazla biopolimer kullanımında ise W1 sınıfına yükselmiştir.

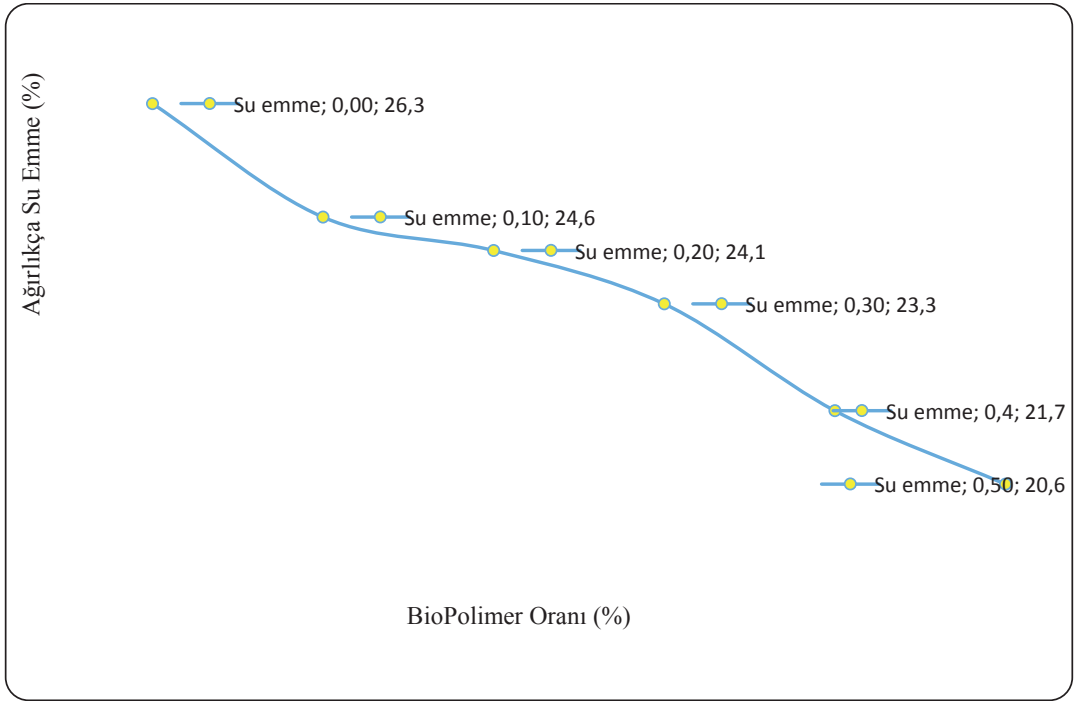


Şekil 4. Biopolimer oranı – Kapilarite ilişkisi.

Daldırma İle Su Emme

Su emme deneyleri laboratuvarında normal ortam şartlarında bekletilen numuneler üzerinde 28. günlerde yapılmıştır. Küp numuneler 28 günlük kür şartlarından sonra etüv ortamında tamamen kuruyuncaya kadar bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan örneklerin ağırlıkları kaydedilmiştir. Daha sonra 23

$\pm 2^{\circ}\text{C}$ su içerisinde 48 saat beklemeye alınmıştır. Bu işlemden sonra sudan çıkarılan numuneler tartılarak ağırlıkları kaydedilmiştir. Böylece her bir numunenin suya doymuş ve etüvde kurutulmuş durumdaki ağırlıkları saptanarak yüzdesel olarak numunelerin su emme miktarları belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında üretilen numunelerin daldırma ile elde edilen su emme değerleri Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Biopolimer oranı – Ağırlıkça su emme ilişkisi.

Üretilen harç örneklerinin kılcal su emme değerlerinde olduğu gibi, biopolimer oranındaki artışa bağlı olarak ağırlıkça su emme değerlerinde de bir azalan trend saptanmıştır. Atık zeytin çekirdekleri ile üretilen biopolimer katkı, üretilen kompozit harç örneklerinin daldırma ile su emme değerlerinin düşmesinde de oldukça etkin olarak görülmüştür. Biopolimersiz olarak üretilen kontrol harcının ağırlıkça su emme değeri %26.3 iken, %0.1, %0.2, %0.3, %0.4 ve %0.5 biopolimer içeren harç

örneklerinin su emme değerleri ağırlıkça %24.6, %24.1, %23.3, %21.7 ve %20.6 olarak elde edilmiştir. %0.5 ile en yüksek biopolimer kullanılan harç serisi kontrol numunesine göre %21.67 oranında daha az suyu bünyesine absorbe etmiştir. Bu durum, zeytin çekirdeğinin kompozit harçlarda sertleşmiş harcın su emme karakteristiğini oldukça azalttığını göstermektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, atık biyolojik malzemelerden üretilen yeni nesil bir biopolimer katkının hafif agregalı kompozit harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu bağlamda analiz edilen kompozit harç örneklerinde, harca hidrofobik özellik katıcı biopolimer katkının, numunelerin kılcal su emme ve suya daldırma yöntemi ile ağırlıkça su emme değerlerinde önemli ölçüde azalmaya yol açtığı tecrübe edilmiştir. Ağırlıkça %0.5'lik su itici biopolimer kullanım oranında numunelerin kılcal su emme değerinde %55.92 oranında, ağırlıkça su emme değerinde ise %21.67 oranında iyileşme kaydedilmiştir. Bu sonuçlara göre, bu çalışma kapsamında, sertleşmiş harçların su emme oranını azaltma amacı ile üretilen ve kullanılan biopolimer katkı iyi bir su itici ajan olarak görülmektedir. Ayrıca, biopolimer kullanım oranındaki artış harç örneklerinin basınç dayanımında da bir artışa yol açmıştır. Bununla birlikte, biopolimer kullanımı harçların ilk ve son priz sürelerini geciktirici bir katkı olarak da gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı Kooperatifçilik Genel Müdürlüğü 2015 Yılı Zeytin ve Zeytinyağı Raporu.
Erişim: http://koop.gtb.gov.tr/data/56e95c1a1a79f5b210d91772/2015_Zeytinyagi%20Raporu.pdf.
2. TÜİK. Zeytin üretimi. 2016. Erişim: http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001.
3. Çetinkaya, E., Zeytin Çekirdeğinden Üretilen Aktif Karbonun Baca Gazı Desülfürizasyonunda Kullanılması. 2017, Enerji Enstitüsü.
4. Rodríguez, G., et al., Olive stone an attractive source of bioactive and valuable compounds. Bioresource Technology, 2008. **99**(13): p. 5261-5269.
5. Alkheder, S., Y.T. Obaidat, and M. Taamneh, Effect of olive waste (Husk) on behavior of cement paste. Case Studies in Construction Materials, 2016. **5**: p. 19-25.
6. La Rubia-García, M.D., et al., Assessment of olive mill solid residue (pomace) as an additive in lightweight brick production. Construction and Building Materials, 2012. **36**: p. 495-500.
7. Barreca, F. and C. Fichera, Use of olive stone as an additive in cement lime mortar to improve thermal insulation. Energy and Buildings, 2013. **62**: p. 507-513.
8. Cuenca, J., et al., Effects of olive residue biomass fly ash as filler in self-compacting concrete. Construction and Building Materials, 2013. **40**: p. 702-709.
9. Eisa, A., Properties of concrete incorporating recycled post-consumer environmental wastes. International Journal of Concrete Structures and Materials, 2014. **8**(3): p. 251-258.
10. Bianchi, G., Lipids and phenols in table olives. European Journal of Lipid Science and Technology, 2003. **105**(5): p. 229-242.
11. Ranalli, A., et al., Acylglycerol and fatty acid components of pulp, seed, and whole olive fruit oils. Their use to characterize fruit variety by chemometrics. Journal of agricultural and food chemistry, 2002. **50**(13): p. 3775-3779.
12. Gelişgen, R. Lipidler. Ders notları. Erişim: <http://194.27.141.99/dosya-depo/ders-notlari/remisa-gelisgen/Lipidler.pdf>.
13. EFCA Environmental Declaration Waterproofing Admixtures. 2005 Erişim: <http://cementaid.co.uk/wp-content/uploads/2016/02/EnvironmentalAssess.pdf>.

SELÜLOZ TÜREVİ VİSKOZİTE DÜZENLEYİCİ KATKILARIN ÇİMENTO HARCİ TAZE VE SERTLEŞMİŞ ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

Ercan BOZKURT

İnşaat Mühendisi

Dokuz Eylül Üniversitesi

İzmir, Türkiye

Eren GÖDEK

Öğretim Görevlisi

Hitit Üniversitesi

Çorum, Türkiye

Burak FELEKOĞLU

Doçent Doktor

Dokuz Eylül Üniversitesi

İzmir, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, toz formda ve suda çözünebilen üç farklı selüloz türevi viskozite düzenleyici katkının (VDK) çimento harcının taze ve sertleşmiş özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında bir adet şahit harç ile hidroksi-etil selüloz (HES) ve iki farklı kimyasal yapıya sahip metil-hidroksi-etil selüloz (MHES) katkısı kullanılarak üç adet katkılı harç hazırlanmıştır. Katkı dozajı çimento ağırlığının %1,00'i oranında sabit tutulmuştur. Çimento harçlarının taze halde priz başlangıç ve bitiş süreleri, su tutma kapasiteleri, birim hacim ağırlıkları belirlenmiş ve reometre analizleri gerçekleştirilmiştir. Sertleşmiş halde ise 28 günlük eğilme, basınç ve aderans (çekme-koparma) deneyleri yapılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, selüloz türevi VDK'nın priz süresini aynı su/çimento oranında hazırlanan şahit harca kıyasla genel olarak arttırdığı görülmüştür. Reolojik parametreler ve yayılma çapları dikkate alındığında işlenebilirlik açısından HES (Hidroksi-etil selüloz) ve MHES-D (Metil-hidroksi-etil selüloz D tipi) katkılarının MHES-Y'ye (Metil-hidroksi-etil selüloz Y tipi) kıyasla daha avantajlı olduğu görülmüştür. VDK'nın eğilme dayanımına belirgin bir etkisi olmadığı ancak basınç dayanımlarını olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Yapışma mukavemeti açısından en olumlu sonucu MHES-Y katkısı (kohezif kopma) vermiş ve şahit harca kıyasla daha yüksek yapışma mukavemeti elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Viskozite düzenleyici katkı, Selüloz, Çimento, Harç.

THE EFFECTS OF CELLULOSE DERIVATIVE VISCOSITY MODIFYING ADMIXTURES ON FRESH AND HARDENED PROPERTIES OF CEMENT MORTAR

Ercan BOZKURT

Civil Engineer

Dokuz Eylül University

İzmir, Turkey

Eren GÖDEK

Lecturer

Hitit University

Çorum, Turkey

Burak FELEKOĞLU

Associate Professor

Dokuz Eylül University

İzmir, Turkey

ABSTRACT

In this study, the effects of three different powdered and water soluble cellulose derivative viscosity modifier additives (VMA) on the fresh and hardened properties of cement mortars were investigated. A reference mortar and three admixed cement mortars were prepared by using hydroxy-ethyl cellulose (HEC) admixture and methyl-hydroxy-ethyl cellulose (MHEC) admixtures with two different chemical structures within the scope of this study. Admixture dosage was kept constant as 1,00% by weight of cement. Initial and final setting times, water retention capacity, unit weight of fresh cement mortars have been determined and rheometry analyses have been performed. 28 days of flexural, compression and adherence (pull-out) tests were carried out at the hardened state. When the results are evaluated, it was observed that the cellulose derivative VMA generally improved the setting time compared to the reference mortar prepared at the same water / cement ratio. In terms of workability, HEC (Hydroxy-ethyl cellulose) and MHEC-D (Methyl-hydroxy-ethyl cellulose type D) admixtures are found more advantageous than MHEC-Y (Methyl-hydroxy-ethyl cellulose Y type) when considering rheological parameters and flow diameters. Although there is no significant effect on the flexural strength, it has been determined that the addition of VMA adversely affected the compressive strength. In terms of adhesion strength, MHEC-Y admixture has the most favorable result (cohesive failure) and higher adhesion strength compared to reference mortar.

Keywords: Viscosity modifying admixture, Cellulose, Cement, Mortar.

GİRİŞ

Toz formdaki Viskozite Düzenleyici Katkılar (VDK) günümüzde tamir harcı ve torba ürün yapıştırıcı formülasyonlarında sıkça kullanılmaktadır. Çimento esaslı tamir harçlarının polimerle modifikasyonunda, yeniden çözünebilir ya da suda çözünebilen polimer tozları tercih edilmektedir. Suda çözünebilen polimerler, çimento harcında taze halde kıvam arttırmak, tiksotropik davranışı kuvvetlendirmek, su tutmayı sağlamak; sertleşmiş halde ise yeterli çekme ve yapışma mukavemetini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Karagüler, 2003). Ancak, yüksek dozajda kullanılmaları durumunda hava sürüklemeye neden olarak (%5'in üzerindeki hava sürüklenme durumlarında) dayanım özelliklerini olumsuz olarak etkileyebilmektedir (Kim vd., 1999). Polimer katkıları taze halde çimento taneciklerinin etrafında polimer film tabakası oluşturarak hidrasyon oluşumunu geciktirmekte ve priz süresinin artmasına neden olabilmektedir (Beeldens vd., 2001). Ayrıca, polimer taneciklerinin yaratacağı hava sürüklenme ve kaydırma etkisinin harç viskozitesini düşürücü etki yaratabileceği, su tutma kapasitesine sahip bazı katkıların kullanımı ile harç viskozitesinin artabileceği de rapor edilmiştir (Ohama, 1997). Tamir harçlarının yapışma dayanımları yapılan onarımın etkili olması için oldukça önemlidir. Almeida ve Sichieri (2006)'ın yaptığı çalışmada, harçtaki polimer miktarı arttıkça harcın yüzeye daha kolay yayılabileceği ve daha etkili bir bağlanma yüzeyi oluşturarak çekme-koparma dayanımı arttıracığı gösterilmiştir.

AMAÇ

Bu çalışma kapsamında, bir adet şahit harç ile hidroksi-etil selüloz (HES) ve iki farklı kimyasal yapıya sahip metil-hidroksi-etil selüloz (MHES-D ve MHES-Y) katkısı çimento ağırlığının %1,00'i oranlarında kullanılarak 4 farklı çimento harcı su/çimento oranı 0,70 olacak şekilde hazırlanmıştır. Hazırlanan çimento harçlarının taze halde priz başlangıç ve bitiş süresi, su tutma kapasitesi, birim hacim ağırlık ve reometre analizleri; sertleşmiş halde ise 28 günlük eğilme, basınç ve aderans (çekme-koparma) deneyleri yapılarak çimento harcı özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

Materyal ve Metod

Deneyisel çalışmalar kapsamında, CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu, boyutları 0-4 mm arasında değişen kireçtaşı agregası ve su 1:2:0,70 oranlarında karıştırılarak bir şahit harç tasarlanmıştır. Tasarlanan şahit harç içerisine çimento ağırlığının %1,00'i oranında HES ve iki farklı MHES (MHES-D ve MHES-Y) katkısı ilave edilerek 3 farklı tamir harcı üretilmiştir. Hazırlanan tamir harçların karışım oranları ve kullanılan VDK'ların üretici firmadan temin edilen fiziksel ve kimyasal özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 1. Hazırlanan karışımların malzeme miktarları

Malzeme miktarı (kg/m ³)	Çimento	0-4 mm kireçtaşı agregası	Su	Viskozite Düzenleyici Katkı
Şahit harç	568	1136	398	-
HES	568	1136	398	5,68 (HES)
MHES-D	568	1136	398	5,68 (MHES-D)
MHES-Y	568	1136	398	5,68 (MHES-Y)

Tablo 2. Kullanılan VDK'ların fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal katkı türü	HES	MHES-D	MHES-Y
Kimyasal köken	Hidroksietil selüloz	Metil hidroksietil selüloz	Metil hidroksietil selüloz
Aktif madde içeriği	-	En az %91,5	En az %92,5
Nem	En fazla %6	En fazla %7	En fazla %6
Kül içeriği (Na ₂ SO ₄)	En fazla %5	-	-
NaCl içeriği	-	En fazla %1,5	En fazla %1,5

Tane boyutu <180µm	En az %95	En az %85	-
Tane boyutu <125µm	-	-	En az %90
Tane boyutu <100µm	En az %40	En az %25	En az %70
Viskozite Brookfield 20°C, 20 rpm, (%1.9'luk çözelti)	40-80 mPas (sp.1*)	5500-8000 mPas (sp.4*)	8000-13000 mPas (sp.5*)

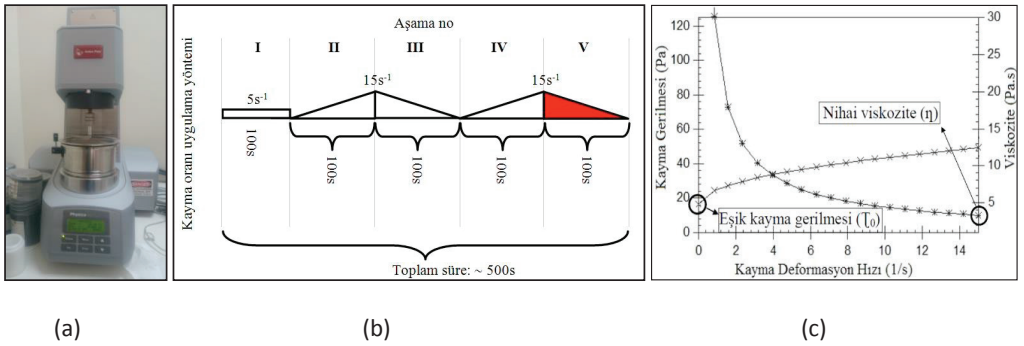
* Viskozite ölçümü için kullanılan ölçüm ucu (spindle) türü

Karışımlar laboratuvar tipi bir Hobart mikser kullanılarak hazırlanmıştır. İlk olarak kuru karışım 1 dk karıştırılmış, ardından toz haldeki polimer kuru karışıma eklenerek karıştırma işlemine 1 dk daha devam edilmiştir. Ardından karışıma su eklenerek 3 dk daha karıştırma işlemi uygulanmıştır. Karışımların taze haldeki birim hacim ağırlıkları 1 lt hacimli bir beher yardımıyla ölçülmüştür. Taze ve sertleşmiş hal deneyleri için gerekli numuneler alınarak her bir karışım için aynı işlem tekrarlanmıştır.

Taze harç priz süresi deneylerinde ASTM C191'e uygun bir Vicat iğnesi kullanılmıştır. Söz konusu deneyler çimento harcında gerçekleştirildiği için standart yöntem modifiye edilerek şu şekilde gerçekleştirilmiştir: Hazırlanan çimento harçları 38-39 mm yüksekliğindeki Vicat kalıplarına yerleştirilmiş ve laboratuvar koşullarında (20°C ve %70 bağıl nem) iğne batış derinlikleri zamana bağlı olarak takip edilmiştir. Taze harçlarda priz başlangıcı iğnenin taban seviyesinden 1 mm kadar batmamaya başladığı zamana kadar geçen süre, priz bitişi de yüzeye 1 mm'den az battığı zamana kadar geçen süre olarak kabul edilmiştir. Deney öncesinde, harçla doldurulmuş Vicat kalıbı tartılarak ağırlığı belirlenmiştir ($W_{Vicat,baslangic}$). Deney süresince, her Vicat ölçümü sırasında Vicat kalıbı tekrar tartılarak ağırlığı belirlenmiştir ($W_{Vicat,ölçülen}$). Elde edilen ağırlıklar kullanılarak, yüzeyden gerçekleşen su kaybı miktarı hesaplanmış ve karışımların su tutma seviyeleri deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Harçların su tutma miktarlarının hesap yöntemi Denklem 1'de sunulmuştur;

$$\%Su\ tutma = \left(1 - \frac{W_{Vicat,ölçülen}}{W_{Vicat,baslangic}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Reolojik ölçümler için sistematik dökümler sırasında hazırlanan karışımlardan 400 cm³ hacimli örnekler alınmıştır. Karışım hazırlandıktan hemen sonra bilyeli bir reometre (Anton Paar Physica MCR51 BMS) yardımıyla karışımların akma eğrileri elde edilmiştir (Şekil 1a). Kayma gerilmesi – kayma oranı bağıntıları Rheoplus programında yazılan 5 aşamalı kayma oranı makrosu kullanılarak elde edilmiştir (Şekil 1b). Bilyenin dönüş hızı sunulan makro ile değiştirilirken, Schatzmann dönüşümleriyle moment kayma gerilmesine, dönme hızı da kayma oranına çevrilmektedir (Schatzmann vd., 2003). Kayma gerilmesi-deformasyon hızı ile deformasyon hızı-viskozite eğrilerinin elde edilmesinde kararlı rejime ulaşılan son aşamadaki (Şekil 1, V. aşama) veriler kullanılmıştır.



Şekil 1. Reolojik deney yöntemi ve veri alma yöntemi; a) Bilyalı reometre sistemi, b) Deneyler sırasında kullanılan makro, c) Akma eğrisinin okunması (örn: Şahit harç).

Eşik kayma gerilmesi (τ_o) malzemenin akmaya başlaması için uygulanması gereken en düşük gerilmedir. Bu değer kayma gerilmesi-deformasyon hızı eğrisinin (akma eğrisi) y eksenini kestiği noktadır (Şekil 1c). Viskozite (μ) ise, akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır ve kayma gerilmesinin deformasyon hızına oranını ifade eder. Viskozite sabit bir değer alabileceği gibi kayma hızına bağlı olarak değişen değerler de alabilir. Çimento hamurlarının eşik kayma gerilmeleri (τ_o) ve nihai viskoziteleri ($\mu_{15s^{-1}}$) elde edilen eğrilerden Şekil 1c’de gösterildiği gibi okunmuştur.

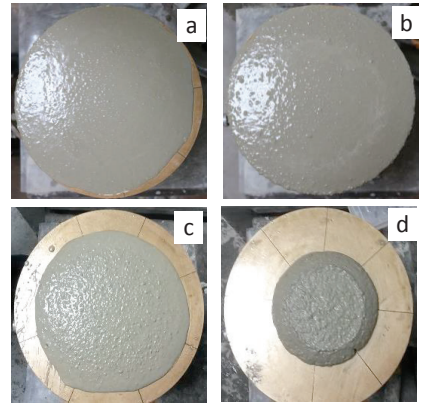
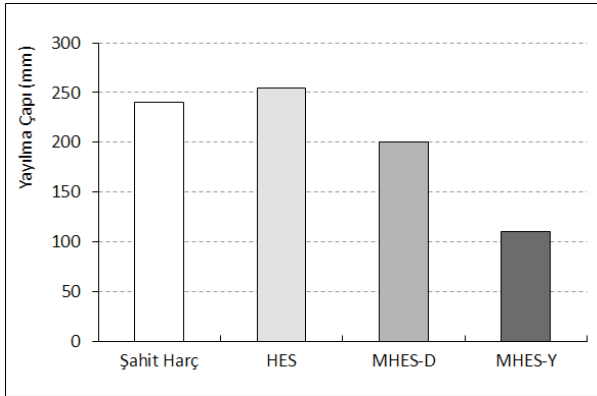
Harçların mekanik performanslarının değerlendirilmesi amacıyla her bir karışımdan 3 adet 40x40x160 mm lik numuneler kalıba alınmıştır. Alınan numuneler 28 gün suda kür edilerek karışımların 28 günlük eğilme dayanımları 3 noktalı eğilme yüklemesi altında belirlenmiştir. Eğilme deneyi sonrasında ikiye ayrılan numuneler kullanılarak basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Karışımların yapışma mukavemetlerinin belirlenmesi amacıyla 33x33 cm² lik fayansların arka yüzlerine 30x30x1,5 cm boyutlarında çelik çerçeveler kullanılarak plaka şeklinde numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerine harçlar priz almaya başladıktan sonra henüz taze halde iken 50 mm çapında dairesel izler açılmış ve numuneler 27 gün su küründe bekletilmiştir. Kürden çıkarılan numuneler 1 gün kurumaya bırakılmış, ardından açılan dairesel izler üzerine 50 mm çaplı alüminyum piyonlar iki bileşenli bir epoksi yardımıyla (epoksi kür süresi 20°C sıcaklıkta bir gün) yapıştırılmıştır. Karışımların yapışma mukavemetleri Defelsko Positest Çekme-Koparma cihazı kullanılarak ölçülmüştür (ASTM D7234-12). Çekme koparma testleri sabit çekme gerilmesi hızıyla gerçekleştirilmiştir. Bilyelerin çekme-koparma cihazına tam olarak oturması için 0,1-0,2 MPa kadar yavaş bir önyükleme gerçekleştirilmiş ardından çekme gerilmesi uygulama hızı yaklaşık 0,75 MPa/s olacak şekilde deneyler gerçekleştirilmiştir. Çekme koparma deneyi sonrasında kopma yüzeyleri incelenerek kopma davranışı adezif, kohezif veya karma şeklinde adlandırılabilir. Adezif kopma, çimento harcının beton yüzeyinden hiç parça sökmeden ayrılmasıdır. Çimento harcının betona aderansının zayıf olduğunu gösterir. Kohezif kopma; çimento harcının beton yüzeyinden kesiti kadar parça kopararak ayrılmasıdır. Betonun dayanımı da kohezif kopmanın oluşmasında önemlidir. İstenen bir durumdur ve aderansın iyi olduğuna bir işarettir. Adezif ve kohezif kopmanın karma olarak meydana gelmesi ise kopma sonrasında çimento harcının kesitinin %70'inde beton yapışık kalmışsa bu kopma %70 kohezif kopma olarak adlandırılabilir (Delucci ve Cerisola, 2005). Kopma, beton ile uygulanan çimento harcı arasındaki kesit dışında hangi kesitten olursa olsun, elde edilen değer çimento harcının en küçük çekme koparma dayanımı olarak kabul edilebilir. Çünkü henüz çimento harcı ile beton arasındaki bağ sağlamdır (Baradan vd., 2012).

DEĞERLENDİRME

Taze Hal Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yayılma Çapı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

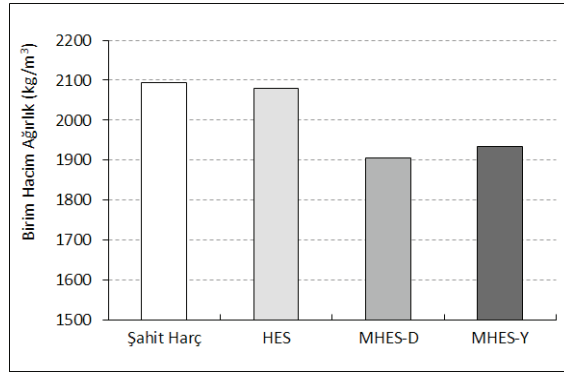
Deneyisel çalışmalar kapsamında hazırlanan harçların yayılma çapı değerleri ve görüntüleri ise Şekil 2’te sunulmuştur. Şahit harcın yayılma çapı deney sonucunda 240 mm olarak tespit edilmiştir. Karışıma %1,00 oranında HES ilave edildiğinde, karışımın yayılma çapı belirgin bir şekilde artarak deney sırasında HES karışımının yayılma tablasının dışına taşıdığı görülmüştür. MHES türü katkılar ise harç yayılma çapını azaltmıştır. MHES-D katkısı kullanıldığında işlenebilirlik açısından göreceli olarak uygun bir sonuç elde edilmiştir. Ancak, MHES-Y katkısının işlenebilirlik özelliğini kaybettiğini söylemek mümkündür. HES katkısının harç yayılma çapını arttırması, katkının su itici özellik göstermesine bağlı olarak açıklanabilir. MHES-Y katkısı kullanılmasıyla ise ince formda olan katkıların karışım içerisine etkili bir şekilde dağılarak karışım içerisinde etkin bir çekim kuvveti oluşturduğu ve buna bağlı olarak harcın taze haldeki işlenebilirliğini önemli ölçüde azalttığı söylenebilir. MHES-Y katkısının su tutma kapasitesinin yüksek olması yayılma çapında düşüşe yol açmıştır bu da işlenebilirlik yönünden olumsuz sonuç vermiştir.



Şekil 2. Harçların taze haldeki yayılma çapları.

Birim Hacim Ağırlıklarının Değerlendirilmesi

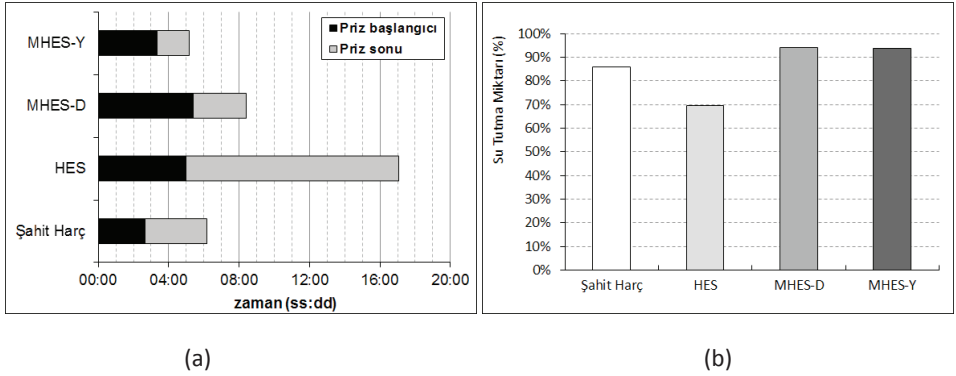
Birim hacim ağırlıkların (BHA) tespitine yönelik yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir. HES katkısı kullanılan harçta BHA değeri bir miktar azalmıştır. MHES-D ve MHES-Y katkıları ise harç BHA değerlerini şahit kompozite kıyasla belirgin bir şekilde azaltmıştır. HES ve MHES-D harçlarında VDK'nın hava sürüklenme yan etkisi nedeniyle BHA değerlerinin düştüğü söylenebilir. MHES-Y karışımında ise kullanılan katkının taze haldeki işlenebilirlik özelliğini kaybettiği dikkate alınırsa, MHES-Y karışımının BHA değerinin ölçülen kap içerisinde sıkışmış büyük hava boşluğu miktarının fazla olmasına bağlı olarak azaldığı düşünülebilir.



Şekil 3. Hazırlanan harçların birim hacim ağırlıkları

Priz Sürelerinin ve Su tutma kapasitelerinin Değerlendirilmesi

Harçların priz sürelerinin ve su tutma kapasitelerinin tayinine yönelik yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar Şekil 4'te sunulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda hazırlanan şahit harcın priz süresinin yaklaşık 6 saat mertebelerinde olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4a). Genel olarak bakıldığında VDK katkı kullanımının tüm serilerde priz başlangıç süresini arttırdığı görülmüştür (Şekil 4a). Priz alma süreleri değerlendirildiğinde ise HES ve MHES-D karışımlarının priz alma süreleri şahit harca kıyasla artarken, MHES-Y karışımının priz alma süresi şahit harca kıyasla azalmıştır (Şekil 4a).



Şekil 4. Harçların, a) Priz başlangıcı ve bitiş süreleri, b) Su tutma miktarları

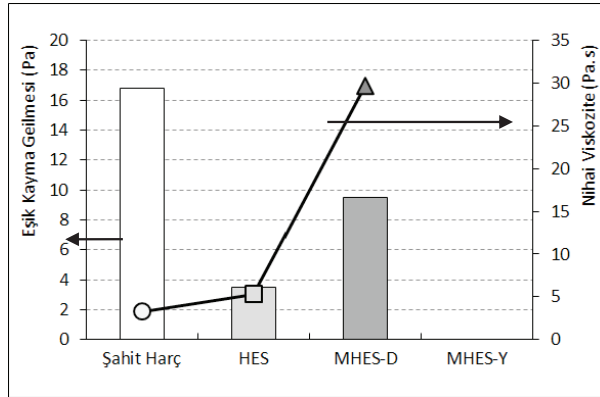
Serilerin su tutma performansları değerlendirildiğinde ise (Şekil 4b), tüm karışımlar içerisinde su tutuma yeteneği en az olan karışımın HES olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kullanılan HES katkısının su itici özelliğinin olduğunu gösteren dolaylı bir sonuç olarak değerlendirilebilir. MHES-D ve MHES-Y serilerinde ise su tutma performansı açısından her iki serinin de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Her iki serininde şahit harca kıyasla su tutma kapasitesinin yüksek olduğu, harçların taze halde ayrışma dirençlerinin arttığı yayılma çapları incelendiğinde görülmüştür.

Bir önceki paragrafta belirtildiği üzere HES katkısının, su itici özellik göstermesi sebebiyle harçlardaki su tutma miktarı daha azdır (Şekil 4b). Su tutma performansındaki düşüşe bağlı olarak harç bünyesinde hidrasyonun gelişmesini sağlayacak yeterli suyun bulunmaması HES serisinde priz süresinin gecikmesine sebep olmuş olabilir. MHES-D ve MHES-Y katkısı ise HES katkılı harca ve şahit harca kıyasla su tutma açısından daha yüksek değerler vermiştir. Kullanılan bu katkıların su tutma yeteneklerinin fazla olduğu söylenebilir. Bu durum, MHES-D ve MHES-Y serisi harçlarının HES katkısına kıyasla daha hızlı priz almasının ve bir önceki bölümde bahsedilen işlenebilirlik kaybının nedenlerinden biri olarak gösterilebilir.

Reometre Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Harçların reometre deneylerinden elde edilen eşik kayma gerilmesi ve nihai viskozite değerleri Şekil 5'de sırasıyla sütun ve nokta grafikler şeklinde verilmiştir. HES karışımında, şahit harca kıyasla göreceli olarak yakın bir viskozite değeri sağlanırken, oldukça düşük bir eşik kayma değeri elde

edilmiştir. MHES-D katkısının kullanımıyla şahit harca kıyasla daha düşük bir eşik kayma gerilmesi elde edilirken viskozite değerinin şahit harca kıyasla belirgin bir şekilde arttığı görülmüştür. MHES-Y katkısıyla hazırlanan harçta ise reometre bilyasının harç içerisinde dönmemesi nedeniyle veri alınamamıştır.



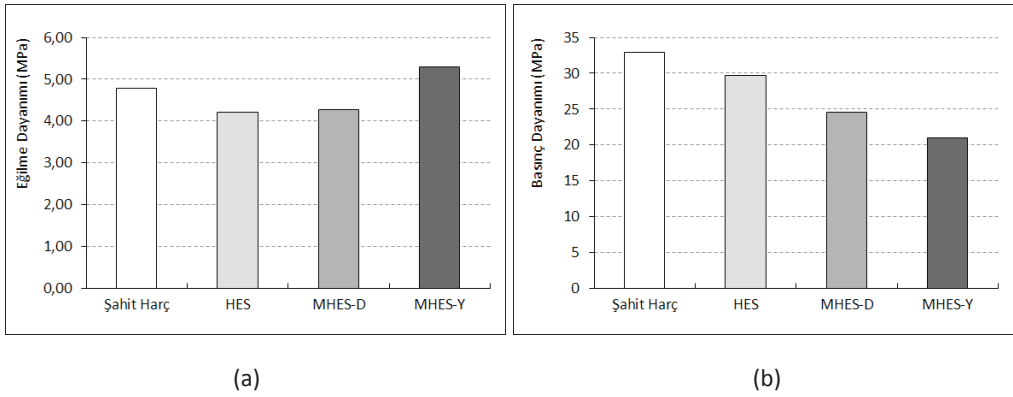
Şekil 5. Reometre deneylerinden elde edilen eşik kayma gerilmesi ve viskozite değerleri

%1 HES katkısı içeren harcın yayılma çapı sonuçları da dikkate alındığında işlenebilirlik açısından şahit harçla benzer özelliklere sahip olduğu söylenebilir. Bu durum reometreden elde edilen düşük viskozite ve eşik kayma gerilmesiyle de desteklenmektedir. Hem yayılma çapının önemli ölçüde azalması hem de reometreden veri alınamaması durumları dikkate alındığında işlenebilirliği en olumsuz etkileyen katkının MHES-Y katkısı olduğu söylenebilir.

Sertleşmiş Hal Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Eğilme ve Basınç Dayanımlarının Değerlendirilmesi

Hazırlanan harçların eğilme ve basınç dayanımı grafikleri Şekil 6'da sunulmuştur. Harçların eğilme dayanımları değerlendirildiğinde, genel olarak polimer katkı ilavesiyle eğilme dayanımlarında belirgin bir değişimin olmadığı söylenebilir. HES ve MHES-D katkıları eğilme dayanımlarını bir miktar düşürürken, MHES-Y katkısı eğilme dayanımını bir miktar arttırmıştır. MHES-Y katkısının diğer katkılara kıyasla tanecik boyutunun daha küçük olması birim alana dağılan katkı miktarını arttıracığından daha etkili bir polimer filminin oluşmasına neden olmuş olabilir. Bu durum, eğilme performanslarındaki artışın dolaylı bir sebebi olarak nitelendirilebilir.

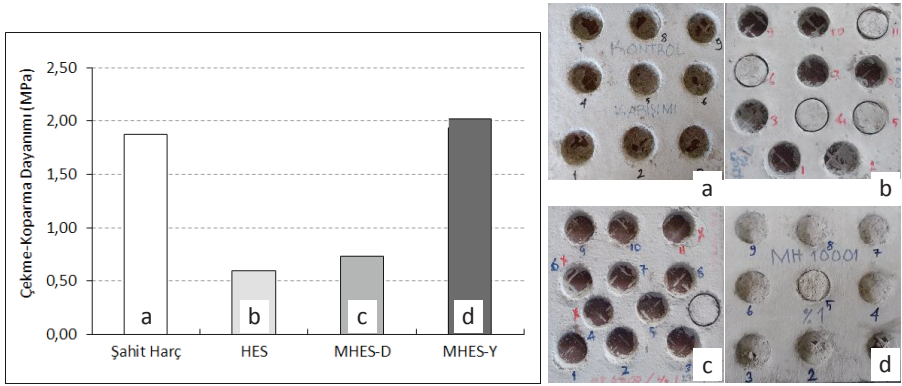


Şekil 6. Harçların a) Eğilme dayanımları, b) Basınç dayanımları

Harçların basınç performansları değerlendirildiğinde ise, katkı ilavesi yapılmış tüm harçlarda basınç dayanımlarının şahit harca kıyasla azaldığı tespit edilmiştir. Şahit harca kıyasla en yakın basınç dayanımı HES karışımından elde edilirken, MHES-Y karışımı basınç dayanımı açısından en olumsuz performansı vermiştir. HES serisi harçlarının işlenebilirlik (kalıba yerleştirilebilirlik ve sıkışma) açısından daha olumlu sonuçlar verdiği düşünülürse, basınç dayanımı açısından en yüksek değerlerin HES örneklerinden elde edilmesi mümkündür. HES serisinde, şahit harca kıyasla daha düşük basınç dayanımlarının elde edilmiş olması ise VDK'nın bir yan etkisi olarak karıştırma esnasında oluşan hava sürüklemeye etkisiyle açıklanabilir. Benzer şekilde, MHES-Y ve MHES-D katkılarının HES'e kıyasla göreceli olarak sahip oldukları yüksek viskozite özelliklerine bağlı olarak oluşabilecek hava sürüklemeye ya da kalıba yerleştirme sıkıntıları nedeniyle basınç dayanımlarının düştüğü söylenebilir.

Yapışma Dayanımlarının Değerlendirilmesi

Yapılan aderans deneylerinde harçların yapışma dayanımları belirlenerek sütun grafikler halinde Şekil 7’de sunulmuştur. Ayrıca, daha anlamlı bir karşılaştırma yapılabilmesi için örneklerin deney sonrası görüntüleri Şekil 8’de verilmiştir. Şahit harcın yarı-kohezif bir kopma davranışı gösterdiği söylenebilir. Şahit harcın yapışma dayanımı ortalama 1,87 MPa olarak belirlenmiştir (Şekil 8a). HES katkılı harçlarda ise yapışma dayanımı 0,59 MPa seviyelerine gerilemiş ve kopma şeklinin genellikle adeziv bir kopma olduğu görülmüştür (Şekil 8b). MHES-D harcında şahit harca kıyasla düşük bir yapışma dayanımı elde edilmiş (0,73 MPa) ve kopma şeklinin adeziv olduğu belirlenmiştir. MHES-Y harcında ise kopma şekli tamamen kohezif kopmaya dönerek yapışma dayanımı açısından en yüksek değerler MHES-Y harcından elde edilmiştir.



Şekil 7. Harçların aderans (çekme-koparma) deney sonuçları

SONUÇ

Çalışma kapsamında; şahit harç ve 3 farklı türdeki selüloz türevi kimyasal katkılı çimento harcının taze hal ve mekanik performansları incelenmiştir. Selüloz türevi viskozite düzenleyici katkılar, priz süresini aynı su/çimento oranında hazırlanan şahit harca kıyasla genel olarak arttırmıştır. HES katkısının priz geciktirme etkisi (11sa 45dk) MHES-D ve MHES-Y katkılarından daha belirgindir. Aynı zamanda HES katkısının su tutma performansının (%69), MHES-D (%94) ve MHES-Y(%94) katkılarına kıyasla düşük

olduğu tespit edilmiştir. Reolojik parametreler ve yayılma çapları dikkate alındığında işlenebilirlik açısından HES ve MHES-D katkısı MHES-Y'ye kıyasla daha avantajlıdır. MHES-Y katkısı harç işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilemiştir. VDK'ların eğilme dayanımına belirgin bir etkisi olmamış, eğilme dayanımları 4,22-5,30 MPa arasında değişmiştir. Yalnızca MHES-Y katkısının eğilme dayanımı bir miktar (%11 oranında) arttırdığı görülmüştür. VDK kullanımı basınç dayanımlarını olumsuz etkilemiştir. HES, MHES-D ve MHES-Y katkıları, şahit harca kıyasla basınç dayanımlarını sırasıyla %10, %26 ve %36 oranında azaltmıştır. HES ve MHES-D katkıları yapışma dayanımını şahit harca kıyasla %68 ve %61 oranında azaltmıştır. Katkılı harçların betona yapışma mukavemetleri açısından en olumlu sonucu MHES-Y katkısı (kohezif kopma ve en yüksek yapışma dayanımı 2,01 MPa) vermiştir. MHES-Y katkısı kullanımı ile şahit harca kıyasla %7 oranında daha fazla yapışma mukavemeti elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu bildiride sunulan çalışmalar, 108M062 no'lu TÜBİTAK projesinin devamı niteliğindedir. Sağladığı malzeme ve ekipman desteği için TÜBİTAK'a teşekkürlerimizi sunarız. Aynı zamanda deneysel çalışmalar kapsamındaki desteklerinden ötürü İnş. Müh. Tarık Yıldırım'a ve Araş. Gör. Muhammed Keskinates'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

11. Karagüler, M.E., "Onarım harçlarında performans kriterleri ve durabilite sorunu", Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, Cilt 426(4), 2003, s.142-146.
12. Kim, J.H., Robertson, R.E., Naaman A.E., "Structure and properties of poly(vinyl alcohol)-modified mortar and concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 29, 1999, pp. 407-415.
13. Beeldens, A.N.N.E., Monteny, J., Vincke, E., De Belie, N., Van Gemert, D., Taerwe, L., and Verstraete, W., "Resistance to biogenic sulphuric acid corrosion of polymer-modified mortars", Cement and Concrete Composites, Vol. 23(1), 2001, pp 47-56.
14. Ohama, Y., "Recent progress in concrete-polymer composites", Advanced Cement Based Materials, Vol. 5, 1997, pp. 31-40.
15. Almeida, E.F.S., Sichieri, E.P., "Thermogravimetric analyses and mineralogical study of polymer modified mortar with silica fume", Materials Research, Vol. 9(3), 2006, pp 321-326.
16. ASTM Standard, Standard test methods for time of setting of hydraulic cement by Vicat needle (ASTM C191-13), West Conshohocken, PA, 2013, 8p.
17. Schatzmann, M., Fischer, P., and Bezzola, G.R., "Rheological behaviour of fine and large particle suspensions", ASCE Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 129(10), 2003, pp. 796-803.
18. ASTM Standard, Standard test method for pull-off adhesion strength of coatings on concrete using portable pull-off adhesion testers (ASTM D7234-12), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, 9p.
19. Delucci, M., Cerisola, G., Influence of thickness on mechanical properties and crack-bridging ability of coatings for concrete, Progress in Organic Coatings, 54/4, 305-309, (2005).
20. Baradan, B., Felekoğlu, B. ve Tosun, K. Proje adı, Betonarme Yapıların Onarımında Kullanılan Tamir Harçlarının Tasarımında Ve Kalite Kontrolünde Reolojik Ve Mekanik Özelliklerin Optimizasyonu, Proje No: 108M246-Sonuç Raporu, 2012, s.83-86.

POTASYUM HUMAT İLAVELİ KİMYASAL KATKILARIN VE POLİKARBOKSİLAT ESASLI KATKILARIN KİRLİ AGREGALAR İLE KULLANIMI

Saadet Gökçe GÖK

Araştırma Görevlisi

Kırklareli Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü

Kırklareli, TÜRKİYE

saadet.gokce.gok@klu.edu.tr

Kadir KILINÇ

Yardımcı Doçent Doktor

Kırklareli Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü

Kırklareli, TÜRKİYE

kadir.kilinc@klu.edu.tr

Safiye GÜNDOĞAN

Araştırma Görevlisi

Kırklareli Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü

Kırklareli, TÜRKİYE

safiyegundogan@klu.edu.tr

ÖZET

Beton üretiminde kullanılacak olan ince agregalardaki kil içeriği, taze betonda kıvam kaybına ve ayrışmaya sebep olarak işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir. Taze betonun segregasyona uğramadan taşınması, kalıba yerleştirilmesi ve yüzey düzeltme işlemlerinin yapılabilmesi için beton tasarımı ve beton bileşenleri doğru seçilmiş olmalıdır.

Bu çalışmada potasyum humat ilaveli süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı ve polikarboksilat esaslı kimyasal katkı laboratuvarında farklı firmaların hammaddeleri kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan katkılar kirli ve temiz agregalar ile ayrı ayrı kullanılmıştır. Bu çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda metilen mavisi değeri yüksek ince agregalar kullanılarak beton karışımları hazırlanmıştır. Bu kısımda aynı zamanda potasyum humat tek başına kimyasal katkı olarak kullanılmıştır ve karışımdaki etkisi gözlenmiştir. İkinci kısımda ise temiz agregalar ile polikarboksilat esaslı kimyasal katkı çalışmaları gerçekleştirilmiştir ve iki farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Birinci karışımda bir firmanın ticari polikarboksilat esaslı kimyasal katkısı ile beton üretilmiştir. İkinci karışımda ise polikarboksilat esaslı kimyasal katkı dizaynında yer alan kıvam artırıcı polikarboksilat yerine aynı miktarda potasyum humat kullanılarak dizayn değiştirilmiştir. Taze beton karışımlarında

başlangıç çökme değerleri ve 30 dakika sonraki çökme değerleri ölçülmüştür. Ayrıca üretilen beton numuneler üzerinde 2 günlük, 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımı testleri de gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak kirliliği yüksek agregalar ve temiz agregalar ile kullanılan kimyasal katkıların betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada özellikle kirli agregalar ile gerçekleştirilen üretimde çimento miktarı oldukça düşük tutulmuş ve çökme değerleri de yüksek seçilmiş olmasına rağmen potasyum humatın performansının üstün olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Potasyum humat, kimyasal katkı, polikarboksilat, metilen mavisi, kirli agrega

THE USE OF POTASSIUM HUMATE ADDED CHEMICAL ADMIXTURES AND POLYCARBOXYLATE BASED ADMIXTURES WITH CLAY-BEARING AGGREGATES

ABSTRACT

Clay content of fine aggregates causes slump loss on fresh concrete and results in segregation by affecting workability negatively in concrete production. In order to avoid segregation while placing and compacting the concrete, correct design and composition of concrete should be selected.

In this research, potassium humate added superplasticizers and polycarboxylate based chemical admixtures were prepared in laboratory by supplying chemical raw materials from different companies. These chemical admixtures were used with aggregates containing clay at different rates. This study consists of two design steps. At the first step, fine aggregates having high methylene blue value were used in concrete mixtures. Besides, only potassium humate was used as a chemical admixture and the effect of potassium humate on concrete was investigated. At the second step, clean aggregates were used with polycarboxylate based chemical admixtures in concrete production, and two different concrete mixtures were designed. One of the concrete mixtures was produced by using a commercial polycarboxylate type concrete superplasticizer. The other concrete mixture was

prepared by using the same amount of potassium humate instead of polycarboxylate based workability stabilizer in polycarboxylate type chemical admixture design. Slump values of fresh concrete at the initial state and after 30 minutes were measured. Moreover, compressive strengths of hardened concrete at 2, 7 and 28 days were determined. The effect of chemical admixtures used with clean and dirty aggregates on physical and mechanical properties of concrete was examined.

Keywords: Potassium humate, chemical admixture, polycarboxylate, methylene blue, dirty aggregate

GİRİŞ

Beton katkıları; betonun işlenebilirliğini arttırmada, priz süresini hızlandırma veya geciktirmede, dayanım kazanma hızını kontrol etmede, donma-çözülme direncini arttırmada, alkali-agrega reaksiyonu, sülfat etkisi ve korozyonu önlemede kullanılan önemli maddelerdir [1]. Katkılar, kimyasal katkıları ve mineral katkıları olmak üzere iki farklı kategoride sınıflandırılabilir. Kimyasal katkıları; prizi geciktirir, hızlandırır, betona hava sürükleyebilir veya suyun yüzey gerilimini etkileyebilirler [2]. Kimyasal katkıları iki tip olarak ayrılır. Bazı kimyasallar çimento-su sisteminde hareket etmeye başlarlar ve suyun yüzey gerilimini etkilerler. Diğerleri ise iyonik bileşenleri bozarlar ve çimento bileşenleri ile su arasındaki kimyasal reaksiyonları etkilerler. ASTM, hava sürükleyici kimyasal katkıları ve su azaltıcı ve/veya prizi kontrol eden kimyasal katkıları olmak üzere iki farklı standart getirmiştir. ASTM C 260, hava sürükleyici katkı standardıdır. ASTM C 494 Amerikan Standardı ise su-azaltıcı ve/veya prizi kontrol eden kimyasal katkıları 7 tipe ayırmıştır [1, 3].

Bunlar;

- Tip A (Su-azaltıcı)
- Tip B (Geciktirici)
- Tip C (Hızlandırıcı)
- Tip D (Su-azaltıcı ve geciktirici)

- Tip E (Su-azaltıcı ve hızlandırıcı)
- Tip F (Yüksek oranda su azaltıcı)
- Tip G (Çok yüksek oranda su azaltıcı ve geciktirici) katkılarıdır [1, 3].

Kimyasal katkıların beton özellikleri üzerindeki yararlı etkileri, kimyasal katkı tipleri ve kategorileri Tablo 1’de görülmektedir [3].

Tablo 2: Kimyasal katkıların beton özellikleri üzerinde yararlı etkileri, kimyasal katkı tipleri ve kategorileri [3].

Beton Özelliği	Kimyasal Katkı Tipi	Katkı Kategorisi
İşlenebilirlik	Su azaltıcılar	Kimyasal
	Hava sürükleyiciler	Hava sürüklenme
	Mineral toz	Mineral
	Puzolanlar	Mineral
Priz kontrolü	Priz hızlandırıcılar	Kimyasal
	Priz geciktiriciler	Kimyasal
Dayanım	Su azaltıcılar	Kimyasal
	Puzolanlar	Mineral
	Priz geciktiriciler	Kimyasal
Dayanıklılık	Hava sürükleyiciler	
	Puzolanlar	
	Su azaltıcılar	
	Su itici kimyasal katkıları	

Hava sürükleyici katkıları betona hava sürüklerler. Donma direncini sağlamak için gerekli hava hacmi %9’dur [3]. Hava sürükleyici katkıları, donma-çözülme ortamına maruz kalacak betonların direncini artırmak için beton karışımlarında kullanılır. Hava sürükleyici katkıları, kütle beton ve hafif beton yapımında kullanılır. Hava sürükleyici katkıları, çimento tanelerinin hidrofobik olmasını sağlarlar. Katkı dozajı yüksek olursa çimentonun hidrasyonunda aşırı bir gecikme meydana gelir. Aynı zamanda,

hava sürükleyici katkılar sürüklenmiş hava miktarına bağlı olarak dayanım kaybına sebep olurlar [1]. Su azaltıcı kimyasal katkıların etki periyodu sınırlıdır. Çünkü Portland çimentosu ve su arasındaki hidratasyon reaksiyonlarından sonra etrenjit oluşmaya başlar. Böylece uygun sıcaklık, çimento inceliği ve kompozisyonu, özellikle C_3A , SO_3 ve alkali miktarları etrenjit oluşum oranını etkiler ve bunun çimento-katkı etkileşiminde etkisi olabilir. Süperakışkanlaştırıcılar, yüksek oranda su azaltıcı katkılar olarak adlandırılabilir. Bu tip katkı kullanımı karışım suyu miktarını 3-4 kat azaltır. Süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkılar, 1970'lerde bulunmuştur. Uzun zincirli, yüksek moleküler ağırlığı olan aniyonik kısımlar içerirler. Çimento taneleri tarafından adsorbe edildiğinde, negatif yüklü olurlar. Negatif yüklü olması çevreleyen suyun yüzey çekmesini azaltır ve betonun akışkanlığı artar. Su miktarını % 20-30 oranında azaltırlar [1].

Beton katkısı hazırlanırken kullanılabilecek hammaddelerden biri de hümkik maddelerdir. Hümkik maddeler, ölmüş hayvan ve bitkilerin fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik dönüşüm sürecinde oluşan toprakta, sedimentlerde ve sulu ortamlarda bulunan karbon, hidrojen, oksijen ve bir miktar sülfür ile beraber nitrojen içeren organik maddelerdir, görünüş olarak sarı renkten siyah renge farklılık gösterirler, asidiktirler, farklı bileşime ve moleküler ağırlığa sahiptirler, aromatikler ve iyi polielektrolittirler [4]. Bu maddeler, karbonhidratlar ve karboksilik, fenolik ve metoksil gruplarını içeren aromatik halkalardan oluşan multifonksiyonel amorf biyopolimerler olarak tanımlanmıştır [5]. Hümkik maddeler; fülvik asit, hümkik asit ve hümin olmak üzere üç tiptir. Hümkik asitler, fülvik asitlere nazaran daha büyük molekülü olup asidik ortamda (pH 3'te sulu fazda %85'i süspanse katı fazda) çözünmemelerine karşın, bazik ortamda koloidal çözelti oluştururlar. Hümkik asitler, ortamda bulunabilen inert elektrolitler varlığında çözünürlüğü azalan, katyon değişim kapasitesi ve spesifik yüzey alanı oldukça yüksek makromoleküllerdir. Yüksek pH'ta egemen olan anyonik grupları, kapladıkları adsorban yüzeyinin yük yoğunluğunu belirgin şekilde değiştirir ki bu durum koloidal stabilitenin artmasına sebep olur [6]. Hümkik asitler iyi kil tutuculardır, kil tabakasını kırarlar. Beton üretiminde temel hammaddelerden biri olan agregaların, metilen mavisi değerinin yüksek olması halinde betonda kıvam koruma ve dayanım ile ilgili problemler yaşanır. Geleneksel polikarboksilat bazlı kimyasal katkılar, yüksek su kesme ve kıvam koruma özelliği sağlamakla birlikte, malzeme kirliliğine duyarlı olması nedeniyle bu katkıların kullanımı sınırlıdır.

Türkiye’de, betonda kullanılan agregalarda kirlilik önemli bir sorun teşkil etmektedir. Ülkemizin birçok bölgesinde temiz agrega bulmakta güçlük çekildiğinden, metilen mavisi değeri yüksek agregalarla beton üretimi yapılmakta, bu da beraberinde bazı sıkıntılar getirmektedir [7]. Bölgesel agregaların kullanımı beton sektörünün sürdürülebilirliği için oldukça önemlidir. Günümüzde, kum-çakıl ocaklarından yıkanmış-elenmiş doğal agrega temini yok denecek kadar azalmış olup, çoğunlukla beton agregası olarak taş ocaklarından temin edilen kırılmış-elenmiş kırmataş agregaları kullanılmaktadır. Kırmataş agrega üretiminde, özellikle yıkama tesisi bulunmayan konkasörlerden elde edilen ince agregaların betonda kullanılmasında, çok ince malzeme kalitesinin (0,063 mm göz açıklıklı elekten geçen agrega tane sınıfı) büyük önemi vardır. Çok ince malzeme içeriği aynı zamanda karışımın reolojisi ve beton kalitesini de etkiler. Agregalarda 0,063 mm elek altı çok ince malzemeler agregada içinde ince halde dağılmış halde, topaklar halinde veya agregada tanelerine yapışık olarak bulunabilirler. Bu malzemeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unudur. Kil ile ilgili çalışmalarda metilen mavisi testi, katyon değiştirme kapasitesini ve spesifik yüzey alanını ölçmek amacıyla kullanılır. Katyon değiştirme kapasitesi ölçümleri için, metilen mavisi test metodu, basit ve geniş değer yelpazesinde kolay uygulanabilir, titrasyon metodlarına göre daha az zaman kaybettiren bir metottur [8].

TS 706 EN 12620 standardında ince agreganın içinde bulunan çok ince malzeme muhtevasının %3’ten az olması halinde ince malzeme zararsız kabul edilmekte, çok ince malzemenin %3’ün üzerinde olması halinde ise TS EN 933-9 Metilen Mavisi deneyi sonucunun belirlenen sınır değeri sağlaması istenmektedir [9].

AMAÇ

Bu çalışmada, kirli agregada ile yapılan betonda kıvam kaybı ve düşük dayanım dezavantajlarını bertaraf etmek için kimyasal katkıları geliştirmek amaçlanmıştır. Bu araştırmada, hümitik asitin potasyum hidroksit (KOH) ile işlenmesi ile oluşan sıvı potasyum humat ilaveli kimyasal katkıları hazırlanmıştır ve bu katkıların betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca

polikarboksilat bazlı kimyasal katkıları ile de üretimler gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar detaylı olarak irdelenmiştir. Bu deneysel araştırmada, metilen mavisi değeri limit değerin üzerinde olan agregalar da kullanılarak bir çalışma yürütülmüştür. Farklı kimyasal katkı dizaynlarının, değişen oranlardaki kil içeriğine sahip agregalar ile üretilen betonların mekanik özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmış olup üretilen betonlardaki işlenebilirlik ve dayanım sonuçları incelenmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada potasyum humat ilaveli süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkıları ve polikarboksilat esaslı kimyasal katkıları laboratuvarında farklı firmaların hammaddeleri kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan katkıları kirli ve temiz agregalar ile ayrı ayrı kullanılmıştır. Bu çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda metilen mavisi değeri yüksek ince agregalar kullanılarak beton karışımları hazırlanmıştır. Bu kısımda aynı zamanda potasyum humat tek başına kimyasal katkı olarak kullanılmıştır ve karışımdaki etkisi gözlenmiştir. Tablo 2'de iki farklı firmanın hammaddeleri ile hazırlanan kimyasal katkı dizaynı görülmektedir.

Tablo 2: İki farklı firmanın hammaddeleri (Firma A ve Firma B) ile hazırlanan kimyasal katkı dizaynı.

Ağırlıkça Yüzde (%)								
Katkı No	Potasyum humat	Naftalin sülfonat	Kalsiyum nitrat	Melas	TBF	Kalsiyum lignosülfonat	Glukonat	Formaldehit

1 (Firma A)	25,5	8	30	14,95	0,35	18,2	2	1
1 (Firma B)	25,5	8	30	14,95	0,35	18,2	2	1

Deneyisel çalışmada Firma B hammaddelerini kullanarak iki farklı katkı dizaynı oluşturulmuştur. Bu katkı dizaynları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3: Firma B hammaddeleri ile hazırlanan kimyasal katkı dizaynları.

Ağırlıkça Yüzde (%)									
Katkı No	Potasyum humat	Naftalin sülfonat	Kalsiyum nitrat	Melas	TBF	Kalsiyum lignosülfonat	Glukonat	Formaldehit	Su
2 (Firma B)	30,5	8	36	17,95	0,35	4,2	2	1	-
3 (Firma B)	45	14	20	-	0,60	-	-	1	21

Birinci aşamanın son deneyisel çalışmasında ise potasyum humat tek başına kullanılmıştır. Potasyum humat çimento ağırlığının % 2,2'si oranında kullanılmıştır. Bu aşamada üretilmesi hedeflenen beton sınıfı C 25/30'dur. Tablo 4'te birinci kısım çalışmadaki beton karışım dizayn özellikleri ile taze beton özellikleri verilmiştir.

Tablo 4: Birinci kısım çalışmadaki beton karışım dizayn özellikleri ile taze beton özellikleri.

BETON SINIFI	C 25/30	C 25/30	C 25/30	C 25/30	C 25/30
ÇİMENTO DOZAJI (kg/m ³)	255	255	255	255	255
ÇİMENTO TİPİ	CEM I 42,5R	CEM I 42,5R	CEM I 42,5R	CEM I 42,5R	CEM I 42,5R

SU-ÇİMENTO ORANI	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
DOĞAL KUM (kg/m ³) (0-5 mm)	782	782	782	782	782
KIRMA KUM (kg/m ³) (0-5 mm)	138	138	138	138	138
KIRMATAŞ I (kg/m ³) (5-15 mm)	525	525	525	525	525
KIRMATAŞ II (kg/m ³) (15-25 mm)	567	567	567	567	567
SU (kg/m ³)	152	152	152	152	152
KATKI DOZAJI (%)	1,1	1,1	1,1	1,1	2,2
KATKI KODU	1 (Firma A)	1 (Firma B)	2 (Firma B)	3 (Firma B)	P-H%2,2
ÇÖKME (BAŞLANGIÇ)	20	20	16	19	19
ÇÖKME (30 DAKİKA)	11	12	10	15	17
İLAVE SU (kg)	0,7	0,7	0,7	1	1,5
DÜZELTİLMİŞ ÇİMENTO (kg/m ³)	240	240	240	234	225
DÜZELTİLMİŞ SU (kg/m ³)	201	201	201	220	250
DÜZELTİLMİŞ SU- ÇİMENTO ORANI	0,84	0,84	0,84	0,94	1,11

İkinci aşamada ise temiz agregalar ile polikarboksilat esaslı kimyasal katkı çalışmaları gerçekleştirilmiştir ve iki farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Birinci karışımda Firma B'nin ticari polikarboksilat esaslı kimyasal katkısı ile beton üretilmiştir. İkinci karışımda ise Firma B'nin polikarboksilat esaslı kimyasal katkı dizaynında yer alan kıvam artırıcı polikarboksilat yerine aynı miktarda potasyum humat kullanılarak dizayn değiştirilmiştir. Hem birinci kısım hem de ikinci kısım

çalışmalarında taze beton karışımlarının başlangıç çökme değerleri ve 30 dakika sonraki çökme değerleri ölçülmüştür. Ayrıca üretilen beton numuneler üzerinde 2 günlük, 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımı testleri de gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, kirliliği yüksek agregalar ve temiz agregalar ile kullanılan kimyasal katkıların betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi detaylı olarak incelenmiştir. İkinci aşamada hedef beton sınıfı C 35/45'tir. Deneysel çalışmaların tamamında CEM I 42,5R Portland çimentosu kullanılmıştır. Agregası olarak ise kireçtaşı agregası kullanılmıştır. İkinci kısım çalışmadaki beton karışım dizayn özellikleri ve taze beton özellikleri Tablo 5'te sunulmuştur. Basınç dayanımı testinde 15 cm ebatlı küp numuneler kullanılmıştır.

Tablo 5: İkinci kısım çalışmadaki beton karışım dizayn özellikleri ile taze beton özellikleri.

BETON SINIFI	C 35/45	C 35/45
ÇİMENTO DOZAJI (kg/m ³)	240	240
ÇİMENTO TİPİ	CEM I 42,5R	CEM I 42,5R
UÇUCU KÜL (kg/m ³)	80	80
SU-ÇİMENTO ORANI	0,45	0,45
DOĞAL KUM (kg/m ³) (0-5 mm)	475	475
KIRMAKUM (0-5 mm) (kg/m ³)	624	624
KIRMATAŞ I (kg/m ³) (5-15 mm)	416	416
KIRMATAŞ II (15-25 mm) (kg/m ³)	520	520
SU (kg/m ³)	144	144
KATKI DOZAJI (%)	1	1
KATKI KODU	Firma B-Polikarboksilat esaslı katkı	Firma B-Polikarboksilat katkı içerisinde kıvam artırıcı polikarboksilat yerine potasyum humat
ÇÖKME (BAŞLANGIÇ)	20	20

ÇÖKME (30 DAKİKA)		18	19
İLAVE SU	(kg)	0,235	0,635
DÜZELTİLMİŞ ÇİMENTO	(kg/m ³)	313	303
DÜZELTİLMİŞ SU	(kg/m ³)	160	188
DÜZELTİLMİŞ SU-ÇİMENTO ORANI		0,51	0,62

SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

İki farklı firmanın hammaddeleri ile hazırlanan kimyasal katkılar kullanılarak üretilen betonların 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: İki farklı firmanın hammaddeleri (Firma A ve Firma B) ile hazırlanan kimyasal katkılar kullanılarak üretilen betonların 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları.

Basınç Dayanımı (N/mm ²)			
	2 günlük	7 günlük	28 günlük
1 (Firma A)	7,3	14,5	20,2
1 (Firma B)	7,4	14,0	18,7
2 (Firma B)	7,5	16,6	22,1
3 (Firma B)	4,6	8,7	14,3

Tablo 6'da görüldüğü üzere Firma A hammaddeleri ile üretilen betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, Firma B hammaddeleri ile üretilen betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarından daha yüksektir. Burada hammadde kalitesi ön plana çıkmaktadır. Ancak hem Firma A, hem de Firma B hammaddeleri ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları C25/30 sınıfı beton basınç dayanımlarını karşılamamıştır. Bunun sebebi olarak agregaların metilen mavisi değerlerinin yüksek olması, başlangıç çökme değerinin yüksek seçilmesi vb. etkenler gösterilebilir. 2 no'lu katkı

sonuçlarının 3 no'lu katkı sonuçlarına göre daha iyi olduğu açıkça görülmektedir. Dayanımlardaki farklılıkların dizayndaki hammadde yüzdelerindeki farklılıktan kaynaklandığı belirtilebilir.

Potasyum humat tek başına çimento ağırlığının %2,2'si oranında kullanılarak C 25/30 sınıfı beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Tablo 7'de 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı sonuçları görülmektedir.

Tablo 7: Potasyum humatın tek başına kullanılmasıyla elde edilen 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı sonuçları.

Basınç Dayanımı (N/mm ²)			
Karışım Kodu	2 günlük	7 günlük	28 günlük
P-H%2,2	3	6	8,7

Tablo 8'e göre potasyum humatın tek başına kullanıldığında etkili olmadığı açıkça görülmüştür, çünkü potasyum humat aslında bir priz geciktiricidir. Bu nedenle, potasyum humatın diğer kimyasal katkı hammaddeleri ile birlikte kullanılması daha iyi sonuçlar doğuracaktır.

Polikarboksilat esaslı kimyasal katkılar ile gerçekleştirilen ikinci kısım çalışma basınç dayanımı sonuçları (1, 7, 28 günlük) Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 8: İkinci kısım çalışmada elde edilen basınç dayanımı sonuçları.

Basınç Dayanımı (N/mm ²)			
	1 günlük	7 günlük	28 günlük
Firma B-Polikarboksilat esaslı katkı	9,3	31	41,1
Firma B-Polikarboksilat katkı içerisinde kıvam artırıcı polikarboksilat yerine potasyum humat	5,4	22,7	30,8

Tablo 8 özetlenecek olursa Firma B'nin polikarboksilat esaslı kimyasal katkısının daha etkin çalıştığı açıkça görülmüştür. Polikarboksilat katkı içerisinde kıvam artırıcı polikarboksilat yerine potasyum humat kullanıldığında basınç dayanımı değerlerinin daha düşük olduğu gözlenmiştir.

GENEL SONUÇLAR

Bu çalışma neticesinde elde edilen genel sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- Potasyum humat tek başına kullanımdan ziyade, diğer geleneksel kimyasal katkı hammaddeleri ile birlikte kullanılmalıdır.
- Potasyum humat kil tutucudur. Bu çalışmada özellikle kirli agregalar ile gerçekleştirilen üretimde çimento miktarı oldukça düşük tutulmuştur. Çökme değerleri de yüksek seçilmiştir. Buna rağmen potasyum humatın performansının üstün olduğu görülmüştür.
- Potasyum humat polikarboksilat esaslı kimyasal katkıda kıvam artırıcı olarak da kullanılabilir.
- Potasyum humat ilavesi, metilen mavisi yüksek agregalar ile üretilen betonlarda meydana gelen kıvam kaybı ve dayanım düşmesi gibi olumsuzlukları ortadan kaldırır. Ancak dizayndaki bileşenlerin miktarları da bu hususta oldukça önemlidir.
- Kirli agrega kullanımını mümkün kılacak potasyum humat ilaveli kimyasal katkılar agrega sıkıntısı çeken beton üreticileri için faydalı bir çözüm sunmaktadır ve bu da doğal kaynaklara dayalı sürdürülebilir bir ürün geliştirilmesinin ilk adımı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M. (2006). Concrete Microstructure, Properties, and Materials, Third Edition, McGraw-Hill.
- [2] Newman, J., Choo, B.S. (2003). Advanced Concrete Technology Processes, Butterworth-Heinemann, An Imprint of Elsevier, UK.

- [3] Mindess, S., Young, J.F. (1981). Concrete, Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
- [4] Vidyasagar, P.B., Rupiasih, N.N. Humic Substances: structure, function, effects and applications, [http://www.academia.edu/2604617/Humic substances structure function effects and applications](http://www.academia.edu/2604617/Humic_substances_structure_function_effects_and_applications).
- [5] Chassapis, K., Roulia, M., Vrettou, E., Fili, D., Zervaki, M. (2010). Biofunctional characteristics of Lignite Fly Ash Modified by Humates: A New Soil Conditioner, Hindawi Publishing Corporation, Bioorganic Chemistry and Applications, 8 pages.
- [6] Apak, R., Hızal, J. (2012). Hümik asitler varlığında ağır metal adsorpsiyonunun temel özellikleri, modelleme ilkeleri ve çevresel boyutları, SAÜ Fen Edebiyat Dergisi, 1, 47-62.
- [7] Köksal, A., Abit, O., Karataş, E. (2013). Metilen mavisi yüksek agregalar ve farklı özellikteki kimyasal katkılarla yapılan beton çalışmaları, <http://www.yapichem.com.tr/Upload/Texts/288-beton-2013.pdf>.
- [8] Şenbil, U.E., Bağdatlı, Ö., Köseoğlu, K., Çakır, Ö.A. (2014). Farklı metilen mavisi değerlerine sahip kırma kumların karakterizasyonu ve beton üzerindeki etkileri, Mühendis ve Makina, 55(649), 74-80.
- [9] Özbebek, H., Açıık, H. (2012). İnce Agregalarda Yapılan Metilen Mavisi ve Kum Eşdeğerliği Deney Sonuçlarının Beton Özelliklerine ve Maliyetine Etkisi, HAZIR BETON, 84-92.

FARKLI SU İTİCİ AJANLARIN
İNORGANİK BAĞLI LİFLİ KOMPOZİT LEVHALARDA HİDROFOBİK
ÖZELLİĞE ETKİSİ

Lütfullah GÜNDÜZ

Şevket Onur KALKAN

Prof. Dr.

Arş. Gör.

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

A. Münir İSKER

Bengi GÜRELİ

Genel Md.

Müh.

Tepe Betopan Yapı Malzemeleri San. ve Tic. A.Ş.
Ankara, Türkiye

Tepe Betopan Yapı Malzemeleri San. ve Tic. A.Ş.
Ankara, Türkiye

Sibel HACIOĞLU

Müh.

Tepe Betopan Yapı Malzemeleri San. ve Tic. A.Ş. Ankara, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, 42.5 Portland çimentosu, kum ve selüloz karışımı ile üretilen kompozit levha örneklerinin hidrofobik özellikleri açısından deneysel olarak analiz edilmiştir. Bu analizlerde her bir kompozit karışım kombinasyonuna silikon esaslı, stiren esaslı ve metal sabunu esaslı üç farklı tür su itici malzeme ayrı ayrı test örnekleri olacak şekilde toplam katı madde miktarının ağırlıkça farklı yüzde değerlerinde ilave edilerek, TS EN 12467 standardında öngörülen prensiplere göre su itici ajanların levha örneklerinin su emme ve mekanik performansına olan etkileri irdelenmiştir. Kompozit levha harç karışımlarında ağırlıkça %0.05 - %0.32 aralığında silikon esaslı su itici ajan, ağırlıkça %0.10 - %1.80 aralığında stiren esaslı su itici ajan ve ağırlıkça %0.20 - %1.50 aralığında metal sabunu esaslı su itici ajan katkılı örnekler elde edilmiştir. Üretilen numunelerin su emme oranları, yapısal formları, makroskobik incelemeleri ve eğilme dayanımı değerlerindeki değişimler analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, silikon esaslı katkılı malzemesinin numunelerin içinde hidrofobik karakteristiğinin daha etkin olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrofob, su itici, kopozit, levha, lif.

THE EFFECT OF DIFFERENT WATER REPELLENT AGENTS ON HYDROPHOBICITY OF FIBER REINFORCED INORGANIC BINDER BASED COMPOSITE BOARDS

ABSTRACT

In this study, composite board samples produced with a mixture of sand, cellulose and 42.5 Portland cement was experimentally analyzed in terms of its hydrophobic properties of. In these analyzes, three different types of water repellent materials based on silicon-based, styrene-based and metal soap are added to each composite mixture combination at different percentages of the total solids content as separate test specimens, in accordance with the principles prescribed in TS EN 12467. The effects of water absorption and mechanical performance of the samples were investigated. In the

composite board mortar mixtures, silicon-based water repellent agent in the range of 0.05% to 0.32%, styrene-based water repellent agent in the range of 0.10% to 1.80% and metal soap based on 0.20% to 1.50% by weight were obtained. The changes in water absorption rates, structural forms, macroscopic examinations and bending strength values of the produced samples were analyzed. The results obtained show that the hydrophobic character of the silicon-based additive material is more effective in the samples.

Keywords: Hydrophobicity, water repellent, composite, board, fiber.

GİRİŞ

Su itici ajanlar, kompozit levha harçlarında su geçirimsizlik sağlayan katkıları olarak bilinmektedir. Bu katkıların amacı, ajanların harca ilavesi ile sınırlı hava sürüklenme özelliği sağlanarak, harcın kapiller boşlukları kısmen veya tamamen tıkanarak harcın su geçirimsiz hale getirilmesidir. Bu sebeple, sertleşmiş harcın kılcal su emmesi de azaltılarak, harcın dış yüzeyinin hidrofobik gruplarla örtülmesi sağlanır. Bu hidrofobik gruplar, düşük enerji yüzeyi oluşturarak su moleküllerini iterler. Ayrıca, kompozit harç matris yapısında yer alan lif veya agrega bileşenlerin üzerinde çok ince hidrofob zar oluşumları da meydana gelmektedir (1). İnorganik bağlı lifli kompozit levhalar, dayanıklılığı, sağlamlığı ve uygulama kolaylığı nedeniyle çoğunlukla dış cephe kuru duvar sistemlerinde, ara bölme duvarlarda ve çatı uygulamalarında da kullanılan kompozit yapı ve yapı malzemeleridir. İnorganik bağlı lifli kompozit levhaların kullanım yerinde su emme kapasiteleri ve/veya suya karşı direnç değerleri, teknik performansını etkileyen önemli parametreler arasında yer almaktadır. Su emme kapasitesi yüksek olan lifli kompozit levhalarda genel bir olgu olarak enine ve boyuna boyutsal hareketlilik değerleri de yüksektir. Levha ürünlerin boyut konfigürasyonunda bu hareketlilik sebebiyle meydana gelen fiziksel büyüklüklerin minimize edilmesi için, malzemenin matris yapısında hidrofobik özellik sağlayıcı bir seri su itici ajanların yer alması kaçınılmaz olabilmektedir. Lifli kompozit levhaların üretiminde kullanılabilecek su itici bileşenlerin, malzemenin matris yapısına etkisi ve teknik performansında ne gibi etkileşimlere neden olduğu da ayrı bir inceleme konusu olmaktadır. Bu bağlamda, farklı orijinli bir dizi su itici özellikler gösteren polimerik bileşenlerin lifli kompozit levha harç karışımlarında kullanımı üzerine bir ArGe çalışması sürdürülmektedir. ArGe çalışması kapsamında, farklı orijinlerdeki su itici ajanlar alternatif katkıları olarak irdelenmektedir. Bu tebliğde, sürdürülmekte olan bu ArGe çalışmasının ön bulguları paylaşılacak olup, farklı su itici polimerik bileşenlerin lifli kompozit harcın matris yapısına ve teknik özelliklerine etkileri tartışılacaktır.

AMAÇ

Kum, çimento ve selüloz karışımıyla hazırlanmış lifli kompozit harçlardan binaların iç ve dış bölme duvarlarında uygulanabilecek yüksek su itici özelliğe sahip levha şekilli ürünlerin üretilmesinde, alternatif olarak kullanılabilen su itici katkı türlerinin ürünün teknik performansına olan etkilerini detaylı irdelemek amacıyla bir ArGe projesi sürdürülmüştür. Bu çalışma kapsamında özellikle silikon esaslı, stiren akrilik esaslı ve metal sabunu esaslı üç ayrı su itici malzemesinin, kompozit levhanın otoklav kürü sonrası su emme karakteristiği ve mekanik performansına olan etkilerini irdelemek amacıyla TS EN 12467 (2) standardında belirtilen bir dizi deneysel analizler yapılmıştır. Araştırma bulgularına göre, farklı orijindeki su itici malzemelerin kompozit levhanın su emme ve hidrofobik karakteristiği arasındaki kombinasyonel farklılıklar tartışılmaktadır.

İnorganik Bağlı Harç Kombinasyonlarında Uygulanan Su İtici Malzemeler

Su itici ajanlar, kompozit harçlarda su geçirimsizlik sağlayan katkılar olarak bilinmektedir. Bu katkıların amacı, su geçirimsiz harç, diğer bir deyişle su geçirmeyen harç elde edebilmektir. Su itici ajanların harca ilavesi ile sınırlı hava sürüklemeye özelliği sağlanarak, harcın kapiler boşlukları kısmen veya tamamen tıkanarak harç su geçirimsiz hale getirilir. Bu sayede, sertleşmiş harcın kılcal su emmesi de azaltılmış olur. Havuzlar, su depoları, bodrum katları vb. yerlerde uygulanacak harçlar gibi sürekli su ile temasta bulunacak kompozit harçlarda bu uygulamaya ihtiyaç duyulabilmektedir. Kullanıldıkları karışımların kılcal su geçirimsizlik özelliğini iyileştirirler (1). Geçirimsizliğin azaltılması ile doğrudan suyla temasta olan veya ıslak ortamda bulunan harçların uzun dönem dayanıklılığını da artırır. Su itici ajanlar, harcın dış yüzeyini hidrofobik gruplarla örter. Bu hidrofobik gruplar su moleküllerini düşük enerji yüzeyi oluşturarak iterler. Su iticilik işleminin esası; kompozit harç bünyesinde yer alan lif veya agrega bileşenlerin üzerinde çok ince hidrofob zar oluşturmaktır. Gözenekli agrega malzemelerinden üretilmiş dış cephe uygulamalarında kullanılan bir kompozit harçta meydana gelen hasarların birçoğu özellikle rüzgârla itilen yağmurun ardından oluşan aşırı nemden kaynaklanmaktadır. Su, harç malzemesinin bünyesine girdiğinde onu fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak etkiler ve yeter düzeyde önlem alınmadığı sürece, harç karakteristik yapısının bozulmasına ve hasarlara neden olur. Yüksek nem miktarı ayrıca bütün bir duvar sisteminin termal performansını düşürür ve beraberinde önemli ısı kayıplarını ve fazladan enerji maliyetini getirir. Bu ve benzeri olumsuz durumları ortadan kaldırmak

veya minimize etmek amacıyla, kompozit harçlara su itici ajan katkılarıyla hidrofobik özellikler kazandırılır. Su itici ajan içeren bir harç, yağmura karşı bileşimindeki ajanın harca sağladığı hidrofobik performansa göre kısmen veya tamamen korunmuş olur (3). Kompozit harçlarda su iticilik özelliğinin sağlanabilmesi için kullanılan başlıca bazı maddeler aşağıdaki şekilde sıralanabilir: 1. Reçine oluşturan su iticilik maddeleri, 2. Yağ asitleri, 3. Parafin ve mum emülsiyonları, 4. Organik Silisyum Bileşikler (Silikonlar), 5. Stiren Akrilik Kopolimer Bileşenler ve 6. Metal Sabunları.

Su İtici Ajanların Hidrofobik Özelliğe Etkisi – Deneysel Analiz

Su itici ajanların inorganik bağlı lifli kompozit levhalarda, hidrofobik özelliğe ve levhaların teknik performansına etkisini incelemek amacıyla, bu çalışmada üç farklı tür su itici ajan ayrı ayrı kullanılmıştır. Bunlar: *Organik silisyum bileşiği formunda silikon esaslı su itici, stiren akrilik esaslı su itici ve metal sabunu esaslı çinko stearat*'dır. Çalışmada kullanılan su itici malzemelerin bazı teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Su itici malzemelerinin teknik özellikleri (3, 4, 5).

Özellik	Silikon Esaslı	Stiren Akrilik Esaslı	Metal Sabunu
	Su İtici	Su İtici	Su İtici
Görünüş	Süt gibi, Beyaz	Süt Beyazı	Beyaz
Formu	Silan/Siloksan Emülsiyon	Düşük Vizkoziteli Emülsiyon	Toz Form
Aktif Madde Oranı	Ağırlıkça %60	Ağırlıkça %50	-

Bu su itici malzemelerden özellikle silikon esaslı su itici ajan, silan/siloksan emülsiyonu olup, mineral yüzeylere karşı aktif kimyasal gruplara sahiptir. Bu gruplar yüzeye kimyasal olarak bağlanır ve yüzeyin hidrofobik (su itici) karakter kazanmasını sağlar. Yüzeyi örtme ve malzemeye difüzyon özelliği katma olgusu yüksektir. Süt görünümünde su bazlı bir sıvı formunda olup, uygulandıktan sonra gözle fark

edilemeyen bir katman oluşturur. Ultraviyole ışınlarına dirençli ve kapladığı yüzeyin dayanımını arttıran bir etki sağlar. Silikon bazlı su iticiler nem bozunmasına karşı en etkili korumayı sağlarlar. Mineral yüzeylerde ve mineral esaslı kaplamalarda, sıvı haldeki suyu iten, bununla birlikte su buharını geçiren, stabilitesi yüksek ve bundan dolayı da son derece dayanıklı, üç boyutlu bir silikon reçine ağı oluştururlar (4, 5, 6). Stiren-akrilik emülsiyon polimerleri stiren ve metil metakrilat, butil akrilat, 2-etilheksil akrilat, akrilik asit, vs. gibi çeşitli akrilat esterlerden üretilen su bazlı polimerlerdir. Uygun sert (yani stiren) ve yumuşak monomerleri seçerek, çeşitli son kullanım uygulamaları için özel niteliklere sahip polimerler yapılabilir. Sentetik emülsiyon polimer endüstrisi tarafından kullanılmak üzere yeni monomerler geliştirmeye devam edildiği güncel olarak gözlenmektedir. Stiren akrilik polimerler, hidrofobik ve aynı zamanda yapıştırıcı özellikler de gösteren ve özellikle suya yüksek direnç göstermesi arzu edilen yerlerde, örneğin çatı kaplamalarında yoğun şekilde kullanılan bir malzemedir. Elde edilebilecek çok çeşitli özellikler nedeniyle, stiren akrilik polimer emülsiyonları, su bazlı sistemlerin kullanıldığı her alanda kullanım olanağı bulabilecek potansiyele de sahiptir. Diğer taraftan, çinko stearat renksiz bir metal sabundur. İnorganik bağlayıcı karışımlarda su geçirmez ve matris dokudaki malzemelerin bozulmasını engelleyen bir etkisi söz konusudur. Yapı kimyasalı ürünlerde yaygın bir şekilde su itici ajan olarak kullanılır. Ayrıca, karışım bünyesinde kaydırıcı materyal olarak da görev yapmanın yanı sıra, çimentolu kompozit yapı elemanlarında iyi bir dolgu materyali olarak da kullanımı görülmektedir (5, 6, 7, 8). Su itici ajanların inorganik bağlı lifli kompozit levha harçlarında hidrofobik özelliklerine etkisi, su itici malzemenin harcın hidrasyon sürecinde oluşan kimyasal etkileşime ve karışımında yer alan malzemelerin yüzeylerine tutunma olguları gibi faktörlere göre değişkenlik gösterebilmektedir. Bu bağlamda, her bir tür su itici eşdeğer bir kompozit levha harcında farklı teknik performanslar göstermektedir. Bu etkilerin detay irdelenmesi için standart olarak kabul edilebilecek bir harç karışımına farklı oranlarda ilave edilen su itici ajanların belirli zaman aralıkları sonrası teknik performansı deneysel olarak analiz edilerek, harca katma değer sağladığı hidrofobik etki irdelenebilmektedir. Bu amaçla, yukarıda tanımlanan farklı orijinli bir dizi su itici özellikler gösteren bileşenlerin lifli kompozit levha harç karışımlarında kullanımı üzerine üniversite-sanayi-sektör işbirliği çerçevesinde bir ArGe çalışması sürdürülmektedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen teknik bulguların özet bir bölümü aşağıda tartışılmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle kontrol örneği olarak da irdelenecek karışım bileşenleri Çizelge 2’de belirtilen standardize edilmiş bir lifli kompozit harç karışımından test örnekleri üretilmiştir.

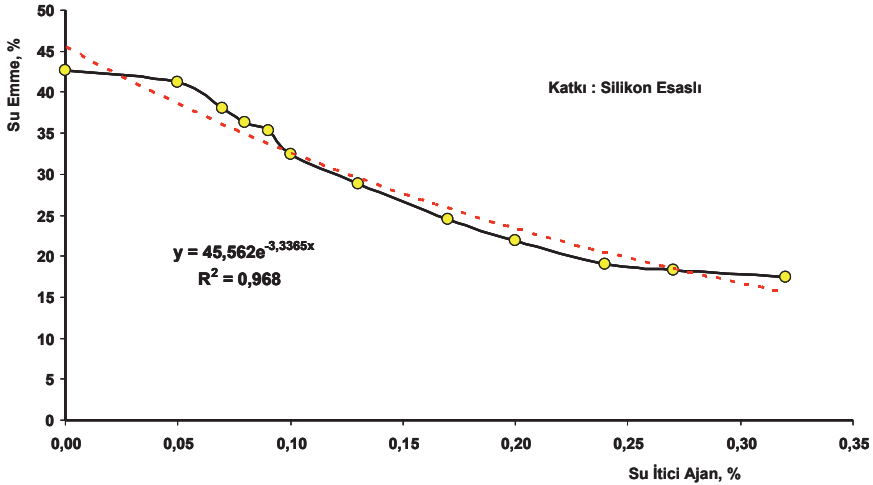
Çizelge 2. Lifli kompozit levha harç karışım bileşenleri.

Karışım Bileşeni	Ağırlıkça Miktar, (%)
Çimento	32
Mikronize Edilmiş Kum	61
Selüloz	7

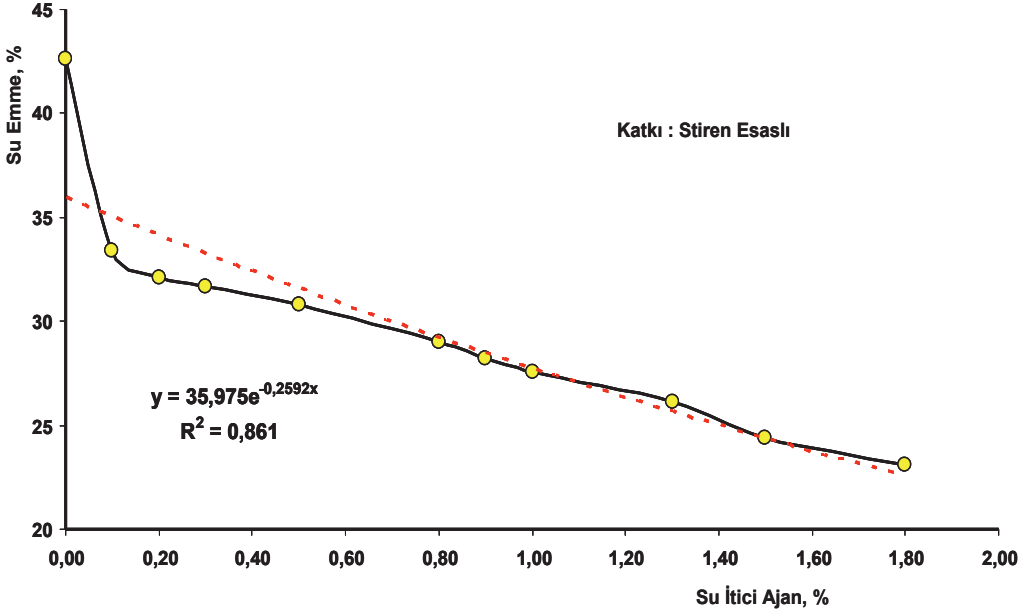
Standart harç karışımı içerisine daha sonra karışımdaki toplam katı madde ağırlığının sırasıyla %0.05, %0.07, %0.08, %0.09, %0.10, %0.13, %0.17, %0.20, %0.24, %0.27 ve %0.32 oranlarında silikon esaslı silan/siloksan emülsiyonu ilave edilerek her bir oran için ayrı ayrı harç karışımları hazırlanmıştır. Benzer şekilde bir diğer seri olarak, stiren akrilik esaslı su itici katkı karışımlarda toplam katı madde ağırlığının sırasıyla %0.10, %0.20, %0.30, %0.50, %0.80, %0.90, %1.00, %1.30, %1.50 ve %1.80 oranlarında harç karışımları hazırlanmıştır. Metal sabunu esaslı su itici katkı karışımları için ise bu oran değişimi %0.20, %0.25, %0.30, %0.50, %0.70, %0.90, %1.10, %1.20, %1.30 ve %1.50 olarak uygulanmıştır. Her bir karışıma ait inorganik bağlı lifli kompozit levha örnekleri hazırlanmıştır. Test numunelerini hazırlamak amacıyla, karışımda yer alan selüloz malzeme, öncelikle açılma işlemi tabi tutularak fibrilleşmesi sağlanmış ve getirilebilen ince lifsel formunda su ile pulp şekline dönüştürülmüş olup, çimento ve su itici ajanı da ihtiva eden karışım bileşenleri ile karıştırılarak 300 x 300 mm² boyutlarındaki bir çelik kalıba eşit olarak yayılmıştır. Karışım, numunenin yaklaşık hedef yoğunluğunu kontrol ederek hidrolik olarak preslenmiş ve 12 ± 1 mm kalınlıkta bir test örnekleri elde edilmiştir. Bu işlem esnasında, kalıba yerleştirilen harç karışımı, sabit bir sürede kalıp içerisinde preslenerek yeterince sıkışması sağlanmıştır. Tüm test numuneleri, TS EN 12467 standardında öngörülen prensiplere göre analiz edilmiştir. Her bir karışım partisi için, ortalama 5 adet inorganik bağlı lifli kompozit levha numunesi hazırlanmış olup, kalıptan çıkarılmış örnekler otoklav ortamında kürleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Tüm karışımlarda aynı kıvamı elde etmek için, her karışımın su/katı oranı agrega ve katkı türevine göre farklı kullanılmıştır. Kuru birim hacim kütle değeri 1200 kg/m³'den daha düşük olan kompozit levha örnekleri, genel bir görüş olarak inşaat sektöründe hafif yapı levhası olarak da irdelenebilmektedir. Bu amaçlı üretilen levha türevlerinin tabi olduğu standart irdelendiğinde ise levhaların birim hacim kütle değerlerine herhangi bir sınırlama getirilmediği de görülmektedir. Ancak sektörel uygulamalarda düşük yoğunluklu, hidrofob özellikler gösteren, su buharı difüzyonuna imkân

sağlayan plaka türevleri, genellikle iç ve dış cephe uygulamalarda yüksek performanslı önemsenen ürünler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, levhaların birim hacim kütle değerleri ayrı bir önem kazanmaktadır. Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular ışığında, standart levha karışım harcı ile elde edilmiş test örneklerinin ortalama birim hacim kütle değeri 1130 kg/m^3 olarak ölçülmüştür. Silikon esaslı silan/siloksan emülsiyonu ilave edilerek elde edilmiş test örneklerinin ortalama birim hacim kütle değeri $1160\text{-}1190 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Silikon katkı oranı arttıkça, test örneğinin birim hacim ağırlığında kısmen de olsa bir artış eğilimi olduğu gözlenmiştir. Stiren akrilik esaslı su itici ilave edilerek elde edilmiş test örneklerinin ortalama birim hacim kütle değeri ise $1105\text{-}1210 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Diğer taraftan, metal sabunu katkılı örnekler ise ortalama birim hacim kütle değeri ise $1100\text{-}1195 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişim göstermektedir. Silikon esaslı katkılı örnekler hariç, diğer iki tür su itici katkılı test örneklerinin kontrol örneğine göre ortalama %5 oranında daha hafif levha elde edilebildiği gözlenmiştir. İnorganik bağlı lifli kompozit harçların su emme kapasitesi, aynı zamanda su tutma kabiliyetini gösteren bir parametre olarak da değerlendirilmektedir. Yüksek su emicilik değerine sahip olan lifli kompozit levhalarda, emilen ve bünyede tutulan su oranı bağlamında boyutsal hareketlilik özelliği sergilemesi kaçınılmaz bir durumdur. Boyutsal hareketlilik levhanın hangi yöneliminde olursa olsun, teknik olarak arzu edilen bir durum değildir. Ancak, sıfır ölçeğinde bir boyutsal hareketlilik sağlamak da pek olası gözükmemektedir. Bu nedenle, minimum kabil edilebilecek boyutsal hareketlilik değeri levhaların kullanım yerleri açısından belirlenmelidir. Kompozit levhalarda su emme olgusunu artıran en önemli faktörler arasında, levha matrisini oluşturan ve matris donatısını da oluşturan selülozlar yer almaktadır. Genellikle lifsel yapıdaki selülozlar yüksek su tutma kabiliyetine sahip birer bileşendir. Selüloz liflerin, fibrilleşerek daha ince lifsel dokuya ulaşması su tutma kabiliyetlerini de minimize eden bir olgudur. Ancak levha matrisinde yüksek oranda selüloz varlığı ve bu liflerin saçınım şeklinde matris yapıda dağım göstermesi, levha yüzeyinin ve bünyesinin yayınım olarak su tutma kabiliyetini artırmaktadır. Bir diğer önemli faktör ise, levha harcının kalıba dökümü sırasında yeterince harcın yerleşmemesi veya katı tanelerin tane boyut dağılımının düzensizliği gibi sebeplerle matris yapıda oluşan boşluklarda önemli bir rol oynamaktadır. Bu olumsuz olguları kısmen ber taraf etmek amacıyla, harç karışımına ilave edilen su itici malzemeler, fiziksel veya kimyasal bir etkiyle karışım bileşenlerinin yüzeylerini kaplayarak ya da boşlukları geçirimsiz bir tabaka ile dolgulayarak, matris yapının hidrofob özellik kazanmasını sağlarlar. Bu etkileşimde genelde arzu edilen husus, su itici ajanın aktif bir kimyasal etkiyle özellikle su emiciliği yüksek olan karışım bileşenlerinin yüzeyine kimyasal olarak bağlanması ve bu yüzeyin hidrofobik bir yüzey haline gelmesidir. Lifli kompozit levhalarda bu olgunun daha ziyade selüloz lif bileşenlerinin yüzeyinde aktiflik göstermesi, levha ürününün su emme

kabiliyetini önemli ölçekte düşürmektedir. Bu da doğal olarak levanın boyutsal hareketliliğini de minimize edecek önemli bir faktör olacaktır. Bir diğer etkileşim türü ise, su itici ajanların matris yapıda yer alan lif haricindeki katı materyallerin yüzeyine tutunarak bir film tabakası oluşturması veya katı malzemelerin yüzey yüklerini değiştirerek hidrofob etki sergilemesi gibi reaksiyonlar da görülebilmektedir. Bu ve benzeri etkileşimlerin yapısal olarak detaylı incelenmesi son derece önemli olmaktadır. Ancak, fiziksel büyüklükler olarak bu etkileşimin bir göstergesi levhanın su emme oranının tayini ile de irdeleme yapılabilmektedir. Bu bağlamda, çalışma kapsamında kullanılan üç ayrı tür su itici katkı kullanımı ile elde edilmiş test örneklerinin otoklav kürlemesi sonrası su emme oranları Şekil 1 – Şekil 3’de verilmiştir. Su itici ajan katkı oranlarının levhaların su emme oran değişimine olan etkileri bu şekillerden irdelendiğinde, en etkin hidrobik etkinin silikon bazlı katkı ile sağlandığı görülmektedir. Karışımda silikon katkı oranının artması, kompozit levha harcının priz sonrası su emme değerini önemli ölçekte düşürücü bir etki de sağladığı görülmektedir. Özellikle silion esaslı katkının ağırlıkça %0.25 ve üzerinde karışıma ilave edilmesi, priz sonrası su emme oranının levhada %20 seviyesi altına düşmesine sebep olmaktadır. Bu düşme oranın daha da artırılması düşünüldüğünde, doğal olarak beklenen bulgu su emme oranının çok düşük değerlere gerileyebilmesidir. Ancak, katkı kullanımından kaynaklı harç malzeme maliyeti dikkate alındığında, ekonomik kabul edilebilen değerlerin üzerine çıkabileceği de dikkate alınmalıdır.

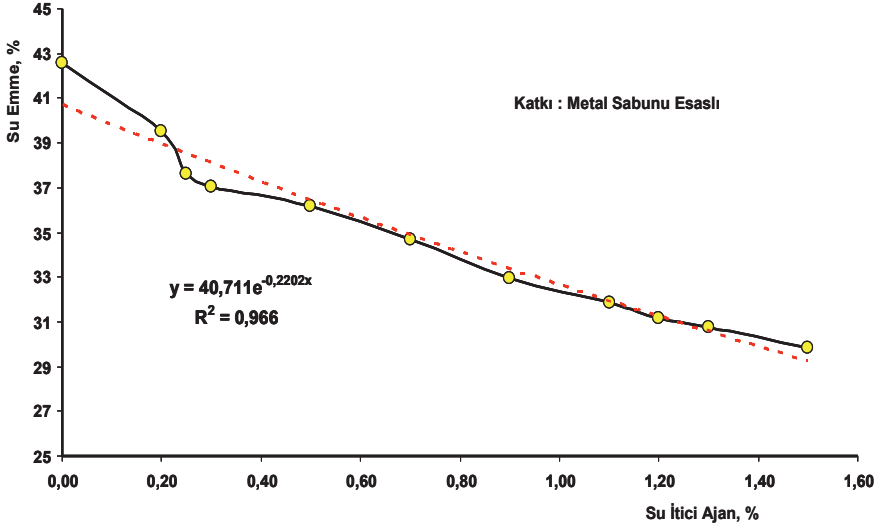


Şekil 1. Levha örneklerinin su itici ajan oranına bağlı su emme oranı değişimi.



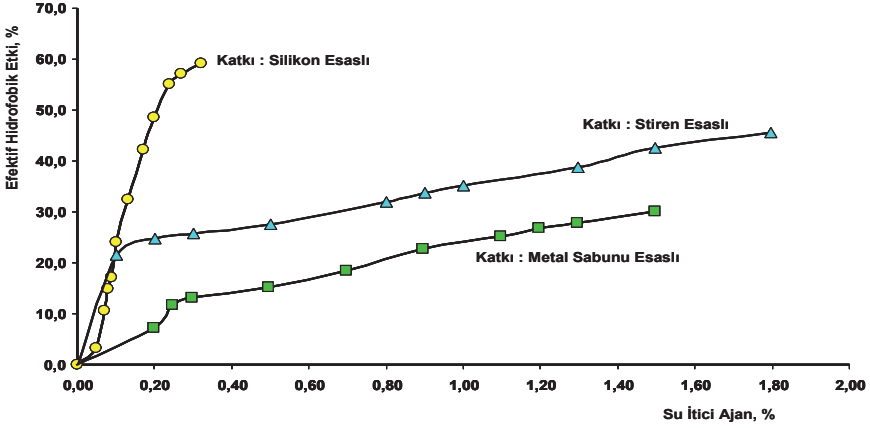
Şekil 2. Levha örneklerinin su itici ajan oranına bağlı su emme oranı değişimi.

Silikon katkılı levha harçların priz sonrası yapısal analizi makroskobik olarak yapıldığında, genellikle silikon partiküllerin kimyasal bir bağla matris yapıdaki selüloz lif malzemelerin yüzeylerine tutunduğu ve bir kısmı kapama mekanizması geliştiği belirgin olarak gözlenmiştir. Bununla birlikte, ince liflerdeki yüzeye tutunma olgusunun daha yüksek olduğu bir diğer önemli bulgudur. Benzer şekilde stiren akrilik esaslı katkılı levha örneklerinin de silikon katkılarda olduğu gibi kullanım oranına bağlı olarak levha örneklerinin su emme değerlerin lineer bir yaklaşımla azaltma eğilimi sergilediği görülmektedir. Stiren akrilik esaslı katkı kullanımının su emme kabiliyetini düşürme bağlamında optimum değeri ağırlıkça %1.35'in üzerinde kullanım oranı olarak tespit edilmiştir. Stiren akrilik katkı, diğer taraftan, kopolimer bir malzeme olarak boya endüstrisinde bağ yapıcı bir materyal olarak da bilinmektedir. Dolgu içermemesi ve renk pigmentleri ile çapraz bağ yapabilme kabiliyeti sebebiyle su bazlı ürünlerde kullanımları görülmektedir.



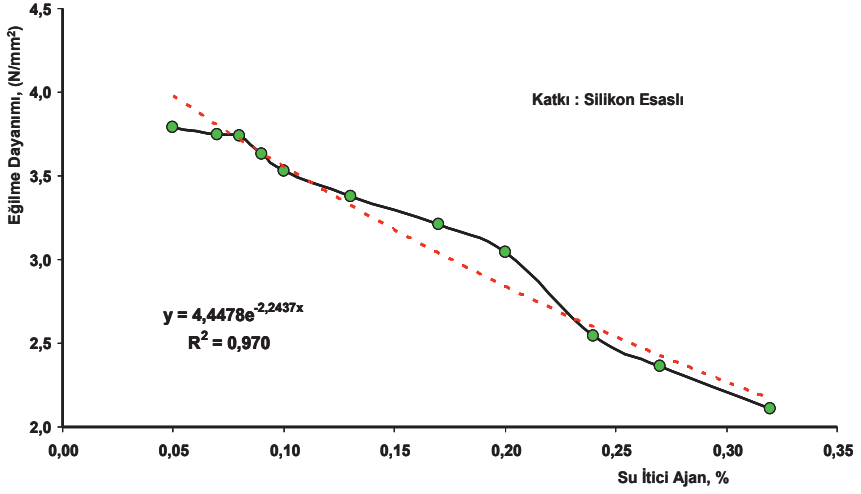
Şekil 3. Levha örneklerinin su itici ajan oranına bağlı su emme oranı değişimi.

Lifli kompozit levha harç karışımlarının matris yapısı makroskobik olarak incelendiğinde, stiren akrilik etkileşimiyle katı malzeme yüzeylerinde film tabakaları oluştuğu ve matris dokuya kısmen de olsa hidrofob özellik kattığı gözlenmiştir. Bir diğer su itici bileşen metal sabunu çinko stearat katkılı test örneklerinin de diğer iki tür katkıya oranla daha düşük düzeyde su iticilik özelliği kazandırdığı belirlenmiştir. Bu olgu sayısal büyüklükler olarak Şekil 3’de de görülebilmektedir. Çinko stearat etkisinin matris yapıda karışımdaki malzeme yüzeylerine tutunarak bir film tabakası oluşturmaktan öteye, çoğunlukla su iticilik özelliği gösteren bir materyal olarak dolgu malzemesi görevi üstlendiği görülmüştür. Bu her üç su itici katkının karşılaştırmalı performansını irdelemek amacıyla, harcın hidrofobluk özelliğine etkisi, sağladığı yüzde potansiyel değer bağlamında “efektif hidrofob etki” değeri olarak analiz edilmiştir. Üç tür katkının test örneklerinde sağladığı efektif etki Şekil 4’de grafiksel olarak analiz edilmiştir. Bu grafiksel analizden de görüleceği üzere, en etkin efektif etki silikon esaslı katkı tarafından sağlanmakta olup, bu etkileşimi sırasıyla stiren esaslı ve metal sabunu esaslı katkı kullanımı takip etmektedir. En etkin katkı, diğer türlere göre daha düşük kullanım oranı eşdeğer hidrofob etki sergileyen malzeme olarak nitelendirilebilmektedir.

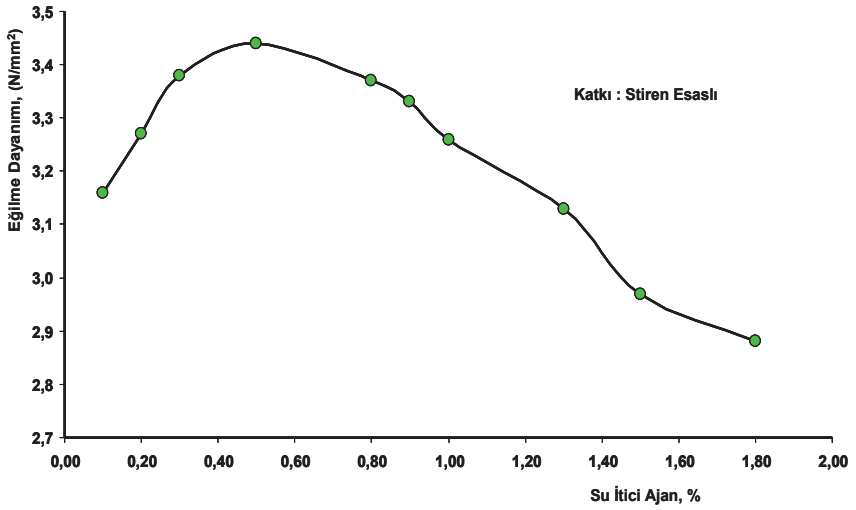


Şekil 4. Su itici katkıların efektif hidrofobik etki analizi.

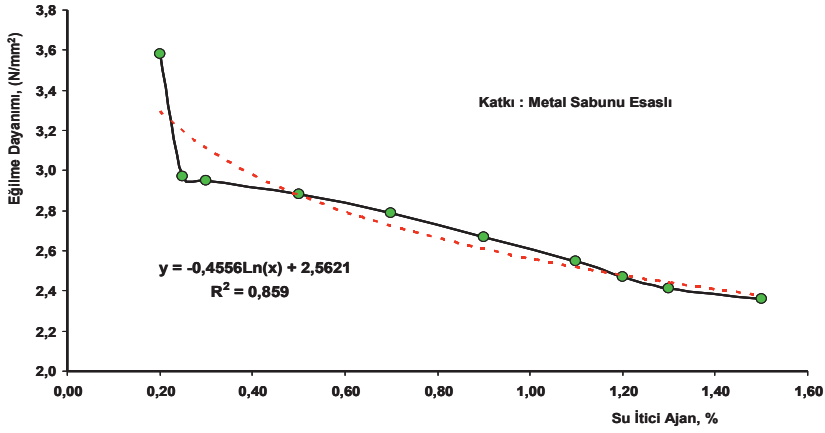
Lifli kompozit levhaların bir diğer önemli özelliği ise eğilme dayanımıdır. Eğilme dayanımı deneysel çalışmalarda malzemenin su iticilik formunda da etkilenen bir büyüklük olarak görülebilmektedir. Genellikle MOR olarak da kısaltılan eğilme dayanımı, kopmadan önce bir numunenin mukavemetinin bir ölçüsü olup, megapaskal olarak ifade edilir (MPa). Test örneklerinin kür koşullarına göre kompozit levha örneklerinin MOR değerleri farklılık gösterebilmektedir. Isıya, yüksek neme ve aşırı don etkilerine maruz kalan yerlerde kullanılmak üzere tasarlanan kompozit levhaların en düşük MOR değerleri, TS EN 12467 standardına göre minimum 4 MPa'dır. Benzer bir yaklaşımla, normal ortam koşullarında sıcaklığın ve neme maruz kalabileceği fakat buzlanmayacağı yerlerde (iç mekanlarda) kullanılmak üzere tasarlanan kompozit levhalarının sınırlı MOR değerlerinin en az 4 MPa olması öngörülmektedir. Bununla birlikte, en zayıf yöndeki levha örneklerinin en küçük kopma modülü burada verilen değerlerin %70'inden küçük olmamalı ve her iki yöndeki değerlerin ortalamalarını sağlamalıdır. Diğer bir değişle, kompozit levha örneklerinin en küçük MOR değerlerinin 2.80 MPa'dan daha düşük olmaması anlamına gelmektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılan üç ayrı tür su itici katkı kullanımı ile elde edilmiş test örneklerinin otoklav kürlemesi sonrası MOR değerleri Şekil 5 – Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 5. Levha örneklerinin eğilme dayanımı (MOR) analizi.



Şekil 6. Levha örneklerinin eğilme dayanımı (MOR) analizi.



Şekil 7. Levha örneklerinin eğilme dayanımı (MOR) analizi.

MOR analizlerine ait grafiksel veriler irdelendiğinde, her üç su itici katkı kullanımıyla elde edilen test örneklerinin MOR değerlerinin birbirinden farklı karakteristik değişim gösterdiği görülebilmektedir. Katkı kullanım oranına bağlı olmak koşuluyla özellikle silikon bazlı ve metal sabunu bazlı su itici katkıların, örneklerin minimum kabul edilebilir 2.8 MPa MOR değerinden daha düşük bir dayanıma indirdiği dikkat çekmektedir. Silikon esaslı katkı kullanımında, ağırlıkça %0.23 katkı oranı ve üzerinde bu etkinin olduğu görülmekle birlikte, metal sabunu çinko stearat kullanımının da ise bu limit oranının ağırlıkça %0.65 olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan, stiren akrilik katkı kullanımında ise, ağırlıkça %0.65 katkı kullanım oranına kadar MOR değerlerinde lineer bir artış görülmekle birlikte, bu oranın üzerinde kullanımlarda ise levhaların MOR değerlerinde hızla bir azalma eğilimi görülmektedir. Bunun nedeni, matris yapıda kimyasal etkileşim sonrası oluşan film tabakalarının yaygın ve tabaka kalınlıklarının büyük olması, malzemeyi daha gevrek bir forma sokabilmekte ve daha kırılgan bir yapı şekline dönüştürebilmektedir.

SONUÇ

Yapılan ArGe çalışmasının bulgularına göre inorganik bağlı lifli kompozit levha üretimlerinde hidrofob özelliğin iyileştirilmesi amacıyla silikon esaslı su itici katkıların, stiren ve metal sabunu esaslı su itici katkı kullanımların göre daha etkin bir rol aldığı teknik olarak belirlenmiştir. Ayrıca, standartların öngördüğü prensiplere göre minimum eğilme mukavemet değeri de optimum katkı kullanım oranıyla kolaylıkla sağlanabilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Sacak M., Polimer Kimyası, Anakara Üniversitesi, Gazi Kitabevi, 2002, Ankara.
2. Türk Standardı TS EN 12467, “Düz Levhalar –Elyaf Takviyeli Çimento Kullanılarak imal edilmiş – Mamul özellikleri ve deney yöntemleri”, 2016, Ankara.
3. <http://www.atakimya.com.tr/> *Erişim Tarihi:12.12.2015*
4. Wacker, 2017, “SILRES® BS – Su Geçirmezlikte Çok Yönlü Uzmanınız”, İnşaat Ürünler ve Uygulamalar Bilgi Dokümanı, <http://www.wacker.com>
5. <http://www.kumrukimya.com/recine-toz-tutkalların-kullanım-alanları.htm> (21.06.2017).
6. <http://www.epoksiboya-epoksirecine.com/alkid-recineleri> (21.06.2017).
7. <http://www.terrasilicone.com/tr/index.php/silikonların-dünyası.html> (21.06.2017).
8. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Silikon>

20 Ekim 2017 Cuma

October 20th 2017 Friday

2.Gün/Second Day

5.Oturum/Fifth Session

Oturum Başkanı/Session Chair

Prof. Dr. Halit YAZICI

NAOH İLE AKTİFLEŞTİRİLEN SUGÖZÜ UÇUCU KÜLLÜ GEOPOLİMERLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

İsmail İsa ATABEY

Öğr. Gör. Dr.

Cumhuriyet Üniversitesi

Sivas, Türkiye

Okan KARAHAN

Doç. Dr.

Erciyes Üniversitesi

Kayseri, Türkiye

Cahit BİLİM

Doç. Dr.

Mersin Üniversitesi

Mersin, Türkiye

Cengiz Duran ATIŞ

Prof. Dr.

Erciyes Üniversitesi

Kayseri, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, NaOH ile aktive edilen uçucu küllü harçların eğilme ve basınç dayanımı üzerinde Na konsantrasyon oranının etkisi araştırılmıştır. F sınıfı Sugözü uçucu külü ile aktivatör olarak farklı Na oranlarında NaOH kullanılarak elde edilen geopolimer harçların sabit su içeriğinde eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Harç karışımları için kum-bağlayıcı oranı 3, su-bağlayıcı oranı 0.35 olarak belirlenmiştir. Deneylerde ince agrega olarak maksimum tane çapı 2 mm olan 1350 g'lık CEN Standart Kumu kullanılmıştır. Harç üretiminde kullanılan sodyum hidroksit'in Na konsantrasyonları uçucu kül miktarının %6, %9, %12, %15, %18 ve %21'i olarak seçilmiştir. Üretilen harç numunelerine 24 saat boyunca 100°C'de ısıtma kür uygulanmıştır. Çalışmada üretilen alkali ile aktifleştirilmiş uçucu kül

geopolimer harç numuneleri ısıtılma işlemine tabi tutulup, oda sıcaklığına kadar soğuması beklenmiştir. Soğuyan 40×40×160 mm boyutlarındaki üç adet prizmatik numune üzerinde önce tek noktadan eğilme deneyi ve daha sonra bölünmüş parçalar üzerinde basınç dayanım deneyi uygulanmıştır. Genel olarak Na konsantrasyonunun %6'dan %18'e kadar artışı ile dayanımlarının arttığı görülmüştür. Ancak, %21 Na oranında çözeltinin kristalleşmesi nedeniyle numune üretilmemiş olup, dolayısıyla dayanım elde edilememiştir. Na oranı %18 olan numunelerden yüksek eğilme ve basınç dayanımı elde edilmiş olup, değerleri sırasıyla 17.6 MPa ve 83.1 MPa'dır.

Anahtar Kelimeler: Geopolimer, uçucu kül, dayanım

MECHANICAL PROPERTIES OF SODIUM HYDROXIDE-ACTIVATED SUGOZU FLY ASH GEOPOLYMERS

ABSTRACT

In this study, the effect of Na concentration ratio on the flexural and compressive strength of NaOH activated fly ash mortars was investigated. The flexural and compressive strengths of constant water content of geopolymer mortars obtained by using NaOH in different Na contents as an activator with F class fly ash were determined. The sand-binder ratio was 3 and the water-binder ratio was 0.35 for the mortar mixtures. In the experiments, 1350 g of CEN standard sand having a maximum particle diameter of 2 mm was used as fine aggregate. Sodium hydroxide concentrations of Na used in the production of the mortar were selected as 6%, 9%, 12%, 15%, 18% and 21% of the mass of fly ash content. The mortar samples produced were heat cured at 100° C for 24 hours. Alkali activated fly ash geopolymer mortar samples produced in the study were subjected to thermal curing and allowed to cool to room temperature. On three prismatic specimens of dimensions 40 × 40 × 160 mm, which

have been cooled down, a single point flexural test was first applied and then a compressive strength test was carried out on broken half prismatic pieces. In general, the strength of mortar increased as increasing Na content from 6% to 18%. However, due to the crystallization of the solution at the rate of 21% Na content, the sample could not be produced and therefore the strength could not be obtained. High flexural and compressive strengths were obtained from class F fly ash based geopolymer samples containing 18% Na content, and their values were 17.6 MPa and 83.1 MPa, respectively.

Keywords: Geopolymer, fly ash, strength

1. GİRİŞ

Günümüzde, uçucu külün çeşitli sektörlerde kullanımı ile ilgili birçok araştırmalar yapılmakta ve inşaat sektöründe kullanımına fazlaca önem verilmektedir. Uçucu kül bileşenlerindeki silisli ve alüminli yapısı nedeniyle puzolanik özellik göstermektedir. Bu nedenle çimento ve betonda katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. İnce ve küresel olduklarından dolayı taze betonda işlenebilmeyi iyileştirirler [1]. Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcılık özelliği olmayan veya az olan ancak ince öğütüldüğünde ve sulu ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek bağlayıcılık kazanan silisli ya da silisli ve alüminli malzemelerdir [2].

Uçucu küllerin beton ve çimento sektöründe katkı olarak kullanımının yanı sıra alkaliler ile aktifleştirilerek kullanımı da mümkündür. Geopolimer olarak adlandırılan uçucu küllü çimentosuz harçların birçok avantajları vardır. Geopolimerlerin önemli avantajlarından bazıları; kısa zamanda dayanım kazanmaları, dış etkilere karşı dayanıklı olması, düşük ısı iletkenliği ve yüksek hacim stabilitesine sahip olmalarıdır. Ayrıca tuğla ve gazbeton üretiminde alkalilerin kullanılması kür sıcaklıklarını oldukça düşürmekte ve buna paralel olarak enerji maliyeti düşmektedir [3].

Uçucu kül tabanlı geopolimerler, 1990'lı yıllardan beri daha fazla ilgi çekici hale gelmiştir [4]. Kömürle çalışan santrallerde oluşan uçucu küllerin zararlı etkilerinin azaltılması için uygun çözüm yöntemlerinden birisidir [5]. Alkali aktivasyonda uçucu kül kullanımı, atık materyallerin azaltılmasına ve daha kaliteli yapı malzemeleri üretimine katkı sunmaktadır [6].

Alkali aktivasyonda uçucu kül ile geopolimer üretiminde NaOH, diğer aktivatörlerden daha etkilidir [7]. Alkali aktivatör çözeltilerinde Si ve Al içeren oksitlerin çözünmesi önemli rol oynar. Böylece geopolimerler reaktif alüminosilikat malzemeler ve sodyum hidroksit çözeltisi gibi güçlü alkali çözeltilerin karışımı ile sentezlenerek bağlayıcılık kazanırlar [8]. Birçok çalışma gösteriyor ki, uçucu küllerin alkali aktivatörler ile aktivasyon hızının artışında kür sıcaklığının artışı önemli rol oynamaktadır [9-10-11].

Literatürde geopolimerle ilgili olarak, ısıl kür ile yüksek basınç dayanımlara ulaşıldığı belirtilmektedir. Joseph ve Mathew [12] çalışmasında, 24 saat 100°C'de ısıl kür uygulanan karışımların 28 günlük basınç dayanımlarını 58 MPa elde etmişlerdir. Olivia ve Nikraz [13], molar oranı 14 olan NaOH çözeltisi ile 24 saat 75°C'de ısıl kür ile 60 MPa basınç dayanımına ulaşmıştır. Ryu ve arkadaşları [14], NaOH ile aktive edilen betonlara 24 saat 60°C'de ısıl kür uygulayarak 45 MPa basınç dayanımına ulaşmışlardır. Görhan ve Kürklü [8], molar oranı 9 olan NaOH çözeltisi ile ürettikleri geopolimer harçlarda 8 MPa eğilme dayanımı ve 22 MPa basınç dayanımı elde edebilmişlerdir. Atiş ve arkadaşları ise [15], %15 Na oranında NaOH ile 24 saat 115°C'de ısıl kür sonrasında 120 MPa basınç dayanımı ve 15 MPa eğilme dayanımı elde etmişlerdir.

2. ÇALIŞMANIN AMACI

Çalışmanın amacı, F sınıfı uçucu küllü geopolimer harçlarda farklı Na oranlarındaki NaOH çözeltisinin, harç numunelerinin basınç ve eğilme dayanımına etkisini belirlemektir. Bu amaçla üretilen numunelere kür süresi sonunda eğilme ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır.

3. MALZEME ÖZELLİKLERİ

3.1. Uçucu Kül

Uçucu kül, Ekton İnşaat tarafından Adana ili Yumurtalık ilçesi Sugözü köyünde bulunan Sugözü Termik Santralinden temin edilmiştir. Kimyasal bileşiminde yer alan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ bileşimi %70'den fazla ve CaO oranı %10'dan daha az olduğu için ASTM C618'e [16] göre F sınıfı düşük kireçli uçucu kül sınıfında yer almaktadır. Özgül ağırlığı 2.29 ve 45 μ elek üstü bakiyesi %18.47'dir. Uçucu küle ait kimyasal özellikler Çizelge 1'de verilmiştir

Çizelge 1. Sugözü uçucu külü kimyasal özellikleri

Oksit	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Toplam Alkali	Cl^-	Serbest CaO	LOI
Uçucu Kül	60.51	21.69	7.85	1.52	1.65	0.53	3.50	0.010	0.183	2.42

3.2. Standart Kum

Deneysel çalışmada maksimum tane boyutu 2 mm olan 1350 gramlık paketlerde temin edilen standart CEN kumu kullanılmıştır. Kumun kuru özgül ağırlığı 2.63, doygun kuru yüzey özgül ağırlığı 2.65 ve su emme oranı %0.57'dir. Referans kuma ait elek analizi sonuçları ve TS EN 196-1'de [17] yer alan sınır değerler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Standart kum elek analizi ve snır değerleri

	Tane Boyutu (mm)					
	0.08	0.16	0.5	1.0	1.6	2.0
Kalan (%)	99.6	87.1	68.9	32.7	3.1	0
Snır (%)	99 ± 1	87 ± 5	67 ± 5	33 ± 5	7 ± 5	0

3.3. Aktivatör

Çalışmada uçucu külü aktifleştirmek için Koruma Klor Alkali Sanayi firmasından temin edilen NaOH kullanılmıştır. Sodyum hidroksitin kimyasal özellikleri Çizelge 3’te verilmiştir.

Çizelge 3. Sodyum hidroksit kimyasal analizi ve snır değerleri

NaOH	Na ₂ CO ₃	NaCl	Fe
(%)	(%)	(%)	(ppm)
98.27	0.35	0.02	13.17
min. 98.00	max. 0.40	max. 0.10	max.15

3.4. Su

Karışımlarda şehir şebekesinden karşılanan içilebilir musluk suyu kullanılmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Aktivatör kullanılarak üretilen harçlarda su/bağlayıcı oranı 0.35 ve kum/bağlayıcı oranı 3 olarak seçilmiştir. Aktivatör katkısı ise %6, %9, %12, %15, %18 ve %21 Na oranı olarak belirlenmiştir. Geopolimer harçlarda sodyum hidroksitin yapısında yer alan su, karışıma girecek su miktarından düşülerek net su ile harç hazırlanmıştır. Karışımlara ait detaylar Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Farklı Na oranlarında üretilen harçların karışım oranları

Na (%)	Su/ Uçucu Kül Oranı	Uçucu Kül (g)	Kum (g)	Net Su (g)	NaOH (g)	Teorik Su (g)
6	0.35	450	1350	146.93	46.96	10.57
9	0.35	450	1350	141.65	70.43	15.85
12	0.35	450	1350	136.37	93.91	21.13
15	0.35	450	1350	131.09	117.39	26.41
18	0.35	450	1350	125.80	140.87	31.70
21	0.35	450	1350	120.52	164.35	36.98

Karışım için hazırlanan çözeltide sodyum hidroksit kullanıldığı için, su ile tepkime yapıp çözünmesi ile ortama sodyum hidroksitten açığa çıkan su da ilave olduğundan hesaplama yaparken dikkate alınmıştır. Yani su bağlayıcı oranı 0.35 olduğu için 157.5 g suya ihtiyaç var iken Çizelge 4'te görülen teorik su olarak adlandırılan tepkime sonucu açığa çıkan su 157.5 g sudan düşülerek net su değerleri hesap edilmiştir. Elde edilen net su değerleri ile sodyum hidroksit çözeltisi hazırlanmıştır.

Çözelti hazırlamak için cam kavanozlar kullanılmıştır. Kavanoza önce hesap edilen su miktarı tartılarak konup, üzerine sodyum hidroksit ilave edilerek yaklaşık 1 dakika çalkalama yapılmış ve kimyasalın tamamen erimesi sağlanmıştır. Yüksek Na oranlarında bile çalkalama yapılarak sodyum hidroksit çözünebilmiştir. Sodyum hidroksitin su ile tepkimesi ekzotermik olduğu için oda sıcaklığına kadar soğuması beklenmiştir. Ancak çözelti oda sıcaklığına gelince kullanılmaz ve uzun süre beklenirse kristalleşme oluşmaktadır. Oda sıcaklığındaki çözeltiler ile hobart mikserinde karışımlar hazırlanarak kalıplara yerleştirilmiştir.

Üretilen harç karışımları TS EN 196-1'e uygun olarak hazırlanmıştır. Çözelti ve uçucu kül önce karıştırma kabına konup 30 saniye karıştırdıktan sonra ikinci 30 saniye içerisinde kum ilave edilmiştir. Ardından yüksek hızda 30 saniye daha karıştırmaya devam edilmiştir. Karıştırıcı durdurulup ilk 30 saniyede kabın çeperlerindeki harç ortaya toplanarak toplam 90 saniye beklenmiştir. Ardından 60 saniye daha yüksek hızda devam edilerek karıştırma işlemi tamamlanmıştır. Hazırlanan harç numuneleri hemen bekleme yapılmaksızın 100°C sıcaklıktaki etüve konarak 24 saat süreyle etüvede kalması sağlanmıştır. Bu süre sonunda numuneler oda sıcaklığına gelince deneye tabii tutulmuşlardır.

Taze harçlara TS EN 1015-3 [18] standardına uygun olarak yayılma tablası yöntemi deneyi yapılmıştır. Ayrıca numunelerin tamamının sertleşmiş ağırlıkları alınıp hacimlerine bölünerek birim ağırlıkları hesaplanmıştır. Ardından 40×40×160 mm boyutlarındaki sertleşmiş numunelere TS EN 1015-11 [19] standardına uygun olarak mesnet açıklığı 100 mm olacak şekilde tek noktadan yükleme yapılmıştır. Numuneler kalıptan çıkarılan yan yüzleri üzerine mesnet silindirleri üstüne dik şekilde yerleştirilip yükleme uygulanmış ve elde edilen yük değerleri ile eğilme dayanımı değerleri hesaplanmıştır. Eğilme deneyi ile ikiye ayrılan numunelerin 40×40 mm düzgün kalıp yüzeylerine basınç dayanımı deneyi TS EN 1015-11 [19] standardında belirtilen şekilde uygulanmıştır. Kırılma anındaki yük değeri yükün uygulandığı alana bölünerek basınç dayanım değerleri elde edilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. İşlenebilirlik ve Birim Ağırlık Deneyi

Taze harç numunelerinin yayılma değerleri Çizelge 5'te görüldüğü gibi 101-107 mm arasında ölçülmüştür. Geopolimerlerin Na oranındaki artışa bağlı olarak biraz düşüş görülmüştür. Sertleşmiş numunelerin birim ağırlıkları ise Na oranındaki artışa bağlı olarak bir miktar yükselme eğilimi göstermiş ve 2.13-2.27 g/cm³ arasında hesap edilmiştir (Çizelge 5). Yayılma değerleri düşük olsa da sarsma cihazında sıkışmakta ve etüvde dayanım kazanmaktadır. Yani çimento harcı gibi davranmamakta ısı kütür sonucu düşük yayılma değerinde sıkı bir yapı kazanmaktadır.

Çizelge 5. İşlenebilirlik ve birim ağırlık değerleri

Na (%)	Su/ Uçucu Kül Oranı	Yayılma (mm)	Birim Ağırlık (g/cm ³)
6	0.35	106	2.13
9	0.35	104	2.18
12	0.35	104	2.25
15	0.35	103	2.23
18	0.35	102	2.27
21	0.35	Çözelti Kristalleşti	

4.2. Eğilme ve Basınç Dayanımı Deneyi

Eğilme ve basınç dayanımı deneylerinde her Na çözeltisi için 3 adet 40x40x160 mm prizmatik numuneler kullanılmıştır. Numunelerin ortalama eğilme ve basınç dayanım değerleri Çizelge 6'daki kaydedilmiştir.

Çizelge 6. Eğilme ve basınç dayanım değerleri

Na (%)	Su/ Uçucu Kül Oranı	Dayanım (MPa)	
		Eğilme	Basınç
6	0.35	4.1	24.0
9	0.35	10.5	53.8
12	0.35	9.7	61.1
15	0.35	13.1	66.7
18	0.35	17.6	83.1
21	0.35	Çözeltili Kristalleşti	

Çizelge 6'da görüldüğü gibi en düşük eğilme dayanımı %6 Na oranında 4.1 MPa, en yüksek eğilme dayanımı %18 Na oranında 10.8 MPa olarak belirlenmiştir. %6, %9, %12, %15 ve %18 Na oranlarında eğilme dayanımları sırasıyla 4.1, 10.5, 9.7, 13.1 ve 17.6 MPa olarak belirlenmiştir. %21 Na oranında sodyum hidroksit tam olarak çözünemeyip kristalleştiği için numune dökülememiş ve eğilme dayanımı elde edilememiştir. %6'dan %18'e kadar Na artışına bağlı olarak eğilme dayanımında genel bir artış olmuştur. %6'dan %18'e ulaşıldığında eğilme dayanımında %329 oranında bir artış söz konusudur.

Benzer şekilde basınç dayanımında Na oranının artışı ile %18'e kadar artış söz konusudur. Uçucu küllü geopolimer harçların %6, %9, %12, %15 ve %18 Na oranlarında basınç dayanımları sırasıyla 24.0, 53.8, 61.1, 66.7 ve 83.1 MPa olarak belirlenmiştir. Karışımların konsantrasyonu %6 Na oranından %18'e artışı sonucu harçların basınç dayanımı %246 artmıştır. %21 Na oranında sodyum hidroksit tam olarak çözünemeyip kristalleştiği için numune dökülememiş ve basınç dayanımı alınamamıştır.

Genel olarak %6'dan %18'e Na oranı artışı ile hem eğilme hem de basınç dayanımında artış görülmüştür. Eğilme dayanımı ile basınç dayanımı arasında Na oranı artışına bağlı olarak genel bir ilişki söz konusudur. Yüksek Na oranlarında çözelti kristalleşmeden numune dökülebilmek için su içeriği önemli rol oynamaktadır.

5. SONUÇ

F sınıfı uçucu küller ile elde edilen geopolimer harçlar ile ilgili deneysel çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Na konsantrasyonu artışına bağlı olarak birim ağırlıklarda artış meydana gelirken, işlenebilirlik değerleri azalmaktadır.
- Yüksek Na oranlarında yüksek dayanım elde etmek mümkündür. En yüksek eğilme ve basınç dayanımı sırasıyla 17.6 ve 83.1 MPa ile %18 Na oranında elde edilmiştir.
- %21 Na oranında su oranı düşük geldiği için çözelti kristalleşmiştir. Sodyum hidroksit ile çözelti hazırlarken, suyun çözebilmesi için uygun Na ve su bağlayıcı oranında karışım hazırlanmalıdır.
- Na oranı gibi kür süresi 24 saat ve kür sıcaklığı 100°C'de eğilme ve basınç dayanımının yüksek oranda çıkmasını sağlamıştır.
- Geopolimer harcının tuğla, briket, kaldırım taşı, seramik ve benzer yapı malzemeleri üretiminde kullanımı için aşınma, su emme vb. deneyler yapılarak uygunluğu test edilmelidir.

- Alkali aktivasyonu ile uçucu küllerin kullanımı atık bir ürünün de bertaraf edilmesini sağladığı için çevresel katkı sunmaktadır.
- Geopolimerlerin yüksek Na oranlarında kullanımında çözelti hazırlamada karşılaşılabilecek problemler belirlenmesi için ön denemelerde hassasiyetle çalışılmalıdır.
- Karışımların su miktarı düşük olduğu için oldukça düşük kıvamda harçlar elde edilmektedir. Yine de kalıba yerleştirilebilmektedir. Ancak kıvamı iyileştirmek için katkı vb. parametreler ile çalışmalar yapılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya 115M171 kodlu proje ile destek veren Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) ve FDK-2014-5613 kodlu proje ile destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Kara, İ., Seyitömer Uçucu Külünün Farklı Yapı Malzemeleri Olarak Değerlendirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 99 s.
2. Bilim, C., 2006., Yüksek Fırın Cürufu Katkısının Çimento Tabanlı Malzemelerde Kullanılabilirliği, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 206 s.
3. Topçu, İ.B., Toprak, M.U, 2009., “Alkalilerle Aktive Edilen Taban Küllü Hafif Harç Üretimi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi,” 2009, 22 (2): 153-164.
4. Ariffin, M.A.M. Bhutta, M.A.R., Hussin, M.W., Tahir M. M., Aziah, N., “Sulfuric Acid Resistance of Blended Ash Geopolymer Concrete,” Construction and Building Materials, 43 (2013), 80–86.
5. Oh, J.E., Jun, Y., Jeong,J., “Characterization of Geopolymers from Compositionally and Physically Different Class F Fly Ashes,” Cement & Concrete Composites, 50 (2014), 16–26.
6. Komljenović, M., Baščarević, Z., Bradić, V., “Mechanical and Microstructural Properties of Alkali-Activated Fly Ash Geopolymers,” Journal of Hazardous Materials, 181 (2010), 35–42.
7. Schmücker, M., MacKenzie K.J.D., “Microstructure of Sodium Polysialate Siloxo Geopolymer,” Ceramics International, 31 (2005), 433–7.
8. Görhan G., Kürklü G., “The Influence of the NaOH Solution on the Properties of the Fly Ash-Based Geopolymer Mortar Cured at Different Temperatures,” Composites: Part B, 58 (2014), 371–377.
9. Palomo A., Grutzeck M.W., Blanco M.T., “Alkali-Activated Fly Ashes: A Cement for the Future,” Cement Concrete Research, 1999;29(8):1323–9.
10. Van Jaarsveld J.G.S., Van Deventer J.S.J., Lukey G.C., “The Effect of Composition and Temperature on the Properties of Fly Ash-and Kaolinite-Based Geopolymers. Chemical Engineering Journal, 2002;89(1–3):63–73.
11. Hardjito D., Cheak C.C., Ing C.H.L., “Strength and Setting Times of Low Calcium Fly Ash Based Geopolymer Mortar,” Mod Appl Sci, 2008;2(4):3–11.

12. Joseph B., Mathew G., "Influence of Aggregate Content on the Behavior of Fly Ash Based Geopolymer Concrete," Transactions A: Civil Engineering, (2012) 19(5), 1188–1194.
13. Olivia M, Nikraz H., "Properties of Fly Ash Geopolymer Concrete Designed by Taguchi Method," Materials and Design, 36 (2012) 191–198.
14. Ryu G.S., Lee Y.B., Koh K.T., Chung, Y.S., "The Mechanical Properties of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete with Alkaline Activators," Construction and Building Materials, 47 (2013) 409–418.
15. Atış, C.D., Görür, E.B., Karahan, O., Bilim, C., İlkentapar, S., Luga, E., "Very High Strength (120 MPa) Class F Fly Ash Geopolymer Mortar Activated at Different NaOH Amount, Heat Curing Temperature and Heat Curing Duration," Construction and Building Materials, 2015 (96) 673–678.
16. ASTM C 618, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, Annual Book of ASTM Standards, 2005.
17. TS EN 196-1, Çimento Deney Metodları – Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2009.
18. TS EN 1015-3, Kagit harcı- Deney metodları- Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile), Türk Standartları Enstitüsü, 2000.
19. TS EN 1015-11, Kagit harcı - Deney metodları - Bölüm 11: Sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2000.

RİYOLİT MİNERALİNİN PUZOLANİK ÖZELLİK VE BASINÇ DAYANIMI AÇISINDAN UÇUCU KÜL İLE KARŞILAŞTIRILMASI

V. Alperen BAKİ

Arş. Gör.

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

Rize, Türkiye

Şakir ERDOĞDU

Prof.Dr

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Trabzon, Türkiye

İlker USTABAŞ

Yrd.Doç.Dr

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

Rize, Türkiye

ÖZET

Puzolanlar düşük hidratasyon ısısının gerekli olduğu uygulamalar için yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Puzolanlar aynı zamanda betonun mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini etkilemeleri için de kullanımları dikkat ve özen gerektiren malzemelerdir. Ayrıca çimento yerine ikame edildikleri için sağladıkları ekonomik katkı ve ikame edildikleri çimentonun üretimi sırasında açığa çıkan CO₂ miktarının azalmasında oynadıkları rol itibarıyla inşaat sektöründe gün geçtikçe kullanımları ciddi artış göstermektedir.

Doğada puzolan olarak inşaat sektöründe kullanılan çeşitli malzemeler ve mineraller mevcuttur. Riyolit bu minerallerden sadece bir tanesidir. Riyolit volkanik kökenli bir kayaç olup puzolanik özellik itibarıyla çimentoda kullanımının mümkün olup olmadığı henüz tam net olarak bilinmemektedir. Bu çalışmada riyolit puzolanik özellikleri uçucu kül ile karşılaştırmalı olarak araştırıldı. Bu amaçla TS 25 uyarınca riyolit mineralinin puzolanik aktivitesi belirlenerek uçucu kül ile karşılaştırıldı. Riyolit mineralinin puzolanik özelliği ayrıca TS EN 169-5 standardına göre kimyasal olarak belirlendi ve uçucu kül ile karşılaştırıldı. Çalışma kapsamında riyolit ve uçucu kül ayrı ayrı ve eşit oranlarda CEM I 42,5 R tip çimento ile ikame edilerek TS EN 196-1 standardı uyarınca harç numuneler hazırlandı ve eğilme ile basınç dayanımları belirlendi.

Çalışma sonucunda riyolit mineralinin puzolanik özellik ve basınç dayanımı açısından uçucu küle benzediği ve bu itibarla beton üretiminde çimento ile ikame edilerek kullanılabileceği kanaatine varıldı.

Anahtar kelimeler: Riyolit, Uçucu kül, Doğal puzolan, Puzolanik özellik

COMPARISON OF POZZOLANIC PROPERTIES AND COMPRESSIVE STRENGTH OF RHYOLITE MINERAL WITH FLY ASH

ABSTRACT

Pozzolans are commonly used materials for applications where low hydration heat is required. Pozzolans are also materials that require careful attention to their use in order to influence the mechanical, physical and chemical properties of concrete. In addition, their daily use in the construction industry has increased considerably due to the economic contribution, and the role which they play in reducing the amount of CO₂ released during the production of as they are substitutes for cement.

There are various materials on earth which are used in the construction sector as mineral additives. Rhyolite is only one of these minerals. Rhyolite is a volcanic rock and its pozzolanic character is not known exactly whether it is possible to use it in cement production. In this study, pozzolanic properties of rhyolite were investigated comparatively with fly ash. For this purpose, the pozzolanic activity of rhyolitic mineral was determined in accordance with the criteria prescribed in TS 25 and compared with fly ash. The pozzolanic character of the Rhyolite mineral was also determined chemically according to TS EN 169-5 and compared with fly ash as well. In the study, rhyolite and fly ash were separately and equally replaced with CEM I 42.5 R type cement and mortar specimens were prepared according to TS EN 196-1 standard. The compressive strengths and bending strength were measured.

Based on the results obtained, it was concluded that the rhyolite mineral is like fly ash in terms of pozzolanic properties and compressive strength and thus can be used as a substitute material in place of cement in concrete production.

Keywords: Rhyolite; Fly ash; Natural pozzolan; Pozzolanic properties

GİRİŞ

Son yıllarda enerji gereksinimi araştırmacıları kalkınmada sürdürülebilir çözümler üretmeye yöneltmiştir. Günümüzde çevreyi en fazla kirleten endüstrilerden biri çimento üretimidir [1,2]. Bir ton çimento üretimi sırasında yaklaşık bir ton CO₂ atmosfere emisyonu söz konusudur. Beton üretiminde çimento ile ikameleri halinde ikame oranında çimento miktarı azalacağı için atmosfere yayılan CO₂ miktarında önemli miktarda azalmanın olacağı açıktır. Bu nedenle inşaat sektöründe katkılı çimento üretimi ve kullanılması artan hızda yaygınlaşmaktadır [3,4].

Doğal puzolanlar, bolluklarına ve nispeten düşük maliyetlerine bağlı olarak çimento ve beton endüstrisinde hatırı sayılır oranlarda kullanılmaktadırlar [5]. Doğal puzolanların kullanımı genel olarak çevre kirliliğinin azalmasına, daha az enerji tüketilmesine ve beton özelliklerinin iyileşmesine sağladıkları katkı bakımından önemlidir [6-11].

Doğal puzolanların çimentoda kullanılabilirliği puzolanik aktivite özelliklerine bağlıdır. Bu özellikler kimyasal veya mekanik yolla tayin edilebilir. Çimentoda kullanılacak puzolanın kimyasal bileşim itibarıyla içerdiği SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 miktarlarının toplamının %70'den ve reaktif silis içeriğinin %25'ten fazla olması istenir [12]. İlgili standartlar doğal puzolanların inceliklerinin ve harç numuneler üzerinde belirlenen basınç dayanımlarının yalnızca Portland çimentosuyla üretilen harç dayanımlarına oranla belli değerleri sağlaması gerekir.

AMAÇ

Çalışmanın amacı, Rize ilinde mevcut bir kayaç ocağından temin edilen ve riylit olarak bilinen mineralin puzolan olarak çimentoda kullanılabilirliğini araştırmaktır. Bu amaçla öncelikle riylit mineralinin kimyasal bileşimi belirlendi. Riylit mineralinin puzolanik özelliği hem kimyasal yolla hem mekanik olarak değerlendirildi. Elde edilen değerler uçucu kül ile karşılaştırıldı.

YAPILAN ÇALIŞMA

Riylit magmanın yer yüzüne çıkışı sırasında hızlı soğuyarak amorf yapıda oluşan doğal bir kayadır. Bu özelliği riylit mineralinin çimentoda doğal puzolan olarak kullanılması açısından önemli bir göstergedir.

Çalışma kapsamında doğadan temin edilen riylit çeneli kırıcıda kırıldıktan sonra bilyeli öğütücüde 60 dakika öğütülüp toz haline getirildi. Toz haline getirilen riylit minerali TS 25 standardı uyarınca puzolanik aktivitesi belirlendi. Ayrıca TS EN 196-5 uyarınca kimyasal yolla puzolanik özelliği değerlendirildi. Portland çimentosuyla %25 ve %40 oranlarında riylit ikame edilerek üretilen harç numuneler üzerinde TS EN 196-1 uyarınca eğilme ve basınç dayanımı deneyi gerçekleştirildi. Elde edilen değerler uçucu kütle elde edilen değerlerle karşılaştırıldı.

Riyolit, uçucu kül ve CEM I 42,5 R çimentosuna ilişkin kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Riyolit, uçucu kül ve CEM I 42,5R çimentosuna ait özellikler

	Riyolit	Uçucu Kül	CEM I 42,5R
SiO ₂	70, 76	52,70	19,30
Al ₂ O ₃	14, 52	18,00	5,17
Fe ₂ O ₃	2, 40	12,60	3,55
CaO	3, 98	4,5	64,60
MgO	2, 18	4,79	1,05
Na ₂ O	4, 10	0,74	0,46
K ₂ O	3, 64	1,87	1,16
TiO ₂	3, 52	0,76	-
P ₂ O ₅	0, 08	0,126	-
MnO	0, 04	0,15	-
LOI	1, 50	1,47	2,81
Blaine inceliği (cm ² /g)	4303	3666	3460
Yoğunluk (g/cm ³)	2,18	2,24	3

TS 25’e göre Pozolanik Aktivitenin Belirlenmesi

TS 25’e göre pozolanik aktivitenin tayininde standardın belirttiği miktarda sönmüş kireç, pozolan, standart kum ve su, TS EN 196-1’e göre karıştırılarak prizmatik harç numune kabına yerleştirilir. Harç numuneler 24 saat 20±2°C’de oda sıcaklığında bekletilir. 24 saat sonunda numuneler kalıplar sökülmeden 55±2 °C’de etüv içinde 6 gün tutulur. Numuneler etüvden çıkarıldıktan sonra en az 4 saat oda sıcaklığında soğutulduktan sonra TS EN 196-1’e göre basınç dayanım testine tabi tutulur. Bulunan

değer puzolanın puzolanik aktivitesidir ve çimentoda puzolanın kullanılabilmesi için puzolanik aktivitesinin 4 MPa'nın üstünde olması istenir.

Tablo 2'de TS 25'e göre harç numuneler üretilirken karışıma katılan madde miktarları görülmektedir.

Tablo 2. TS 25'e göre hazırlanan harçlar için kullanılan malzeme miktarları

Malzeme	Kullanılan Miktar (gram)	
	Riyolit	Uçucu Kül
Sönmüş Kireç, Ca(OH)_2	150	150
Doğal Puzolan	297	324
Standart Kum	1350	1350
Su	223	237

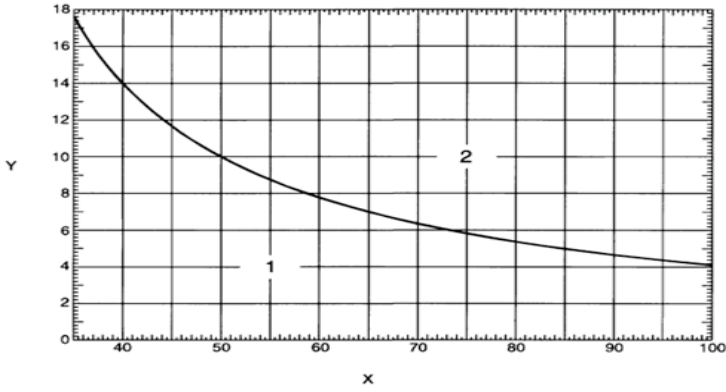
TS 25'e Göre Puzolan İnceliği ve Kimyasal özelliği

Puzolanların çimentoda kullanılabilmesi için standartlarda puzolanın inceliği için sınır değer vardır. TS 25'e göre puzolanın çimentoda kullanılabilmesi için 200 µm ve 90 µm elekler üzerinde kalan miktarlar kütlece sırasıyla en fazla %0,6 ve %8 olmalıdır. Puzolanın Blaine inceliği de en az 4000 cm^2/g 'dir [12].

TS EN 197-1 ve TS 25'te puzolanın kimyasal bileşiminde SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 miktarının %70 üstünde olması istenmektedir [5,7]. Puzolandaki reaktif silis miktarının da %25'in üstünde olması istenir.

TS EN 196-5 Kimyasal Yöntem İle Puzolanik Özelliğin Belirlenmesi

TS EN 196-5 kimyasal yöntemle CEM IV sınıfı puzolanik çimentoların puzolanik özelliklerinin tayini için kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde hidroksil iyonu derişimi ile kalsiyum oksit derişimi tayin edilir ve Şekil 1’de görülen koordinat sisteminde kesiştirilen bu iki değerin 1 nolu bölgede kalması puzolanın puzolanik özellik gösterdiği anlamına gelir [13].



Şekil 1. Puzolanik özelliğin grafiksel olarak tayini

1: Yeterli

2: Yetersiz

X: Hidroksil iyon derişimi, mmol/ L

Y: Kalsiyum iyonu derişimi (kalsiyum oksit olarak ifade edilen), mmol/ L

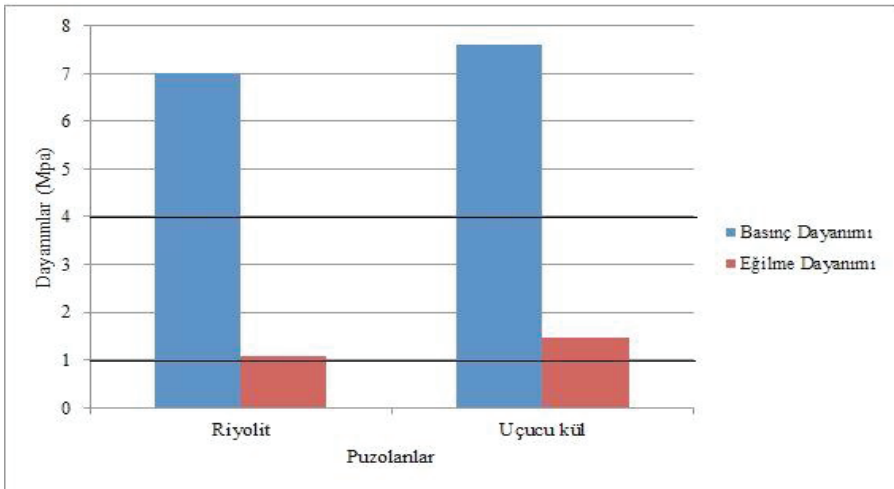
BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Tablo 3'te TS 25'e göre hazırlanan harçlardan elde edilen eğilme ve basınç dayanımları görülmektedir. Eğilme dayanımları üç adet harç numunesi, basınç dayanımları ise 6 adet yarım harç numunesi üzerinde elde edilen basınç dayanımı değerlerinin ortalaması alınarak belirlendi.

Tablo 3. Riyolit ve uçucu kül ikameli harçlara ait eğilme ve basınç dayanımları

Numune Adı	Eğilme Dayanımı	Basınç Dayanımı
Riyolit	1, 096	7,013
Uçucu kül	1,46	7,61

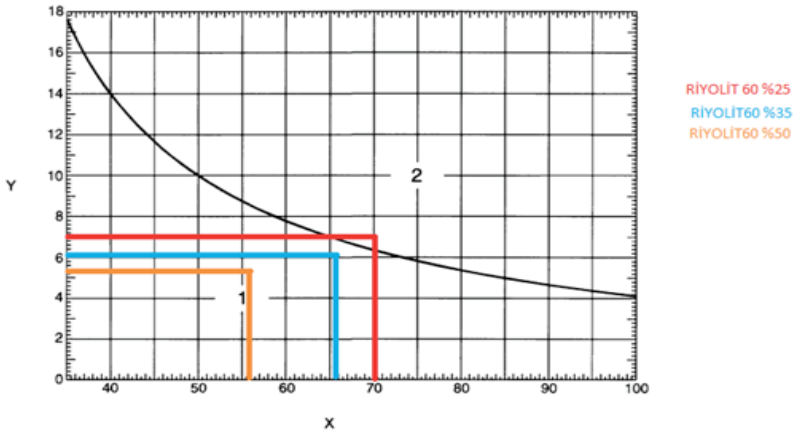
Şekil 2'de riyolit ve uçucu külün puzolanik aktivite değerleri görülmektedir. Riyolit'in puzolanik aktivite değerlerinin 4 MPa'dan büyüktür. Riyolit, TS 25'teki puzolanik aktivite şartı sağlamaktadır. Riyolit, bu çalışmada kullanılan uçucu küle yakın puzolanik aktivite değerine sahiptir.



Şekil 2. Riyolit ve uçucu kül için ölçülen puzolanik aktivite değerleri

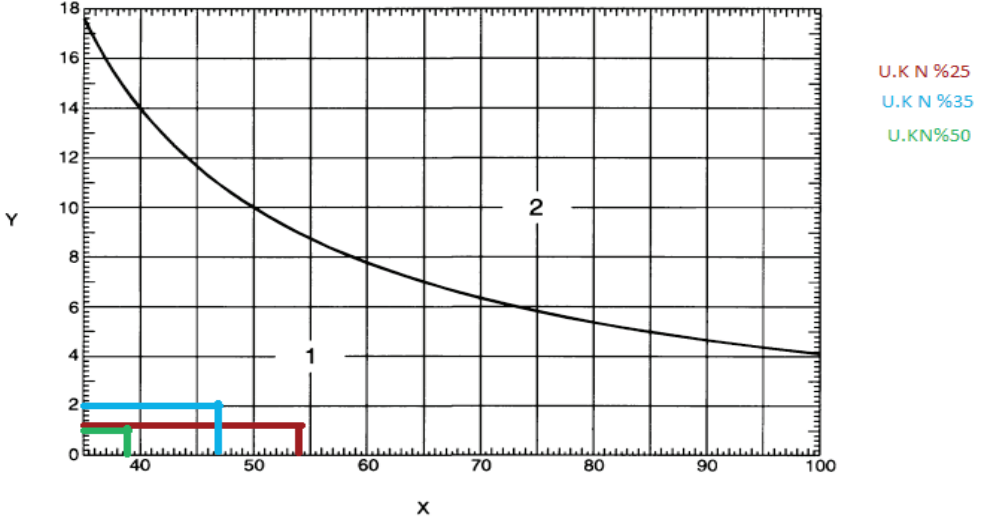
Şekil 3'te 60 dakika öğütülmüş ve % 25, % 35, % 50 oranlarında çimento ile ikame edilmiş çimentolar üzerinde TS EN 196-5 uyarınca belirlenen puzolanik özellik değerleri görülmektedir. Şekilde Riyolit60, 60 dakika öğütülmüş riyolit mineralini göstermektedir. Grafikte gösterimler sırasıyla %25, %35 ve %50 oranlarında yapılan riyolit ikamesini ifade etmektedir.

Burada %25 riyolit ikameli çimento TS EN 196-5 uyarınca puzolanik özellik şartını sağlamazken %35 ve %50 riyolit ikameliler puzolanik özellik şartını sağladıkları görülmektedir.



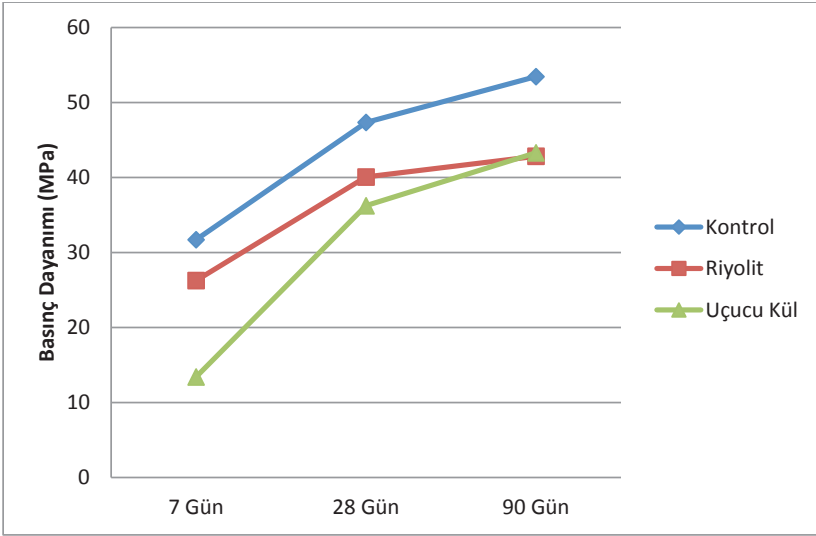
Şekil 3. Riyolit ikameli çimento için puzolanik özelliğin belirlenmesi

Şekil 4'te % 25, % 35 ve % 50 uçucu kül ikameli çimentolarda TS EN 196-5 uyarınca belirlenen puzolanik özellik değerlerini vermektedir. Uçucu kül ikameli çimentoların tümünün TS EN 196-5'e göre puzolanik özellik şartını sağlamaktadır. Şekil 3'te görüldüğü üzere riyolit ikameli çimentoların puzolanik özellik itibarıyla grafikteki puzolanik sınır eğrisine oldukça yakın düşerken uçucu kül ikameli çimentolar puzolanik özellik sınır eğrisinin oldukça altında kaldıkları görülmektedir.



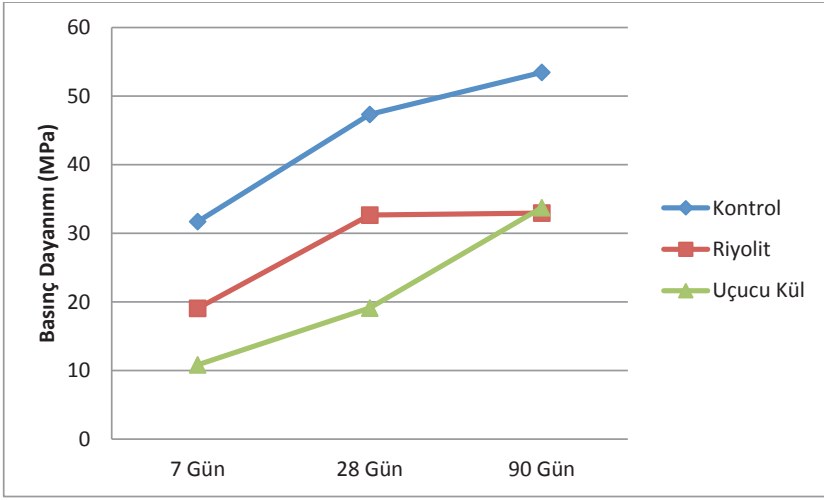
Şekil 4. Uçucu kül için puzolanik özelliğin belirlenmesi

Şekil 5'te CEM I 42,5 R çimentosu ile %25 riyolit ve uçucu kül ilaveli çimentolarla üretilen harç numuneler üzerinde 7, 28 ve 90 gün sonunda elde edilen basınç dayanımı değerleri görülmektedir. Kontrol numunesi olarak gösterilen katkısız çimentolu harçların basınç dayanımı değerleri zamandan bağımsız olarak %25 riyolit ve uçucu kül ikameli çimentolardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Riyolit ilaveli çimentolara ait 7 ve 28 günlük dayanımlar uçucu kül ikameli harçlarınkinden daha yüksek iken 90 günlük dayanımlar birbirine oldukça yakındır.



Şekil 5. Kontrol numuneleri ve %25 riyolit ve uçucu kül ikameli harç numunelere ait basınç dayanımları

Şekil 6, kontrol numuneleri ile %35 oranında riyolit ve uçucu kül ikameli harç numunelere ilişkin 7, 28 ve 90 gün sonunda elde edilen basınç dayanımlarını vermektedir. %35 oranında riyolit ve uçucu kül ikameli çimentolarla üretilen harçların basınç dayanımları %25 oranında riyolit ve uçucu kül ilaveli çimentolara benzer davranış göstermektedir.



Şekil 6. Kontrol numuneler ile %35 riyolit ve uçucu kül ikameli harç numunelerine ait basınç dayanımları

SONUÇ

Gerçekleştirilen çalışmadan çıkarılabilecek bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Riyolit TS EN 196-5'e göre puzolanik özellik gösteren yapıda bir mineraldir.
2. Riyolit minerali aynı zamanda TS 25'e göre belirlenen puzolanik aktivite değeri itibarıyla çimento üretiminde puzolan olarak kullanılabilir.
3. Benzer şekilde riyolit TS EN 196-1'e göre uçucu kül ikameli çimentolarla aynı mertebede mekanik özellikler göstermiştir.
4. Uçucu küle kıyasla erken dayanımda sağlanan artış itibarıyla riyolit mineralinin ikame oranından bağımsız olarak daha reaktif olduğunu söylemek mümkündür.

KAYNAKLAR

1. Mehta P.K, 'Concrete Teknology For Sustainable Development. Conce Int ; 21(11): 1999, 47-52.
2. Uzal B, Turanlı L, Mehta P.K, High volüme natural puzolan concrete for structural applications ACI Meter J.,Vol.104 ST5, 2007, 535-8
3. Meyer C, The greening of the concrete industry. Cem Concr Compos 2009; 31(8): 601-5.
4. The European Association (CEMBUREU) annual report,2001.
5. EN 197-1 Cement; part1 : Composition, Specification And Conformity Criteria For Common Cement European Committee For Standardization: 2000, 27 sayfa.
6. Ezziene K, Bougara A, Kadri A, Khelafi H, Kadri E. Compressive Strength Of Mortar Containing Natural Pozzolan Under Various Curing Temperature. Cem Concr Compos; Volume 29, ST8, 2007, 587–93.
7. Colak A. The long-term durability performance of gypsum–Portland-cement natural pozzolan blends. Cem Concr Res; Vol32, ST1, 2002, 109–15.
8. Colak A. Characteristics Of Pastes From A Portland Cement Containing Different Amounts Of Natural Pozzolan. Cem Concr Res;Vol.33 ST4, 2003, 585–93.
9. Shannag MJ, Yeginobali A. Properties Of Pastes, Mortars And Concretes Containing Natural Pozzolan. Cem Concr Res;Vol 25 ST3, 1995, 647–57.
10. Najimi M, Jamshidi M, Pourkhorshidi AR. Durability Of Concretes Containing Natural Pozzolan. Proc Inst Civ Eng Construct Mater; Vol.161 ST3, 2008, 113–8.
11. Targan S, Olgun A, Erdogan Y, Sevinç V. Influence Of Natural Pozzolan, Colemanite Ore Waste, Bottom Ash, And Fly Ash On The Properties Of Portland Cement. Cem Concr Res;Vol.33, ST8, 2003, 1175–82.
12. TS 25 Dogal Puzolan(Tras) – Çimento Ve Betonda Kullanılan- Tarifler, Gereklere ve Uygunluk Kriterleri, 2008, 14.
13. TS EN 196-5 Puzolanik Çimentolarda Puzolanik Özellik Deneyi, 2010, 10.

İNCE ÖĞÜTÜLMÜŞ POMZANIN HAVA SÜRÜKLENMİŞ TAZE BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Fatih,ÖZCAN

Doç.Dr. İnş. Müh.
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Niğde, Türkiye

Mehmet Emin, KOÇ

RMA Müşavirlik Mühendislik
Konya, Türkiye

ÖZET

Betonun donma-çözülme hasarı gibi fiziksel etkilere karşı dayanıklılığını artırma yöntemleri arasında değişik mineral katkıları ile hava sürükleyici katkıların birlikte kullanıldığı bir çok çalışma yapılmış olmasına rağmen özellikle mineral katkı malzemesi olarak öğütülmüş pomzanın kullanıldığı çalışma sayısı yeterli düzeyde değildir. Bu amaç doğrultusunda hazırlanan karışımlarda bağlayıcı miktarı 400 kg/m³, su/bağlayıcı oranı ise 0,45 olarak belirlenmiştir. CEM I 42,5R çimentosu ile üretilen kontrol betonuna çimento yerine ağırlıkça %10, 15, 20 ve 25 oranlarında öğütülmüş pomza ve çimento ağırlığının %0.025, 0.050 ve % 0.075 oranlarında hava sürükleyici katkı ikame edilerek karışımlar hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında üretilen 20 farklı karışımın tamamında yayılma tablası ile taze betonda hava içeriği tayini deneyi yapılmış ve öğütülmüş pomza ikamesinin artmasıyla yayılma değeri ve sürüklenmiş hava miktarının azaldığı görülmüştür. Hava sürükleyici katkı kullanılmayan betonlarda, maksimum miktarda kullanılan öğütülmüş pomza en düşük yayılma çapını vermiştir. Hava sürükleyici katkı oranının artırılması ile yayılma değeri ve sürüklenmiş hava miktarlarındaki artış çok net tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler:İnce öğütülmüş pomza, hava sürükleyici katkı, taze beton.

THE EFFECT OF FINE-GROUND PUMICE ON AIR-ENTRAINED FRESH CONCRETE PROPERTIES

ABSTRACT

Although there are many studies on concrete mixtures in which different mineral additives and air entraining additives are used together, the studies on the properties of air entrained fresh concrete in which grained pumice is used especially as a mineral additive are not at the sufficient level. For this purpose, the amount of the binder in the mixtures was determined as 400 kg/m^3 and the water/binder ratio as 0,45. The mixtures were designed by substituting grained pumice at the rates of 10, 15, 20 and 25% in the place of cement in the control concrete produced with CEM I 42,5 R cement and air entraining additive at the rates of 0.025, 0.050 and 0.075 %. The air content determination test was performed in fresh concrete with the flow-table test among fresh concrete tests designed within the scope of the study and in all 20 different mixtures produced, and according to the results obtained, it was observed that the flow value and the amount of entrained air decreased with the increase in grained pumice substitution. The increase in the flow value and entrained air amount was determined quite clearly with the increase in the rate of air entrained additive.

Keywords: Fine ground pumice, air entraining additive, fresh concrete.

GİRİŞ

Doğal ve yapay olmak üzere iki farklı tipte bulunan puzolanik özelliklere sahip birçok malzeme, betonun çeşitli özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Puzolanik malzemelerin, mukavemet, korozyona karşı dayanıklılık, durabilite (kalıcılık), geçirgenlik ve işlenebilirlik gibi betonun birçok karakteristik özelliğini geliştirdiği yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir (1).

Pomza boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar sonucunda oluşmuş, çeşitli büyüklüklerde sayısız gözenek içeren (boşluk miktarı yaklaşık %75) camsı volkanik bir kayadır. Ülkemizde pomza rezervleri İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesinde oldukça yoğunlaşmıştır. Ülkemizde üretilen pomzanın %80' i iç piyasada inşaat endüstrisinde hafif beton agregası olarak kullanılmaktadır (2,3). Pomza her geçen gün yeni bir kullanım alanı bulunan ve günümüzde çimento katkı malzemesi olarak da kullanılmaya başlanan bir hammaddedir. Isı iletkenliğinin düşük olması nedeniyle pomza katkılı betonlar ve yapı elemanları donma-çözülme olayından daha az etkilenmektedir (4,5). Çok soğuk hava koşullarına maruz kalacak betonların donma-çözülme olaylarına yeterli dayanıklılığı gösterebilmeleri için, hava sürüklenmiş beton olarak üretilmiş olmaları gerekmektedir. Çimento hamurunda oluşturulan hava kabarcıkları sürtünmeyi azaltan bir işlev göstererek taze beton karışımının işlenebilirliğini büyük ölçüde artırır. Bu özellikten yararlanılarak aynı işlenebilirliği sağlamak üzere karışım suyu azaltılabilir. Böylece daha yüksek dayanım ve dayanıklılık elde edilmiş olur. Günümüz beton teknolojisi, henüz orta ve şiddetli donma-çözülme etkilerine dayanıklı beton üretebilmenin başka bir yöntemini geliştiremediği için, soğuk iklim bölgelerinde üretilen betonların hemen hepsinde hava sürükleyici katkı kullanılmaktadır. Donma-çözülme dayanıklılığı açısından en iyi sonuçlar yaklaşık % 4-6 oranlarında sürüklenmiş hava hacmiyle sağlanmaktadır (6). Kurt tarafından kendiliğinden yerleşen hafif betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması için yapılan çalışmada, segregasyon probleminin önüne geçmek için sürüklenmiş hava yüzdesinin oldukça önemli olduğu belirlenmiştir. Daha az miktarda hava sürüklenmesine rağmen segregasyon problemi meydana getirmeyecek karışımlar oluşturulması, sertleşmiş beton özellikleri daha yüksek betonların üretilmesine imkân vereceği tespit edilmiştir (7). Arıoğlu ve diğ. tarafından yapılan çalışmada, yüksek çimento dozajı seçilerek üretilen betonlarda hava sürükleyici katkı kullanılarak azaltılabilecek su miktarı mümkün

olduğu ölçüde arttırılarak hava kabarcıklarının varlığından kaynaklanacak basınç dayanımlarındaki beklenen azalmaların belirli ölçülerde dengelenebileceği tespit edilmiştir. Basınç dayanımının yüksek önem arz ettiği durumlarda ise kullanılacak su azaltıcı katkı ile birlikte istenilen dayanım düzeylerinin gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir (8).

Cüruf katkılı betonlarda sabit bir hava miktarı sağlamak için Portland çimentolarına göre daha fazla hava sürükleyici katkıya ihtiyaç duydukları tespit edilmiştir (9). Ayrıca hava sürükleyici katkının, kullanılan puzolanik malzemeye bağlı olmaksızın beton içerisindeki sürüklenmiş hava hacminde ve gözenek boyutunda artışa neden olduğu ifade edilmiştir (10).

Puzolanik katkı maddesi olarak kullanılan Elazığ yöresi pomzasının ilerleyen kür yaşlarında betonun basınç dayanımına etkisi üzerine yapılan çalışmada, betona çimento ile yer değiştirilerek belirli oranlarda, doğal puzolan özelliğine sahip öğütülmüş pomzanın ilave edilmesinin dayanımı düşürdüğü tespit edilmiştir. Kür yaşı arttıkça, pomzanın puzolanik aktivite göstermesi ile düşüşteki farkın büyük ölçüde kapandığı ifade edilmektedir (3). Çimentonun yerine öğütülmüş pomza kullanımı ve hafif beton agregası olarak pomzanın kullanılmasına yönelik deneylerde, çimento yerine %0 - 25 oranında öğütülmüş pomza ve %0 - 100 arasında değişen oranlarda hafif beton agregası olarak pomza kullanmıştır. Deneyler sonucunda %15 oranında çimento yerine öğütülmüş pomzanın ve %50 oranında hafif beton agregası olarak pomza kullanımının uygun olacağı ifade edilmiştir (11). John ve diğ. yaptıkları çalışmada, F sınıfı uçucu kül içeriğindeki yanmamış karbonun betonda kullanılan hava sürükleyici üzerinde etkili olduğunu ifade etmişlerdir (12).

Püskürtme betonun püskürtme öncesi ve sonrasındaki hava-boşluk yapısı, mukavemeti ve geçirgenliği üzerine silis dumanı ve hava sürükleyici katkının etkilerinin incelendiği çalışmada, püskürtme prosesinin hava içeriğini düşürdüğü, hava sürükleyici katkılı betonlara %4.5 oranında silis dumanı ilavesinin hem boşluk faktörünü hem de tutunma kabiliyetini arttırarak donma çözünme etkilerine karşı dayanımı arttırdığı, hava içeriğinin artması ve boşluk faktörünün azalmasıyla birlikte basınç ve eğilme dayanımlarının azaldığını ifade etmiştir (13).

Kostrzanowska ve Gołaszewski kendiliğinden yerleşen yüksek performanslı taze betonun hava içeriği ve reolojik özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında mineral katkı maddesi olarak silis dumanı kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmaların sonucunda hava içeriği ile taze betonun reolojik özellikleri arasında korelasyon olduğunu, silis dumanı hacminin azalması ve çimento pastasındaki agrega dolgu oranı ve su/bağlayıcı oranının artışıyla birlikte hava hacminin azaldığını vurgulamışlardır(14).

AMAÇ

Literatürde değişik mineral katkılar ile hava sürükleyici katkıların birlikte kullanıldığı beton karışımları üzerine yapılmış bir çok çalışma mevcut olmasına rağmen özellikle mineral katkı malzemesi olarak öğütülmüş pomzanın kullanıldığı hava sürüklenmiş taze beton özellikleri üzerine yapılmış çalışma yeterli düzeyde değildir.

Bu amaç doğrultusunda yapılan laboratuvar çalışmasında, değişik oranlardaki hava sürükleyici ve öğütülmüş pomzanın kullanıldığı taze betonların TS EN 12350-7' de belirtilen basınç ölçme metoduna göre hava içerikleri ve TS EN 12350-5 nolu standarda göre yayılma tablası değerleri tespit edilmiştir (15,16).

MATERYAL VE METOT

Çimento

Bu çalışmada kullanılan çimento, TS EN 197-1 ile uyumlu normal Portland çimentosu (CEM I 42,5) olup, Niğde Çimsa Çimento tarafından üretilmiştir. Kullanılan Portland çimentosuna ait kimyasal özellikler Çizelge 1'de verilmektedir (17). Çimentonun özgül ağırlığı 3.08, inceliği ise 3310 cm²/g'dır.

Çizelge 1. Kullanılan çimento ve öğütülmüş pomzanın kimyasal bileşimi (%)

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	K.K.
Çimento	21,2	5,9	2,1	62,1	2,3	3,4	0,8	0,4	1,8
Pomza	71.8	12,4	1,05	1,1	0,34	0,08	4,51	5,2	3,52

Pomza

Öğütölmüş pomza, Nevşehir Mikromin Maden San. ve Tic. A.Ş.'den sağlanmış olup, kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilmektedir. Pomzanın özgül ağırlığı $2,33 \text{ gr/cm}^3$ ve öğütölmüş pomzanın tamamı $45 \text{ }\mu\text{m}$ elekten geçerken, çimentonun tamamı $75 \text{ }\mu\text{m}'$ den geçmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan öğütölmüş pomzanınpuzolanik aktivitesi 7 günlük numunelerde %63 olurken, 28 günlük numunelerde %81 değerine ulaşmıştır.

Su,Akışkanlaştırıcı ve Hava Sürökleyici Katkı

Beton karışımlarında kullanılan karışım suyu, şehir şebekesinden alınan içme suyudur. Taze beton karışımlarında işlenebilirliği sağlamak amacıyla TS EN 934-2'ye uygun yüksek performanslı yeni nesil süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Kullanılan süperakışkanlaştırıcının tipi polikarboksilik eter esaslı sıvı olup yoğunluğu $1,142 \text{ kg/dm}^3$ tür (18, 19).Betonun içeresine kontrollü hava sürökleyerek, donma-çözölme çevrimlerine karşı dayanıklılığı arttıran, optimum aralıklı küçük hava kabarcıkları oluşturan hava sürökleyici katkı malzemesi kullanılmıştır. Üretici tarafından verilen bilgiler doğrultusunda kullanılan katkı malzemesi TS EN 934-2' ye uygun olup, yağ alkolü ve amonyum tuzu esaslı, yoğunluğu $0,98 - 1,02 \text{ kg/lt'}$ dir(19).

Agrega

Yapılan deneylerde kullanılan kırma taş Niğde Pınarbaşı bölgesinden, doğal ince dere agregası ise Nevşehir' den temin edilmiştir. Beton karışımlarında kullanılan agreganın maksimum dane büyüklüğü $16 \text{ mm}'$ dir. İri agrega olarak %50 oranında kırma taş, ince agrega olarak %50 doğal dere kumu kullanılmıştır. Agreganın su emme kapasitesi ve özgül ağırlığı TS EN 1097-6' ya göre tayin edilmiştir (20). Doğal ince agreganın doygun kuru yüzey özgül ağırlığı 2.48, iri agreganın ise 2.56 olarak tespit edilmiştir. Doğal ince dere agregasının su emme kapasitesi %4.1, kırma taşın su emme kapasitesi ise %1.7 olarak bulunmuştur. Agrega granölometrisinin TS 802' de verilen sınır değerler arasında kalmasına özen gösterilmiştir (21).

Beton Karışım Oranları

Yapılan çalışma kapsamında referans alınan bir metreküp beton içerisinde bulunan malzeme miktarları Çizelge 2’de verilmektedir. Karışım miktarlarının hesabı TS 802’ de verilen mutlak hacim metoduna göre yapılmıştır. Hesaplarda su/bağlayıcı oranı 0.45, bağlayıcı miktarı sabit 400 kg/m³ olarak seçilmiş ve hapsolmuş hava miktarı TS 802’ den alınarak gerekli agrega miktarının hacmi hesaplanmış, daha sonrada ağırlıkları tayin edilmiştir (21). Çalışma kapsamında 20 farklı karışım tasarlanarak CEM I 42,5 R çimentosu ile üretilen kontrol betonuna çimento yerine ağırlıkça %10, 15, 20 ve 25 oranlarında öğütülmüş pomza ikame edilmiş ve bağlayıcı malzeme ağırlığının %0.025, 0.050 ve % 0.075 oranlarındahava sürükleyici katkı maddesi kullanılarak beton üretimi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2. Bir metreküp beton karışımı için malzeme miktarları (kg/m³)

Hava SürükleyiciKatkı Oranı (HSK)	Karışım Kodu	İri Agrega (kg)	İnce Agrega (kg)	Çimento (kg)	Öğütülmüş Pomza (kg)	Su (lt)	S/Ç	Akışkanlaşt. (%0,5-g)	Hava Sürükleyici Katkı (HSK) (g)
%0 HSK	H 0-0	857.75	830.94	400	0	180	0.45	2000	0
	H 0-10	857.75	830.94	360	40	180	0.45	2000	0
	H 0-15	857.75	830.94	340	60	180	0.45	2000	0
	H 0-20	857.75	830.94	320	80	180	0.45	2000	0
	H 0-25	857.75	830.94	300	100	180	0.45	2000	0
%0.025 HSK	H 0.025-0	857.75	830.94	400	0	180	0.45	2000	100
	H 0.025-10	857.75	830.94	360	40	180	0.45	2000	100
	H 0.025-15	857.75	830.94	340	60	180	0.45	2000	100
	H 0.025-20	857.75	830.94	320	80	180	0.45	2000	100
	H 0.025-25	857.75	830.94	300	100	180	0.45	2000	100
%0.050 HSK	H 0.050-0	857.75	830.94	400	0	180	0.45	2000	200
	H 0.050-10	857.75	830.94	360	40	180	0.45	2000	200
	H 0.050-15	857.75	830.94	340	60	180	0.45	2000	200
	H 0.050-20	857.75	830.94	320	80	180	0.45	2000	200
	H 0.050-25	857.75	830.94	300	100	180	0.45	2000	200

%0.075 HSK	H 0.075-0	857.75	830.94	400	0	180	0.45	2000	300
	H 0.075-10	857.75	830.94	360	40	180	0.45	2000	300
	H 0.075-15	857.75	830.94	340	60	180	0.45	2000	300
	H 0.075-20	857.75	830.94	320	80	180	0.45	2000	300
	H 0.075-25	857.75	830.94	300	100	180	0.45	2000	300

S/Ç oranı düşük olduğundan, işlenebilirliği iyileştirmek amacıyla akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı miktarı, her karışım için deneme yapılarak optimum işlenebilirliği verecek şekilde ve akışkanlaştırıcının hava sürüklemesini her bir karışım da aynı oranda olmasını sağlamak adına bağlayıcı malzeme ağırlığının %0.5' i oranında sabit olarak seçilmiştir. Böylece karışımlarda ölçülen parametrelerin ilave edilen hava sürükleyici katkı miktarı ile değişiminin söz konusu olduğu varsayılmıştır.

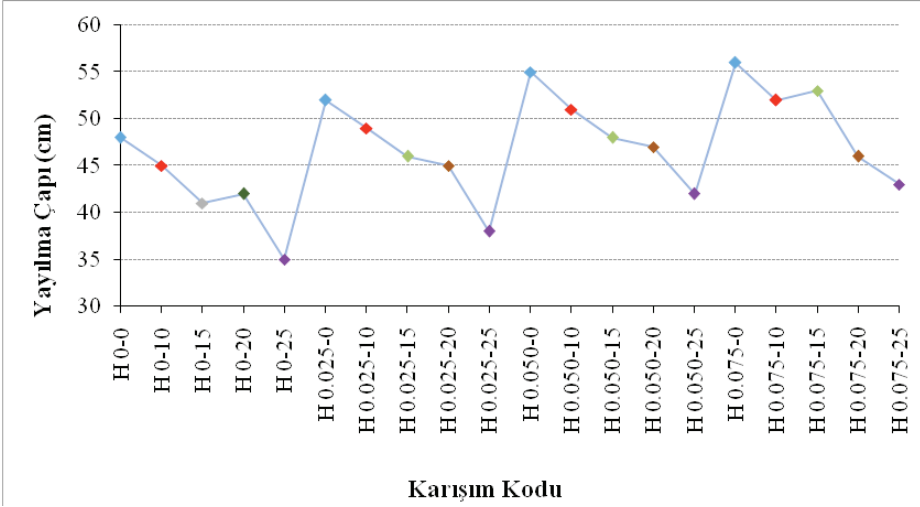
Taze Beton Üzerinde Yürütülen Deneysel Çalışmalar

Yayılma Tablası Deneyi ve Sonuçları

Üretilen numunelerin durabilite özelliklerini iyileştirmek için kullanılan hava sürükleyici katkının kıvam iyileştirici özelliği, yapılan çalışmada yayılma tablası deneyi ile belirlenmiştir. Sabit miktarda kullanılan akışkanlaştırıcının kıvam iyileştirici etkisi, öğütülmüş pomzanın ikame miktarının artmasıyla azalmaktadır. Bu nedenle farklı yüzdelerde kullanılan hava sürükleyici katkının kıvam etkisinin, öğütülmüş pomza ile değişimlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. H 0-25 ve H 0.075-0 karışımları için yayılma miktarı Fotoğraf 1'de gösterilmiştir.



Fotoğraf 1. H 0-25 ve H 0.075-0 karışımları için yayılma miktarı

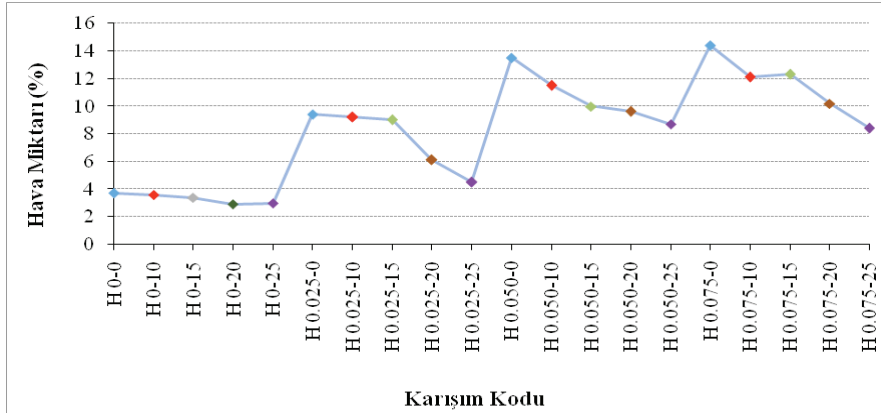


Şekil 1. Tüm karışımlar için yayılma deneyi sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen betonları tamamına ait yayılma çaplarının değişimi Şekil 1' de görülmektedir. Tüm karışımlar için hava sürükleyici katkı miktarının artması, yayılma miktarını arttırmıştır. Öğütülmüş pomza ikamesi ise işlenebilirliği azaltıcı yönde etki göstermiştir. Hava sürükleyici katkı kullanılmayan betonlarda, maksimum miktarda kullanılan öğütülmüş pomza, tüm karışımlar için en düşük yayılma çapı değerini vermiştir. En düşük yayılma çapı değeri H 0-25 karışımına, en yüksek yayılma çapı ise H 0.075-0 karışımına ait olup, Fotoğraf 1' de görülmektedir.

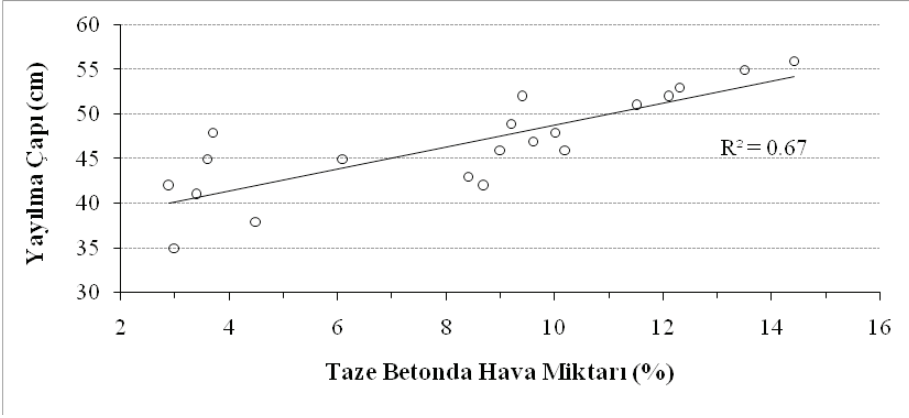
Hava Miktarlarının Belirlenmesi

Yapılan çalışmada hava sürükleyici katkı, akışkanlaştırıcı ve öğütülmüş pomza kullanılması durumunda kıvamdaki değişimlerin incelenmesi ile birlikte, taze haldeki betonda hava içeriği tayini deneyi de yapılmıştır. Öğütülen pomzanın, beton içerisine sürüklenen hava miktarı üzerindeki değişiminin görülmesi amaçlanmıştır.



Şekil 2. Tüm gruplar için hava miktarı yüzdeleri

Hava sürükleyici katkı miktarı arttıkça sürüklenmiş hava miktarı artmakta olup, yayılma deneyinde olduğu gibi karışıma giren öğütülmüş pomzanın yüzdesi arttıkça, hava miktarı da azalmaktadır. Şekil 2’ de görüleceği gibi en fazla hava içeriğine sahip olan karışım H 0.075-0 olup, en az hava miktarı H 0-20 olarak adlandırılan karışıma aittir. Hava sürükleyici oranın %0 olduğu grupta şahit betona %25 pomza ilavesi taze beton hava içeriğinde %19 azalmaya neden olurken, hava sürükleyicili gruplardaki şahit betonlara pomza ilavesi ile bu oranlar sırasıyla %52, 38, 40 olmuştur. Kısaca hava sürüklenmiş betonlarda şahit betona puzolan olarak öğütülmüş pomza ilavesi ile sürüklenmiş hava miktarındaki değişim oranı oldukça belirgin bir şekilde azalmaktadır.



Şekil 3.Taze betonda hava miktarı-yayılma arasındaki ilişki

Genel olarak karışımlarda betonun donma-çözülme dayanıklılığını iyileştirmek için kullanılan hava sürükleyici katkının, kıvam iyileştirici özelliğinin bulunması nedeniyle bir kıvam ifadesi olarak kullanılan yayılma değerini arttırıcı yönde etkide bulunduğu tespit edilmiştir. Şekil 3’de taze betondaki hava miktarı ile yayılma çapları arasındaki ilişkinin gösterildiği grafikten elde edilen korelasyon katsayısının 0.67 olması, kullanılan hava sürükleyici katkı ile yayılma çapları arasında doğrusal bir ilişkinin var olduğunu göstermiştir.

SONUÇ

Yapılan laboratuvar çalışması kapsamında değişik oranlardaki hava sürükleyici katkı ve öğütülmüş pomzanın kullanıldığı taze betonların hava içerikleri ve yayılma tablası değerlerine yönelik olarak aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

-Çalışma kapsamında tasarlanan ve üretilen 20 farklı karışımın tamamında taze beton deneylerinden olan yayılma tablası deneyi ile taze betonda hava içeriği tayini deneyi yapılmış ve elde edilen sonuçlara göre öğütülmüş pomza ikamesinin artmasıyla yayılma değeri ve sürüklenmiş hava miktarının azaldığı görülmüştür.

- Hava sürükleyici katkı oranının arttırılması ile yayılma değerinde ve sürüklenmiş hava miktarındaki artış çok net tespit edilmiştir.

- Hava sürükleyici oranın %0 olduğu grupta şahit betona %25 pomza ilavesi taze beton hava içeriğinde %19 azalmaya neden olurken, hava sürükleyicili gruplardaki şahit betonlara pomza ilavesi ile bu oranlar sırasıyla %52, 38, 40 olmuştur. Hava sürüklenmiş betonlarda şahit betona puzolan olarak pomza ilavesi ile sürüklenmiş hava miktarındaki değişim oranı oldukça belirgin bir şekilde azalmaktadır.

Teşekkür:Yazarlar bu çalışmaya FEB2011/26 numaralı proje ile finansal destek sağlayan Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine katkılarından dolayı teşekkür eder.

KAYNAKLAR

1. Bilim, C. ve Atış, C., "Yüksek fırın cürufu içeren harçların özellikleri", Uluslar arası Hazır Beton Kongresi Bildirileri, İstanbul, 2008, sayfa 564-571.
2. Koç, M.E., "Hava sürüklenmiş betonların donma-çözülme dayanımları ve görüntü işleme tekniği ile boşluk yapılarının belirlenmesi", Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012, 121 sayfa.
3. Yazıcıoğlu, S., Arıcı, E. ve Gönen, T., "Pomza taşının kullanım alanları ve ekonomiye etkisi", Fırat Üniversitesi DAUM Dergisi, 1, 2003, sayfa 118-123.
4. Öz, E., "Nevşehir dolaylarında yüzeylenen asidik pomzanın hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği", Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
5. Serin, G., "Pomzanın hafif beton blok duvar elemanı olarak kullanılmasının araştırılması", Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1999.
6. Güner, M.S. ve Süme, V., Yapı Malzemesi ve Beton, Aktif Yayınevi, 2001.
7. Kurt, M., "Kendiliğinden yerleşen hafif betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması", Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2009.
8. Arıoğlu, E., Arıoğlu, N. ve Girgin, C., "Hava Sürükleyici Katkılı Betonlarda Karışım Suyu-Basınç Dayanımı-Hava İçeriği İlişkileri", Beton Prefabrikasyon Dergisi, 56,, 2000,sayfa 5-14.
9. Coşkun, İ., "Uçucu kül ve volkanik cüruf katkı betonların bazı durabilite özelliklerinin incelenmesi", Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
10. Peng, G.F., Ma, Q., Hu, H.M., Gao, R., Yao, Q.F. and Liu, Y.F., "The effects of air entrainment and pozzolans on frost resistance of 50-60 MPa grade concrete," Construction and Building Materials, 2007, pp1034-1039.
11. Khandaker, M.A.H., "Properties of volcanic pumice based cement and light weight concrete," Cement and Concrete Research, 34, 2004, pp283-291.
12. John, P. B., and Robert, B. L., "Measurement of adsorption of air-entraining admixture on flyash in concrete," Cement and Concrete Research, 31, 2001, pp819-824.
13. Pangil, C., Jung, H. Y., Kyong, K. Y., "Air-void structure, strength, and permeability of wet-mix shotcrete before and after shotcreting operation: The influences of silica fume and air-entraining agent," Cement and Concrete Composites, 70, 2016, pp 69-77.

14. Kostrzanowska, A., and Gołaszewski, S.J., "Rheological properties and the air content in fresh concrete for self compacting high performance concrete," Construction and Building Materials, 94, 2015, pp 555–564.
15. Türk Standartları, Beton-Taze beton deneyleri-Bölüm 7: Hava içeriği tayini-Basınç metotları (TS EN 12350-7), Türk Standartları Enstitüsü, 2002, 19 sayfa.
16. Türk Standartları, Yayılma tablası deneyi (TS EN 12350-5), Türk Standartları Enstitüsü, 2001, 9 sayfa.
17. Türk Standartları, Genel çimentolar bileşim özellikleri ve uygunluk kriterleri (TS EN 197-1), Türk Standartları Enstitüsü, 2002, 27 sayfa.
18. Özdemir, A., "Filler içeriğinin portland çimentosu betonunun mekanik özelliklerine etkisi," Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
19. Türk Standartları, Kimyasal katkıları-Beton harç ve şerbet için-Bölüm 2: Beton katkıları-Tarifler ve özellikler uygunluk işaretleme ve etiketleme (TS EN 934-2), Türk Standartları Enstitüsü, 2002, 30 sayfa.
20. Türk Standartları, Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler (TS EN 1097-6), Türk Standartları Enstitüsü, 2002, 29 sayfa.
21. Türk Standartları, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları (TS 802), Türk Standartları Enstitüsü, 2009, 30 sayfa.

ALKALİ AKTİVE EDİLMİŞ YÜKSEK FIRIN CÜRUFU HARÇLARIN DAYANIM ÖZELLİKLERİ

Cengiz Duran ATİŞ

Prof.Dr.

Erciyes Üniversitesi Müh. Fk. İnşaat Müh. Böl.

Kayseri, Türkiye

cdatis@erciyes.edu.tr

Cahit BİLİM

Doç.Dr

Mersin Üniversitesi Müh. Fk. İnşaat Müh. Böl.

Mersin, Türkiye

cbilim@mersin.edu.tr

Şinasi BİNGÖL

Arş. Gör.

Gaziosmanpaşa Üniversitesi Müh. Ve Doğa
Bilimleri Fk. İnşaat Müh. Böl

Tokat, Türkiye

sinasi.bingol@gop.edu.tr

Okan KARAHAN

Doç.Dr

Erciyes Üniversitesi Müh. Fk. İnşaat Müh. Böl.

Kayseri, Türkiye

okarahan@erciyes.edu.tr

ÖZET

Günümüz yapı teknolojisinde, çimentosuz harç ve beton üretimine yönelik çalışmalar büyük önem kazanmıştır. Bu konuda birçok malzeme kullanılmakta ve olumlu sonuçlar alınmaktadır. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunu (ÖGYFC) alkali aktive ederek bağlayıcı olarak kullanmak da bu çalışmalardan biridir. ÖGYFC çelik üretiminden yan ürün olarak elde edilir, tek başına bağlayıcılığı çok azdır. Ancak, sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum silikat (Na_2SiO_3) gibi kimyasallarla bağlayıcılık özelliği kazanabilmektedir.

Bu çalışmada, ÖGYFC sodyum meta silikat ile alkali aktive edilmiş ve dayanım özellikleri araştırılmıştır. Farklı oranlarda sodyum meta silikat katılarak, farklı kür koşullarında ve sürelerinde eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca Portland çimentosuyla (PÇ) kontrol harçları üretilmiştir. ÖGYFC ve Portland çimentolu harçlar $4*4*16$ cm boyutlarında prizma kalıplarda üretilmiştir. Harç karışım oranı; su/bağlayıcı oranı 1:2, bağlayıcı/kum oranı 1:3, sodyum oranı ise bağlayıcı miktarının %1, %2, %3 ve %4'ü olacak şekilde belirlenmiştir. Portland çimentolu harçlar 7 ve 28 gün suda kür edilmiştir. ÖGYFC'lu harçlar ise hem suda hem de havada 7 ve 28 gün kür edilmiştir. Çalışma sonucunda ÖGYFC'lu harçlar için, % 4 sodyum oranında basınç dayanımının Portland çimentosuna yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu, Basınç Dayanımı

STRENGTH PROPERTIES OF ALKALINE ACTIVATED BLAST FURNACE SLAG MORTARS

ABSTRACT

In recent years, studies on cement-free mortar and concrete production gained great importance. In this regard, positive results are obtained by using many materials. The use of the ground granulated blast furnace slag (GGBFS) as a binder by alkaline activating is one of these works. GGBFS is obtained as a by-product of steel production and has very little binding on its own. However, it can gain binding property by addition of chemicals such as sodium hydroxide (NaOH) and sodium silicate (Na_2SiO_3).

In this study, the GGBFS was alkaline activated with sodium meta silicate and strength properties were investigated. Sodium meta silicate was added at different ratios and flexural and compressive strengths were determined under different curing conditions and durations. Control mortars were also produced with Portland cement. GGBFS and Portland cement mortars are produced in 4x4x16 cm prism molds. Mortar mixing ratio was determined such that; water/binder ratio is 1:2, the binder/sand ratio is 1:3, and the sodium ratio was 1%, 2%, 3% and 4% of the binder amount. Portland cement mortars were cured in water for 7 and 28 days. GGBFS mortars were cured in both water and air for 7 and 28 days. At the end of the study for GGBFS mortars, the compressive strength of 4% sodium has given better results than Portland cement.

Keywords: Ground Granulated Blast Furnace Slag, Compressive Strength

1. GİRİŞ

Beton, bileşenlerinin kolay temin edilebilmesi, üretim teknolojisinin ilerlemesi ve ekonomik olması nedeniyle dünyada yapı endüstrisinde en çok kullanılan yapı malzemelerindendir [1]. İnsanların sudan sonra en çok kullandığı ikinci madde betondur [2]. Bu nedenle Portland çimentosu dünya genelinde inşaat sektöründe en kapsamlı kullanılan malzeme konumuna gelmiştir [3].

Doğaya salınan karbondioksitin % 7'sinden fazlası çimento üretiminden kaynaklanmaktadır. Bir ton çimento üretimi için atmosfere yaklaşık bir ton karbondioksit salınmaktadır [4]. Ayrıca çimento üretiminde çok yüksek miktarlarda doğal kaynaklar kullanılmaktadır. Bu aşamada dünyadaki temel enerjinin % 2-3'ü harcanmaktadır [5].

Öte yandan sanayi atığı olan yüksek fırın cürufu (YFC) ve uçucu kül (UK) çevresel problem oluşturmaktadır. Bu malzemelerin katkılı çimento üretiminde ve puzolanik bir malzeme olarak kullanımı bilindiği halde, kullanım oranı % 20-30 civarındadır [6]. Ayrıca, bazı durumlarda Portland çimentosu kullanımı ekonomik değildir. Bu ekonomik ve çevresel faktörler, çimento dışı bir bağlayıcı madde üretimine yönelmeyi zorunlu kılmaktadır [7]. Yüksek Fırın Cürufu (YFC) ve Uçucu kül (UK) gibi endüstriyel atıkların alkalilerle aktivasyonu, Portland çimentosu kullanılmadan bir bağlayıcı üretimine yönelik çalışmalardan en yaygın olanlarındandır.

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu (ÖGYFC) demir cevherinin yüksek fırınlarda eritilmesi sırasında eriyik halde oluşan silikat ve kalsiyum alümina silikatlardan elde edilen bir yan üründür [8]. Eriyik haldeki yüksek fırın cürufu, su göletleri veya güçlü su jetleri yardımı ile aniden soğutulursa ince taneli camsı bir yapı oluşmaktadır [9]. Oluşan camsı yapılı granül malzeme, öğütülüp toz haline getirilirse, Portland çimentosu ile birlikte veya alkalilerle aktive edildiğinde bağlayıcı malzeme olarak kullanılabilir [10,11].

Bu amorf karakterli endüstriyel atık malzemeler bir aktivatör vasıtasıyla aktive edilerek bir bağlayıcıya dönüştürülmektedir. En çok kullanılan aktivatörler, sodyum veya potasyum hidroksit (NaOH, KOH) ile sodyum cam suyu ($n\text{SiO}_2\text{Na}_2\text{O}$) veya potasyum cam suyu ($n\text{SiO}_2\text{K}_2\text{O}$) karışımlarıdır. En uygun aktivatör, hidroksitler ve çözünebilen silika ile üretilmektedir [7, 12]. Alüminosilikat uçucu küllerin aktivatörlerle reaksiyonu sonucunda "geopolimer" adı verilen amorf yapıdaki inorganik

polimerler oluşmakta, yüksek fırın cürufunun reaksiyonu sonucunda çimento esaslı bağlayıcılardaki C-S-H jeline benzer hidrate kalsiyum silikat oluşmaktadır [7].

Geopolimerlerin oluşumu aşağıdaki gibidir;

(Si+Al içeren malzemeler) + (Alkaliler) = (Geopolimer ara bileşeni)

(Geopolimer ara bileşeni) + (Alkaliler) = (Geopolimer) [13]

Alkali aktivasyonu ile üretilen geopolimerler, enerji tasarrufu, kirli gazların düşük mertebelerde kalmasını (CO₂, SO₂, NO_x vb.) ve çevrenin daha az zarar (doğal kaynaklar yerine atıkların kullanılması) görmesini sağlamaktadır [7, 14]. Ayrıca, atık malzemelerin kullanılmasıyla depolama problemleri de azalmaktadır. Geopolimerlerle üretilen betonların, normal Portland çimentolu betonlarına göre erken ve daha yüksek dayanım [15, 16], daha düşük hidratasyon ısı [17], agresif kimyasallara [18, 19] ve donma-çözülme etkilerine [20] karşı daha iyi dayanıklılık, daha güçlü agrega-matris aderansı göstermektedir [7, 21].

Geopolimerizasyon, alüminosilikat malzemeler kullanılarak geopolimer veya inorganik polimer olarak adlandırılan kullanışlı malzemeler üretilen yenilikçi bir teknolojidir. Geopolimerizasyon heterojen bir kimyasal reaksiyondur. Bu reaksiyon katı alüminosilikat oksitler ve alkali metal silikat çözeltileri arasında yüksek alkali koşullarında ve orta ısılarda, Si-O-Al ve Si-O-Si bağlarını içeren amorf yarı-kristal polimerik yapıları oluşturmak için oluşur [22, 23]. Geopolimerizasyon mekanizması tam anlaşılamamış olmasına rağmen, dört paralel aşama içermektedir.

- 1) Güçlü alkali sıvı çözeltinin içinde katı alüminosilikat malzemelerin çözülmesi.
- 2) Sıvı faz içinde Si veya Si-Al oligomerlerin oluşumu.
- 3) Sıvı faz içinde inorganik polimerik bir malzeme oluşumu için oligomerik türler veya birimlerin çoklu yoğunlaşması.
- 4) En son geopolimerik yapıda çözünmemiş katı parçacıkların bağlanması.

Sodyum silikatın hidrolitik kararlılığı $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ molar oranına bağlıdır. Yüksek molar oran yüksek hidrolitik kararlılıktır. Molar oranı 4.4'ten büyük olan sodyum silikat jelleri pratik olarak suda çözünmez kabul edilir ve bu nedenle çok yüksek hidrolitik kararlılık gösterir. Yapılan deneyler jellerin hidrolitik kararlılığının alüminyum eklenerek güçlendirildiğini göstermektedir [23].

2. AMAÇ

Bu çalışmanın amacı, ÖGYFC'nu sodyum meta silikat ile alkali aktive ederek dayanım özelliklerini araştırmaktır. Bu amaçla, 4*4*16 cm boyutlarında harçlar üretilerek eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. ÖGYFC'lu harçlar için 4 farklı oranda sodyum meta silikat katılarak, 7 ve 28 gün havada ve suda (21 ± 1 ° C) kür edilmiştir [24]. Ayrıca Portland çimentosuyla kontrol harçları üretilmiştir. PÇ'lu harçlar 7 ve 28 gün suda (21 ± 1 ° C) kür edilmiştir [24].

2.1. Malzeme ve Yöntem

2.1.1. Malzeme

2.1.1.1. Çimento

Bu çalışmada kullanılan çimento, TS EN 197-1 (25) ile uyumlu normal Portland çimentosu (PÇ 42.5) olup, Tokat Adoçim Çimento Beton San. ve Tic. A.Ş tarafından üretilmiştir. Çimentonun taze olarak saklanması için kapalı kutularda muhafaza edilmiştir. Nem alarak hidrasyon yapması engellenmiştir. PÇ 42.5'a ait kimyasal özellikler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. CEM I 42.5 R çimentosunun kimyasal içeriği [25]

Oksit (%)	CEM I 42.5 R
SiO ₂	18.87
Al ₂ O ₃	5.62
Fe ₂ O ₃	2.54
CaO	62.78
MgO	2.63
SO ₃	2.82
Na ₂ O	0.4
K ₂ O	0.9

2.1.1.2. Yüksek Fırın cürufu

Bu çalışmada, İskenderun Demir ve Çelik Fabrikasının atığı olan ve OYAK Adana Çimento A.Ş tarafından öğütülerek kullanılan Yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufunun kimyasal içeriği Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Yüksek fırın cürufunun kimyasal içeriği

Kimyasal İçerik	Analiz sonucu (%)
SiO ₂	38.89
CaO	28.94
Al ₂ O ₃	13.48
MgO	5.53
SO ₃	1.51
Fe ₂ O ₃	1.36
MnO	1.16
K ₂ O	0.78
TiO ₂	0.53
BaO	0.45
P ₂ O ₅	0.41
Na ₂ O	0.36
SrO	0.10
Kızdırma Kaybı	6.50

2.1.1.3. Kum

Çalışmada Tokat bölgesinden elde edilen öğütülmüş dere kumu kullanılmıştır. Maksimum tane çapı yaklaşık 3 mm özgül ağırlığı 2.2 g/cm³ 'tür.

2.1.1.4. Su

Harç karışımları için kullanılan su TS EN 1008 (26)'e uygun olarak içilebilir temiz şebeke suyudur.

2.1.1.5. Sodyum Meta Silikat

Çalışmada Tekkim Kimya Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.'den temin edilen sodyum meta silikat kullanılmıştır. Kullanılan sodyum meta silikata ait özellikler Tablo 2.3'te verilmektedir.

Tablo 2.3. Sodyum Meta Silikatin kimyasal içeriği [27]

Parametreler	% Oranları
Safiyet	>=95.0
Na ₂ O	48-51
SiO ₂	44.4-47.4
Fe	<=0.1
Suda Çözünmeyen	<=0.5
pH	>12.0
Erime	1089 °C

2.1.2. Yöntem

Harç karışım oranları; su/bağlayıcı oranı 1:2, bağlayıcı/kum oranı 1:3, sodyum oranı ise bağlayıcı miktarının %1, %2, %3 ve %4'ü olacak şekilde belirlenmiştir. Bu oranlara göre YFC'lu ve PÇ'lu harçlar üretilerek 4*4*16 cm boyutlarındaki prizma kalıplara yerleştirilmiştir. 24 saat kür odasında kürünü tamamlayan numuneler kalıptan çıkarılarak kür havuzunda ve laboratuvar ortamında kür edilmeye bırakılmıştır. PÇ'lu harçlar 7 ve 28 gün kür havuzunda (21 ± 1 ° C), YFC'lu harçlar ise 7 ve 28 gün hem kür havuzunda (21 ± 1 ° C) hem de laboratuvar ortamında havada (21 ± 1 ° C) kür edilmiştir [24]. Kür sürelerinin sonunda eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Böylece YFC'lu harçlar ile PÇ'lu harçların dayanım yönünden mukayesesi yapılmıştır.

3. SONUÇ

PÇ'lu ve ÖGYFC'lu harçlara ait eğilme ve basınç dayanımı değerleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmektedir.

Tablo 3.1. PÇ'lu harçlar için eğilme ve basınç dayanımları

	PÇ 42.5	
	7. gün	28. gün
Eğilme Dayanımı	5.3	9.26
Basınç Dayanımı	34.60	54.78

Tablo 3.2. YFC'lu harçlar için eğilme ve basınç dayanımları

		% 1 Na oranı		% 2 Na oranı		% 3 Na oranı		% 4 Na oranı	
		7. gün	28. gün	7. gün	28. gün	7. gün	28. gün	7. gün	28. gün
Suda kür	Eğilme Dayanımı	1.06	1.17	2.76	2.83	4.63	6.9	5.24	7.43
	Basınç Dayanımı	5.41	5.78	14.58	16.45	25.5	39.74	31.27	45.1
Havada kür	Eğilme Dayanımı	1.51	0.97	2.85	2.9	5.28	5.93	6.4	7.16
	Basınç Dayanımı	6.28	6.44	15.6	17.74	22.97	28.09	30.78	37.02

PÇ'lu ve YFC'lu harçların eğilme ve basınç dayanımları incelendiğinde şu sonuçlar çıkarılmaktadır:

- Alkali aktive edilmiş harçlarda % 1 ve % 2 Na oranlarında eğilme ve basınç dayanımları düşük mertebelerde kalırken, % 3 ve % 4 Na oranlarında dayanım değerleri PÇ'na yakın değerler vermektedir.
- % 3 Na oranında 28 gün suda kür edilen numunelerde 40 MPa'a varan basınç dayanımları elde edilmiştir. Aynı oranda havada kür edildiğinde ise 28 MPa değerinde kalmıştır.
- % 4 Na oranında 7 gün suda ve havada kür edilen numunelerde 30 MPa civarında basınç dayanımı elde edilirken, 28 gün suda kür edilen numunelerde 45 MPa basınç dayanımı elde edilmektedir. Aynı oranda 28 gün havada kür edilen numunelerde ise 37 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir.

- PÇ 7 gün suda kür edildiğinde 34.60 MPa, 28 gün suda kür edildiğinde ise 54 MPa basınç dayanımı elde edilmektedir.
- % 3 ve % 4 Na oranlarında suda kür yapıldığında dayanım artışının daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu oranlarda, YFC'lu harçların alkali aktivasyonunda PÇ'na benzer şekilde suda kür edildiğinde dayanımının arttığını göstermektedir. Aynı durum % 1 ve % 2 Na oranlarında gözlenmemektedir. Bu oranlarda dayanımların da düşük düzeylerde kaldığı görülmektedir.
- Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, yüksek fırın cürufunun sodyum meta silikat ile alkali aktivasyonu neticesinde eğilme ve basınç dayanımları yönünden tatmin edici sonuçlar verdiğini göstermektedir. Özellikle % 4 Na oranında PÇ 42.5 ile yakın basınç dayanımları vermektedir. Bu durum çalışmanın ileri aşamaları için güven vermekte ve bu tür çalışmalara ilgiyi artırmaktadır.

Sonuç olarak kısıtlı kaynakların doğru kullanılması ve çevrenin korunması anlamında yüksek fırın cürufu vb. atık malzemelerin kullanılarak Portland çimentosuna alternatif yeni bağlayıcı malzemelerin kullanılması gerektiği düşünülmektedir. Bu yönde çalışmaların artırılması ekonomi ve ekoloji anlamında yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- 1.Meyer C., 'The greening of the concrete industry', Cement and Concrete Composites, 31 (8) : 601-605, 2009.
- 2.Mehta P. K. and Montero Paulo J.M., 'Concrete Microstructure Properties and Materials-Third Edition', : McGraw-Hill Companies, New York, 2006.
- 3.Criado M., Palomo A. ve Fernandes-Jimenez A., 'Alkali activation of fly ashes. Part 1: Effect of curing conditions on the carbonation of the reaction products', FUEL, 84 (2005): 2048-2054.
- 4.Sarker P. K., Haque R. ve Ramgolam K. V., 'Fracture behaviour of heat cured fly ash based geopolymer concrete', Materials and Design, 44: 580-586, 2013.
- 5.Juenger M.C.G. Winnefeld, F., Provis, J. L., Ideker, J. H., 'Advances in alternative cementitious binders', Cement and Concrete Research, 41 (12):1232-1243, 2011.
- 6.Puertas F., Martinez-Ramirez, S., 'Alkali-activated fly ash/slag cement Strength behaviour and hydration products', Cement and Concrete Research, 30. (10): 1625-1632, 2000.
7. Aydın, S., Alkalilerle Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürufu Bağlayıcı Lifli Kompozit Geliştirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 2010.
8. ACI 116R, Cement and Concrete Terminology.
- 9.Palomo A., Fuente J.I., 'Alkali-activated cementitious materials: alternative matrices for the immobilisation of hazardous wastes: Part 1. Stabilisation of boron'. Cement and Concrete Research, 33: 281- 288, 2003a.
- 10.Hwang C.L. ve Lin C.Y., 'Strength development of blended blast furnace slag cement mortars'. Proceedings of the 2nd International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Madrid, Spain, 2., American Concrete Institute, 1323-1340, Detroit, MI, USA 1986.
- 11.Balçıklı, M., 'Alkalilerle Aktive Edilmiş Çimentosuz Cürufu Betonların Mekanik Ve Geçirimsizlik Özellikleri Ve Üretim Optimizasyonu', İskenderun Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Hatay, 2016.
- 12.Pacheco-Torgal, F., Castro-Gomes, J., Jalali, S., "Alkali-Activated Binders: A review. Part 2. About Materials and Binders Manufacture", Construction and Building Materials, No. 22, 1315-1322, 2008.
- 13.Topçu, İ.B., Toprak, M.U., Alkalilerle Aktive Edilen Taban Küllü Hafif Harç Üretimi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt:XXII, Sayı:2, 2009.
- 14.Palomo, A., Grutzeck, M.W., Blanco, M.T., "Alkali-Activated Fly Ashes: A Cement for the Future", Cement and Concrete Composites, No. 29, 1323-1329, 1999.

15. Bakharev, T., Sanjayan, J.G., Cheng, Y.B., "Alkali Activation of Australian Slag Cements", Cement and Concrete Research, No. 29, 113-120, 1999.
16. Fernandez-Jimenez, A., Palomo, J.G., Puertas, F., "Alkali-Activated Slag Mortars-Mechanical Strength Behavior", Cement and Concrete Research, No. 29, 1313-1321, 1999.
17. Shi, C., Krivenko, P.V., Roy, D., Alkali-Activated Cements and Concretes, USA and Canada: Taylor and Francis, 2006.
18. Bakharev, T., Sanjayan, J. G., Cheng, Y. B., "Sulfate Attack on Alkali-Activated Slag Concrete", Cement and Concrete Research, No.32, 211-216, 2002.
19. Bakharev, T., Sanjayan, J. G., Cheng, Y. B., "Resistance of Alkali-Activated Slag Concrete to Acid Attack", Cement and Concrete Research, No. 33, 1607-1611, 2003.
20. Puertas, F., Amat, T., Fernandez-Jimenez, A., Vazquez, T., "Mechanical and Durable Behaviour of Alkaline Cement Mortars Reinforced with Polypropylene Fibres", Cement and Concrete Research, No. 33, pp. 2031-2036, 2003.
21. Shi, C., Xie, P., "Interface between Cement Paste and Quartz Sand in Alkali-Activated Slag Mortars", Cement and Concrete Research, No. 28, 887-896, 1998.
22. Davidovits, J., Geopolymer '99 2nd international conference, Saint-Quentin, France, pp 9-39, 1999.
23. Dimas, D., Giannopoulou, I., Panias, D., 'Polymerization in sodium silicate solutions: a fundamental process in geopolymerization technology', J Mater Sci., 44:3719-3730, 2009.
24. TS EN 196-1, Çimento Deney Metodları – Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 2012.
25. TS EN 197-1, Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 2012.
26. TS EN 1008, Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su da Dahil Olmak Üzere Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.
27. www.tekkim.com.tr, Ürün Kodu: TK.090109, Doküman No: 021215129001, 2016.

İKİ FARKLI DOĞAL ZEOLİTİN PORTLAND ÇİMENTOSU HİDRATASYON İSİSİNA ETKİLERİ

Yasemin AKGÜN

Yrd. Doç. Dr.

Ordu Üniversitesi

Ordu, Türkiye

Ömer Fatih YAZICIOĞLU

İnş. Müh.

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Samsun, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, puzolan özellikli iki farklı doğal zeolit olan klinoptilolit (K) ve analsim (A), çimento ile kısmi yer değiştirme malzemesi olarak kullanılmıştır. Öncelikle zeolitlerin puzolanik aktiviteleri TS 25'e göre belirlenmiştir. Ardından, hidratasyon hızı ve ısı ölçümleri için, portland çimentosu (G) ve zeolitler ile çimento karışımları hazırlanmıştır. Karışımlarda kullanılan zeolitlerin oranları, portland çimentosu ağırlığının %0, %10, %30 ve %50 si olarak seçilmiş ve çimento karışımları, G, A10, A30, A50, K10, K30 ve K50 etiket isimleri ile üretilmiştir. Çimentoların hidratasyon ısı ve hızı ölçümleri TSE CEN/TR 16632 standardına uygun olarak yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, katkı çimentoların hidratasyon ısıları portland çimentosuna göre, sırasıyla yaklaşık %6, %13, %30, %3, %6 ve %29 değerlerinde, hidratasyon hızları ise, %0, %24, %30, %0, %22 ve %40 değerlerinde azalmıştır. Klinoptilolit ve analsim için puzolanik aktivite deneylerinde kireç-zeolit karışım numunelerinin ortalama basınç dayanımı değerleri sırasıyla 9.02MPa ve 6.30MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar ile; klinoptilolit ve analsim kullanılarak üretilen harç ve betonların mühendislik özelliklerinin puzolanik aktiviteleri sayesinde olumlu yönde etkilenebileceği sonucuna varılmıştır. Hidratasyon ısısına bağlı bazı durumlarda ise, doğal zeolit analsim' in çimento endüstrisinde yaygın olarak kullanılan klinoptilolit'e alternatif olabileceği ve aynı zamanda çimento üretimlerinde, daha az portland çimentosu kullanımı sayesinde, enerji tasarruflu, ekonomik ve çevre dostu çözümler elde edilebileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Zeolit, klinoptilolit, analsim, hidratasyon ısı, portland çimentosu

EFFECTS OF TWO DIFFERENT NATURAL ZEOLITES ON HEAT OF HYDRATION OF PORTLAND CEMENT

ABSTRACT

In this study, clinoptilolite (K) and analcime (A) which are natural zeolites was used as a partial replacement material by cement. Firstly, pozzolan activities of zeolites were determined according to TS 25. And then, cement mixtures were prepared by portland cement (G) and zeolites for the hydration rate and heat of hydration measurements. The ratios of zeolites used in the mixtures were 0, 10, 30 and 50% of the portland cement weight. The mixtures were produced with the labels G0, A10, A30, A50, K10, K30 and K50. The hydration rate and heat of hydration measurements of the blended cements produced by 7 series were made in accordance with TSE CEN / TR 16632 standard. According to test results, the heats of hydration of the blended cements with natural zeolite were lower than portland cement as %6, %13, %30, %3, %6 and %29 respectively. The hydration rates of the blended cements were lower than portland cement as 0%, 24%, 30%, 0%, 22% and 40%. In pozzolanic activity tests for clinoptilolite and analcime, the average compressive strength values for the lime-zeolite mixture samples were determined as 9.02MPa and 6.30MPa, respectively. These results led to the conclusion that the engineering properties of mortar and concrete to be produced by using clinoptilolite and analcime with high pozzolanic activity can be positively affected. In some cases depend on heat of hydration, analcime may be an alternative to clinoptilolite which is widely used in the cement industry. It is also thought that energy-saving, economical and environment-friendly solutions will be obtained due to using less portland cement in cement productions.

Keywords: Zeolite, clinoptilolite, analcime, heat of hydration, portland cement

GİRİŞ

Portland çimentosunun hidratasyonu ile açığa çıkan ısı ve bu olayın gerçekleşme hızı beton sıcaklığı ve priz sürelerinin değişimlerine neden olmaktadır. Bu değişimler, amaca uygun betonların performansa dayalı tasarımları sırasında önemlidir. Bu durum, bazen kütle betonlarında hidratasyon ısısı nedeniyle betonun sıcaklığının artmasına bağlı termik rötne ve sonrasındaki çatlak oluşumu gibi olumsuzluklar, bazen de betonun dayanım gelişimi ile ilgili sorunlar şeklindedir. Bu gibi durumların yönetiminde veya performans iyileştirmek amacıyla ağırlıkça belirli oranlarda çimentoyla ikame edilen puzolanik katkı malzemeleri kullanımı günümüzde gittikçe yaygınlaşmaktadır. Puzolanik katkılı harç ya da betonlarda, genellikle karışımdaki çimento miktarı azaltılmakta ve onun yerine ince taneli puzolanik malzeme kullanılmaktadır. Daha az miktarda portland çimentosu kullanılması, hidratasyon ısının daha az olmasına yol açmaktadır. Diğer taraftan daha az klinker içerikleri sayesinde ekonomik ve üretimlerin neden olduğu CO₂ emisyonlarının azalmasına bağlı olarak da çevreci çimentolar üretilebilmektedir.

Zeolit olarak adlandırılan puzolanik özellikli mineraller, harç ve beton üretimlerinde bu amaçlarla kullanılmaktadır. Zeolit grubunun en değerli birinci minerali klinoptilolit, ikinci değerli minerali ise analimsidir. Klinoptilolit dünyada en çok ve en yaygın olarak bulunan alkali ve toprak alkali katyonları içeren ve kimyasal formülü (Na₃K₃) (Al₆Si₃₀O₇₂) 24 H₂O olan silika bakımından zengin bir doğal zeolit mineral türüdür. Analsim ise, yapısında çok miktarda hidratlı sodyum aluminosilikat (Na(AlSi₂O₆).H₂O) bulunan feldispatoit mineralidir [1]. Vitrik proklastik yatakların alterasyonu ile oluşan doğal zeolitler, puzolanik malzemeler arasında uçucu kül ve fırın cüruflarına göre daha reaktif malzemelerdir [2,3]. Zeolitler, çimentonun hidratasyonu sırasında çimento benzeri hidratlı ürünlerin oluşumuna ve hidratasyon sürecinde oluşan Ca(OH)₂ tüketimine katkı sağlarlar [4,5].

AMAÇ

Literatürde doğal zeolitlerden biri olan klinoptilolit üzerine yapılan çok sayıda çalışma olmasına rağmen analsim minerali ile ilgili çalışma kısıtlı sayıdadır [6,7]. Bu tür doğal katkı maddelerinin optimum değerlerle kullanımlarını sağlamak bilimsel inceleme çıktıları ile mümkün olabilmektedir. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmada, doğal zeolitlerden olan klinoptilolit ve analsimin farklı yer değiştirme oranlarına (%0, %10, %30 ve %50) bağlı olarak portland çimentosuna ilavesi ile çimentonun hidratasyon ısı ve hızlarını hangi oranlarda ve ne yönde etkileyeceği hususu ele alınmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Materyal ve Yöntem

Deneyisel çalışmalarda kullanılan çimento, CEM I 42.5 R tipi TS EN 197-1'e [8] uygun olarak üretilen Portland çimentosu (G)' dur. Portland çimentosu ile yer değiştirmek üzere, Manisa/Gördes ve Ordu/Perşembe bölgesinden temin edilen sırasıyla klinoptilolit (K) ile analsim (A) türü doğal zeolitler kullanılmıştır. İki farklı doğal zeolit örneği bilyeli öğütücüde öğütülerek elde edilmiştir. İncelik parametresi olarak, ASTM C430 [9] standardı kapsamında 45-µm elekten geçen malzeme yüzdesi kullanılmıştır. Öğütülmüş doğal zeolitlerin özgül ağırlıkları ile Blaine incelikleri belirlendikten sonra, puzolanik aktivite değerleri, TS 25 [10] ve TS EN 196-1'e [11] göre basınç dayanımı tayini ile tespit edilmiştir. Doğal zeolitlere ait kimyasal kompozisyonun tespiti için X-Işınları Difraksiyon (XRD) Analizi gerçekleştirilmiştir. Doğal zeolitlerin SEM görüntüleri klinoptilolit için malzemenin temin edildiği Gördes Zeolit A.Ş' den elde edilmiş, analsim için ise MTA laboratuvarlarında tespit yaptırılmıştır.

Hidratasyon Isısı Tayini Yöntemi

Çimentoyu oluşturan ana bileşenlerin su ile birleşerek başlattıkları hidratasyon reaksiyonları ekzotermik, diğer bir deyişle dışarıya ısı çıkaran türdendir. Kimyasal reaksiyonlar devam ederken ısının açığa çıkması da devam eder. Ancak, hidratasyon olayı ilk saatlerde hızlı gerçekleşmekte, zaman ilerledikçe hızı yavaşlamaktadır. Çimentonun hidratasyon ısı, çimentonun belirli bir sıcaklık koşulunda hidratasyona başlayıp hidratasyon sonuna kadar açığa çıkardığı ısı miktarıdır [12].

Bu çalışmada, klinoptilolit ve analsim olarak anılan iki farklı doğal zeolit katkılı çimentolar, %0, %10, %30 ve %50 oranlarında, G, A10, A30, A50, K10, K30, K50 etiket isimleriyle toplam 7 seri olarak üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde hidratasyon ısı (mikrokalorimetre) ölçümleri, Ankara DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı Beton-Malzeme Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Belirlenen karışım oranlarında hazırlanan numuneler üzerinde hidratasyon ısı tayini deneyi TAM AIR İzotermal Kalorimetre Cihazı ile 20°C sabit sıcaklık ve 0.5 su/çimento oranında TSE CEN/TR 16632 [13] standardına uygun olarak yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Doğal Zeolitlerin Fiziksel, Kimyasal ve Puzolanik Aktivite Özellikleri

Portland çimentosunun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1’de, doğal zeolitlerin fiziksel, kimyasal ve puzolanik aktivite özellikleri Tablo 2’de verilmektedir. XRD kırınım desenleri ile SEM görüntüleri ise, Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4’ de verilmektedir.

Klinoptilolit numunesine ait X- Işınları Difraksiyon Analizi (XRD) ile belirlenen mineralojik bileşim sonucuna göre belirlenen mineral modal oranlarına göre, numune zeolit endüstriyel hammaddesi karakterindedir. Numunedeki klinoptilolit oranı % 80-85 oranındadır. Analsim numunesine ait kayaç, vitrik tüf niteliğinde olup cam kıymıkları ve kristal bileşenlerden oluşmaktadır. Cam kıymıkları yoğun

olarak altere olmuş zeolit ve klorite dönüşmüştür. Klinoptilolit ve analsim numuneleri, zeolit kullanım alanları için istenen ulusal ve uluslararası standartları karşılar niteliktedir.

TS 25'te puzolanların uygunluk kriterleri tanımlanırken, doğal puzolanın puzolanik aktivite deneyi yapıldığında, kireç-doğal puzolan karışımı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük ortalama basınç dayanımı göz önüne alınmıştır. Basınç dayanımı için en az 4 MPa sınır değeri verilmiştir. Klinoptilolit ve analsim için yapılan deneysel çalışmalarda, kireç-zeolit karışımı numune için basınç dayanımı değeri sırasıyla 9.02MPa ve 6.30MPa olarak tespit edilmiştir. Ayrıca yine TS 25'te $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ toplamının kütlece en az %70 olması gerektiği vurgulanmıştır. Bu toplamın değeri, klinoptilolit için %77.3, analsim için ise %73.16 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu değerler çalışmada kullanılan zeolitlerin puzolan olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Doğal Zeolitlerin Hidratasyon Isısı ve Hızları

Klinoptilolit ve analsim adı ile anılan doğal zeolitlerin çimento ile ağırlıkça farklı yer değiştirme oranlarıyla (%0, %10, %30 ve %50) hazırlanan numuneler üzerinde hidratasyon hızı ve ısı (mikrokaloremetre) ölçümlerinin yapıldığı deney sonuçları Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10' de verilmektedir.

Şekil 5, 6, 7, 8, 9 ve 10' a göre, A10 ve K10 katkılı çimentolarının hidratasyon hızları, Portland çimenrosuna (G) göre, önemli bir değişim göstermemiştir. Hidratasyon ısıları ise sırasıyla yaklaşık %6 ve %3 daha düşüktür. Analsim katkılı çimentoların (A10) hidratasyon ısı, klinoptilolit katkılı (K10) olanlara göre %3 daha düşüktür.

A30 ve K30 katkılı çimentolarının hidratasyon hızları, Portland çimenrosuna (G) göre, sırasıyla yaklaşık %24 ve %22 daha düşük çıkmıştır. A30 çimentosunun hidratasyon hızı K30'a göre yaklaşık %7 daha yüksek olarak belirlenmiştir. Hidratasyon ısıları ise sırasıyla yaklaşık %13 ve %6 daha düşüktür. Analsim katkılı çimentoların (A30) hidratasyon ısı, klinoptilolit katkılı (K30) olanlara göre %7 daha düşüktür.

A50 ve K50 katkılı çimentolarının hidratasyon hızları, Portland çimenrosuna (G) göre, sırasıyla yaklaşık %30 ve %40 daha düşük çıkmıştır. A50 çimentosunun hidratasyon hızı K50'e göre yaklaşık %16 daha

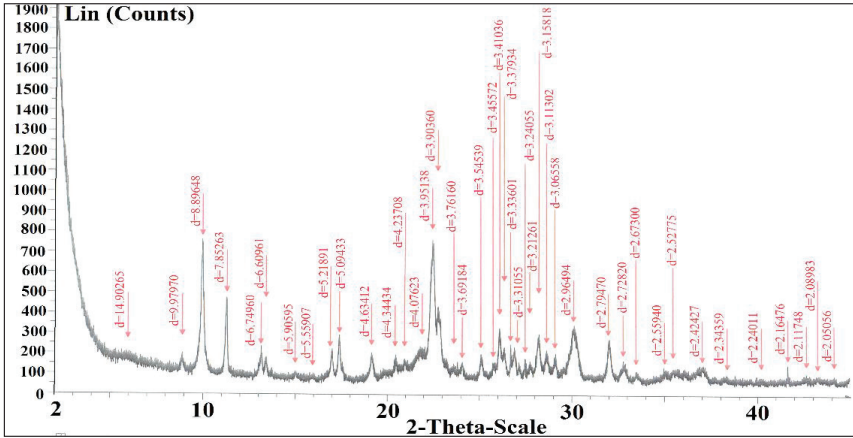
yüksek olarak belirlenmiştir. Hidratasyon ısıları ise sırasıyla yaklaşık %30 ve %29 daha düşüktür. Analsim katkılı çimentoların (A50) hidratasyon ısısı, klinoptilolit katkılı (K50) olanlara göre %1 daha düşüktür.

Tablo 1. Portland çimentosunun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

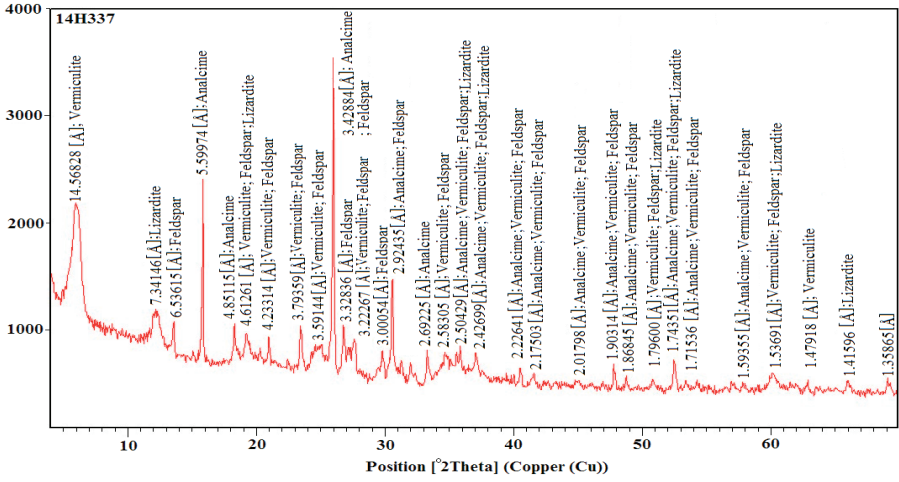
Kimyasal bileşenler	PÇ Ağırlıkça (%)	Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	
SiO ₂	19.53	Özgül ağırlık, (g/cm ³)	3.12
Al ₂ O ₃	5.33	Priz başlangıcı, dk.	176
Fe ₂ O ₃	3.56	Priz sonu, dk.	238
CaO	62.26	Hacim genleşmesi, mm	2.00
MgO	0.99	Blaine özgül yüzey (cm ² /g)	3210
SO ₃	3.02	2 gün. basınç dayanımı, MPa	32.3
Kızdırma kaybı	3.06	7 gün. basınç dayanımı, MPa	44.6
Toplam SiO ₂	20.22	28 gün. basınç dayanımı, MPa	53

Tablo 2. Doğal zeolitlerin fiziksel, kimyasal ve puzolanik aktivite özellikleri

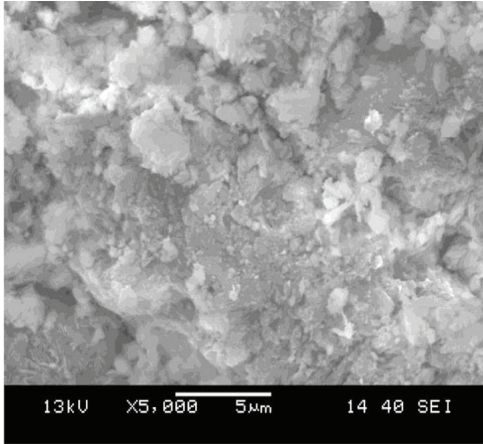
Kimyasal bileşenler	Klinoptilolit ağırlıkça (%)	Analimsim ağırlıkça (%)	Fiziksel Özellikleri		
SiO ₂	64.70	46.71	Klinoptilolit	Analimsim	
Al ₂ O ₃	11.21	17.24	Özgül ağırlık, (g/cm ³)	2.11	2.28
Fe ₂ O ₃	1.38	9.21	Blaine inceliği (cm ² /g)	4079	4780
CaO	2.08	3.03	Puzolanik Aktivite Değerleri		
MgO	0.79	5.29	TS 25 sınır değerleri	Klinoptilolit	Analimsim
Na ₂ O	0.38	4.84	Kireç-puzolan karışımı		
			7 gün. bas. day.>4MPa	9.02MPa	6.30MPa
K ₂ O	3.78	4.08	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃		
Kız. kaybı	11.80	7.00	toplamı ağırlıkça >70	%77.30	%73.16



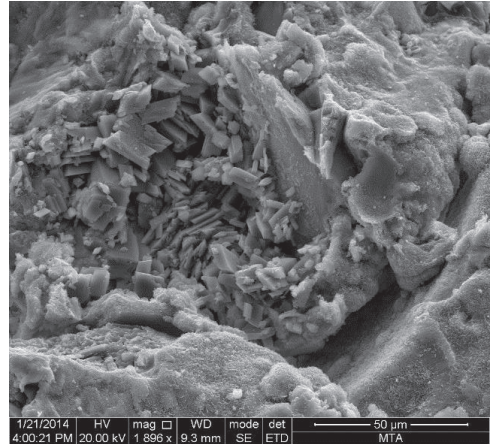
Şekil 1. Çalışmada kullanılan klinoptilolit örneğinin XRD kırınım desenleri



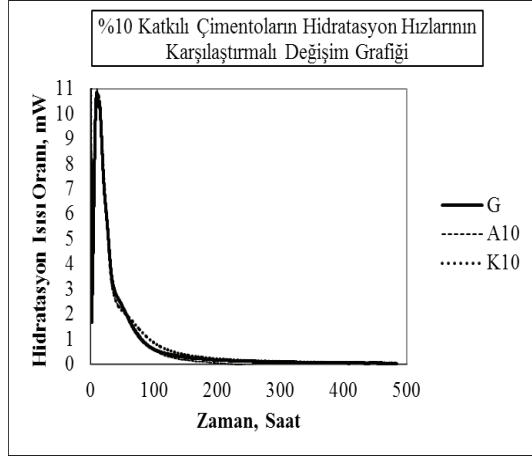
Şekil 2. Çalışmada kullanılan analsim örneğinin XRD kırınım desenleri



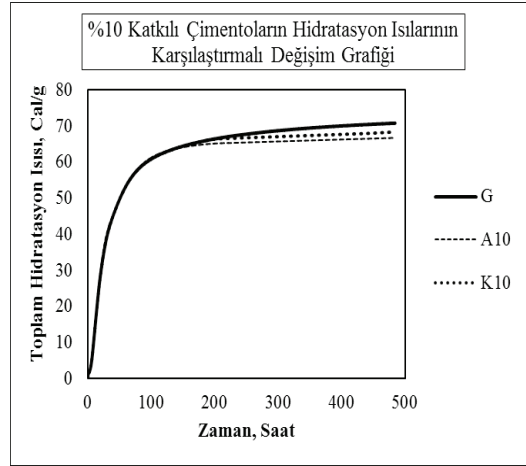
Şekil 3. Klinoptilolit örneği SEM görünümü



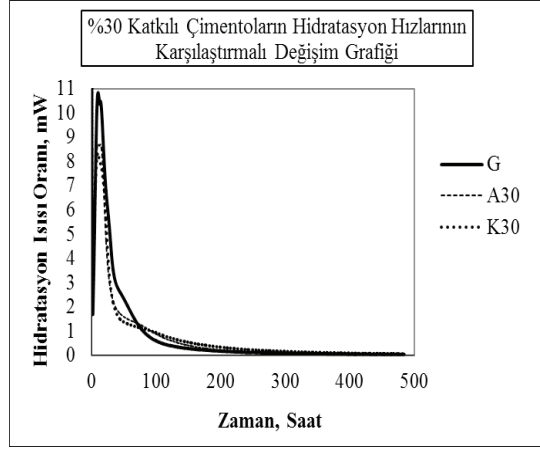
Şekil 4. Analsim örneği SEM görünümü



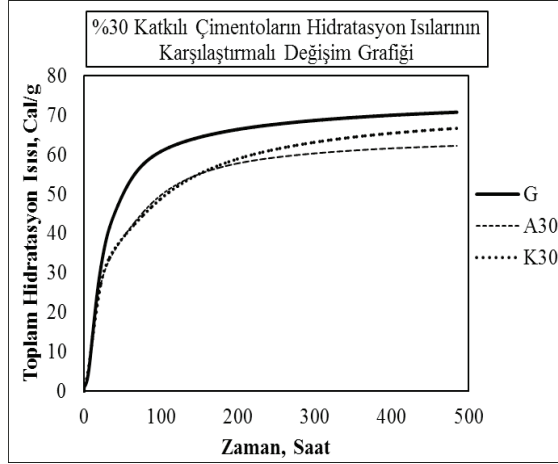
Şekil 5. %10 Katkılı çimentoların hidratasyon hızı-zaman grafiği



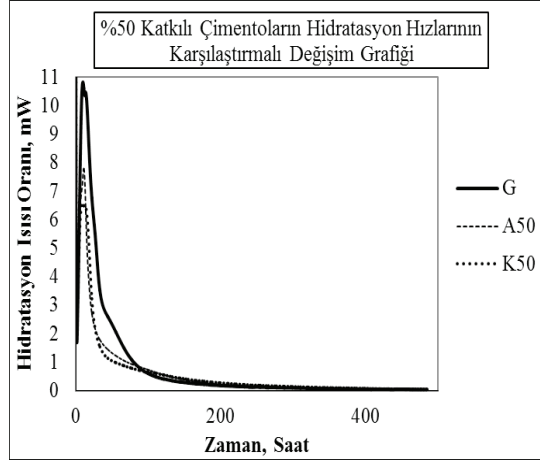
Şekil 6. %10 Katkılı çimentoların hidratasyon ısısı-zaman grafiği



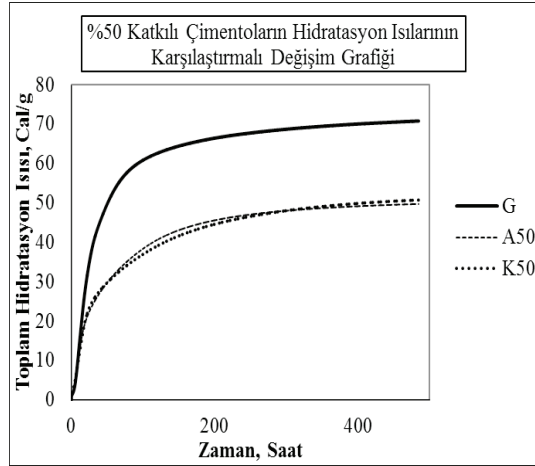
Şekil 7. %30 Katkılı çimentoların hidratasyon hızı – zaman grafiği



Şekil 8. %30 Katkılı çimentoların hidratasyon ısısı – zaman grafiği



Şekil 9. %50 Katkılı çimentoların hidratasyon hızı – zaman grafiği



Şekil 10. %50 Katkılı çimentoların hidratasyon ısı – zaman grafiği

SONUÇLAR

1. Çalışmada kullanılan doğal zeolitlerin toplam SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içerikleri, TS 25 sınır değerlerine uygun olarak, çimento endüstrisinde kullanılan bazı puzolanik malzemelerle benzerdir.

Klinoptilolit ve analsim için, TS 25'e göre yapılan puzolanik aktivite deneyleri ile belirlenen, kireç-puzolan karışımı 7 günlük basınç dayanımı değerleri sırasıyla 9.02MPa ve 6.30MPa' dır. Buna göre, TS 25 sınır değerleri ile uyumlu olan, çalışmada kullanılan doğal zeolitlerin puzolan olarak kullanılabileceği tespit edilmiştir.

2. A10, A30, A50, K10, K30 ve K50 etiket isimleriyle üretilen doğal zeolit katkılı çimentolarla yapılan deneyler sonucunda, katkılı çimentoların hidratasyon ısıları portland çimentosuna (G) göre, sırasıyla yaklaşık %6, %13, %30, %3, %6 ve %29 değerlerinde, hidratasyon hızları ise, %0, %24, %30, %0, %22 ve %40 değerlerinde azalmıştır. Zeolit katkılı çimentolardaki bu azalma, yer değiştirme oranları arttıkça çimento miktarındaki azalmaya bağlı olarak gerçekleşmektedir. Klinoptilolit ve analsimin puzolanik aktivite ve SiO₂ içerikleri dikkate alındığında, aktivitesi ve SiO₂ içeriği daha yüksek olan klinoptilolit hidratasyon ısıları analsime göre tüm yer değiştirme oranlarında daha yüksektir. %30 yer değiştirme oranında bu durum daha belirgindir. %50 yer değiştirme oranında yaklaşık aynıdır. Buna göre, analsim doğal zeolitinin, bazı durumlarda, çimento endüstrisinde yaygın olarak kullanılan klinoptilolit' e alternatif olabileceğini göstermektedir.
3. Çalışmada yer değiştirme malzemesi olarak kullanılan klinoptilolit ve analsim' in puzolanik aktiviteleri ile her iki doğal zeolit katkılı çimentoların portland çimentosuna göre hidratasyon ısıları ve hızı değerleri göz önüne alındığında daha az klinker içerikleri sayesinde ekonomik ve çevreci katkılı çimentolar üretilabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı TF-1521 no'lu proje ile destekleyen Ordu Üniversitesi, Bilimsel Araştırmalar Proje birimine ve Gördes Zeolit A.Ş.' ye teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

1. Kumbasar, I., Silikat mineralleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul, 1977.
2. Chan SYN, Ji X. "Comparative study of the initial surface absorption and chloride diffusion of high performance zeolite, silica fume and PFA concretes". Cement and Concrete Compositions. 1999;21:293–300.
3. Poon CS, Lam L, Kou SC, Lin ZS. "A study on the hydration rate of natural zeolite blended cement pastes", Construction and Building Materials, 1999;13:427–32.
4. Perraki, T., Kontori, E., Tsivilis, S., Kakali, G., "The effect of zeolite on the properties and hydration of blended cements", Cement and Concrete Composites, 32, 128-133, 2010.
5. Trnı'k, A., Scheinherrova', L., Medved, I., C ˇ erny, R., "Simultaneous DSC and TG analysis of high-performance concrete containing natural zeolite as a supplementary cementitious material", J Therm. Anal. Calorim., 121:67–73, 2015.
6. Yazıcıoğlu, Ö.F., "Çimento ve beton endüstrisinin sürdürülebilir üretimlerinde doğal zeolit (analsim)' in puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., 85 sayfa, 2016.
7. Akgün, Y., Yazıcıoğlu, Ö.F., "İki farklı doğal zeolit katkısının çimento harç aşınma dayanımına etkisi", ODÜ Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt:6, Sayı:1, 94-104, 2016.
8. Türk Standartları, Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri (TS EN 197-1), Türk Standartları Enstitüsü, 2012.
9. ASTM C 430, Test method for fineness of hydraulic cement by the 45-µm (No. 325) sieve, American Society for Testing and Materials, United States of America, 2005.
10. Türk Standartları, Doğal puzolan (tras) - Çimento ve betonda kullanılan - tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri (TS 25), Türk Standartları Enstitüsü, 2008.
11. Türk Standartları, Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini (TS EN 196-1), Türk Standartları Enstitüsü, 2009.
12. Erdoğan, T., Türkiye'de üretilen çimentolar, özellikleri ve kullanımları. TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası Çimento Sempozyumu, 16 - 27 Kasım 1995, Ankara.
13. Türk Standartları, Çimento hidrasyon ısısının izotermal kondüksiyon kalorimetre (ICC) ile belirlenmesi: Son gelişmeleri ihtiva eden rapor ve öneriler (TSE CEN/TR 16632), Türk Standartları Enstitüsü, 2014.

20 Ekim 2017 Cuma

October 20th 2017 Friday

2.Gün/Second Day

6.Oturum/Sixth Session

Oturum Başkanı/Session Chair

Doç. Dr. Özge ANDIÇ ÇAKIR

KİRLİ AGREGALAR İLE ÜRETİLEN BETONLARDA TİPA İLAVELİ AKIŞKANLAŞTIRICILARIN ETKİSİ

Kadir KILINÇ	Saadet Gökçe GÖK	Safiye GÜNDOĞAN
Yardımcı Doçent Doktor	Araştırma Görevlisi	Araştırma Görevlisi
Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü	Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü	Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Kırklareli, TÜRKİYE	Kırklareli, TÜRKİYE	Kırklareli, TÜRKİYE
<i>kadir.kilinc@klu.edu.tr</i>	<i>saadet.gokce.gok@klu.edu.tr</i>	<i>safiyegundogan@klu.edu.tr</i>

ÖZET

Yapı malzemesi olarak en yaygın kullanılan malzeme olan betonun üretiminde, temel hammaddelerden biri olan agregaların metilen mavisi değerinin yüksek olması durumunda, betonda aranan en önemli özelliklerden olan işlenebilirlik ve basınç dayanımı ile ilgili sorunlar yaşanır. Kirli agrega ile üretilen betonda meydana gelecek kıvam ve dayanım kaybı sorunlarının giderilmesi için farklı kimyasal katkı dizaynları oluşturulabilmektedir.

Bu çalışmada, metilen mavisi değeri yüksek kırma kum ve doğal kum kullanılarak üretilen betonlarda kıvam kaybını önlemek ve nihai dayanımı artırmak amacıyla akışkanlaştırıcı kimyasal katkı tasarımları yapılmıştır. Katkıların içeriğinde sodyum lignosülfonat, naftalin, formaldehit, tribütil fosfat (TBF), triizopropanolamin (TİPA), kalsiyum nitrat ve glukonat hammaddeleri bulunmaktadır. Bu hammaddelerden farklı oranlarda kullanılarak dört farklı katkı karışımı laboratuvarında hazırlanmıştır.

Taze beton karışımlarının işlenebilirlik özelliği çökme testi yardımıyla gözlenmiştir. Beton karışımlarında çimento olarak CEM I 42,5 R tipi çimento ve agrega olarak doğal kum, kırma kum, kırmataş I ve kırmataş II kullanılmıştır. Karışımlarda sabit bir beton dizaynı ve sabit bir çökme değeri kullanılmış olup hazırlanan akışkanlaştırıcı katkıların kullanımının taze ve sertleşmiş beton özelliklerini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Taze betonda başlangıç çökme değerleri ve 30 dakika sonraki çökme değerleri ölçülmüştür. 150x150x150 mm boyutlu kalıplar kullanılarak üretilen küp beton numunelerinin 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Metilen mavisi, süperakışkanlaştırıcı, triizopropanolamin, fiziksel özellikler, mekanik özellikler

THE EFFECT OF TIPA ADDED PLASTICIZERS ON CONCRETE PRODUCED WITH DIRTY AGGREGATES

ABSTRACT

One of the basic raw materials in production of concrete, which is the most commonly used material in construction, is aggregates. If the methylene blue value of the aggregates is high, problems related to the workability and strength, which are the most important properties of concrete, are encountered. Some chemical admixtures have been developed in order to solve the problems of slump retention and low strength of concrete produced with dirty aggregates.

In this study, chemical admixture designs were made to prevent the loss of consistency and to increase later-age compressive strength in concretes produced by using stone sand and natural sand with high methylene blue value. The chemical admixtures include the raw materials such as sodium lignosulfonate, naphthalene, formaldehyde, tributyl phosphate, triisopropanolamine, calcium nitrate and gluconate. Four different chemical admixtures were prepared in laboratory by using these raw materials in different proportions. The workability properties of concrete mixtures were investigated by slump test. CEM I 42.5 R type cement was used in the production of concretes. Natural sand, stone sand, crushed stone I and crushed stone II were also used in the production of concretes. Concrete design and slump value were same for all concrete mixtures. The effect of the chemical admixtures on the fresh and hardened concrete properties was investigated. The initial slump value and slump value of fresh concrete after 30 minutes were measured. The compressive strengths of concrete specimens at the ages of 2, 7, and 28 days were determined.

Keywords: Methylene blue, superplasticizer, triisopropanolamine, physical properties, mechanical properties

GİRİŞ

Sürdürülebilir bir beton üretimi için, hammaddelerin yerel kaynaklardan temin edilebilmesi önemli bir etkindir. Beton üretiminde temel hammaddelerden biri olan agregaların, beton hacminin büyük bir kısmını oluşturduğu düşünüldüğünde, agreganın kirliliğinin beton kalitesini etkilemesi kaçınılmaz olmaktadır. İnce malzeme içeriği yüksek agregalarla yapılan üretimlerde, dayanım ve kıvam kaybı sorunlarıyla karşılaşmaktadır. Kaliteli bir beton üretimi için, diğer beton bileşenleri gibi agregaların da uygun özellikleri sağlaması gerekmektedir. Mekanik özellikler açısından uygun ve kil, silt gibi ince malzeme içeriği düşük, temiz agreganın yerel kaynaklardan sağlanamadığı durumlarda, nakliye maliyetlerinin de etkisi nedeniyle, üretime elverişsiz agregalar ile beton üretimi gerçekleştirilmektedir, bu da beton kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuzlukları önlemek adına kil tutucu özellikte kimyasal katkılardan faydalanılabilmektedir [1].

Beton üretiminde kullanılan agregalar, beton tasarımının hacimce %70-80 kadarını oluşturmaktadır. Beton üretiminde kullanılan agreganın bileşiminde, en yüksek pay ise maliyet avantajı nedeniyle kırma kuma aittir. Bu nedenle kırma kumun sahip olduğu kirlilik düzeyi, betonun kalitesini etkileyen en önemli parametrelerden biri olmakla beraber, kimyasal katkı üreticileri için de katkı dizaynını oluşturmak açısından son derece önemli bir değerdir [2]. Türkiye’de, betonda kullanılan agregalardaki kirlilik ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Ülkemizin birçok bölgesinde temiz agreganın bulmakta güçlük çekildiğinden, metilen mavisi değeri yüksek agregalarla beton üretimi yapılmakta, bu da beraberinde bazı sıkıntılar getirmektedir [3]. Bu sebeple, agreganın üreticilerinin kil ve silt gibi ince malzemelerin agregaya karışmasını önlemeye yönelik tedbirler almaları gerekmektedir. Bu anlamda kum içinde bulunan 0,063 mm elek altı yıkanabilir maddelerin (kil, silt ve çok ince taş unu) içeriği ve kalitesi beton kalitesi anlamında büyük önem taşımaktadır [2, 4].

Kil, su tutma ve iyon değiştirme güçleri yüksek olan, parçacık boyutu 0,02 mm’nin altında tabakalı ya da lifli yapıdaki hidratlaşmış alüminyum ya da magnezyum silikatlar olarak adlandırılmaktadır. Kil minerallerinin aktiviteleri karakteristik yapılarına bağlıdır. Bazı kil türlerinin nispeten etkisiz olduğu ve

agrega performansını etkilemediği ancak farklı türlerinin küçük miktarlarda olsa bile agregaların performansını önemli ölçüde etkilediği, neme karşı duyarlı oldukları ve genleşebildikleri bilinmektedir [4]. Kil ve siltin beton agregasında bulunması iri agrega ve çimento hamuru arasındaki aderansı zayıflatır, agreganın özgül yüzey miktarını artırır. Bunun sonucunda beton için gerekli karma suyu miktarı ve su/çimento (W/C) oranı büyür. Dolayısıyla dayanıklılık ve dayanım yönünden zayıf bir beton elde edilir. Kil ve siltin önemli özelliklerinden birisi de su tutma (emme) kabiliyetinin yüksek olmasıdır. Kil ve silt su emme sonucunda hacim genişlemesine neden olur ve büzülmelerin meydana getireceği çekme gerilmelerine sebep olur. Çimento ile reaksiyona girerek aderansı önler, hidrasyonu ve prizi geciktirir. Bunun yanında kil, mil ve silt oranının az miktarları betonun işlenebilirliğini ve su geçirmezliğini artırır, ancak olumsuz etkileri nedeniyle mümkün olduğu kadar az bulunmaları tercih edilir [3, 4]. Kil mineralleri, doğal agregaların ince fraksiyonlarında ($75\ \mu\text{m}$ altı malzeme) bulunabilmektedir [5]. Genelde, aşırı miktarda kil içeriği beton ve harçlarda zarar verici etkiler yaratmaktadır. Kil minerallerinin ince partikül yapısı ve yüzeylerinin aktivitesi, betonlarda istenen işlenebilirliği sağlamak için karışım suyu miktarını artırmaktadır. Bu da sertleşmiş betonun dayanımına, dürabilitesine veya hacim stabilitesine zarar vermektedir. Özetle kil mineralleri, kristaline hidrate alumino-silikatlardır [5]. Beton ince malzemelerindeki kil içeriği, betonda önemli kıvam kaybı, aşırı su isteği ve potansiyel kuruma büzülmesi gibi hacim değişimlerine neden olabilmektedir. Birçok mühendis bu duruma işaret etmiştir. Beton testlerinde, yüksek metilen mavisi boyası adsorpsiyonu gösteren kumların içerdiği kil minerallerinin, basınç dayanımı kaybına neden olabildikleri görülmüştür. Bununla birlikte, sonuçların değerlendirilmesinde, kil minerallerinin emdikleri boya miktarıyla, betonda yarattıkları zarar verici etkiler arasında bir orantı bulunmasında problemler vardır. Fakat “Metilen Mavisi Adsorpsiyonu” metodu, kullanılan kumun kil içeriği açısından beton için uygun olup olmadığını belirlemede hızlı ve ucuz bir metottur [5]. TS 706 EN 12620 standardında ince agreganın içinde bulunan çok ince malzeme muhtevasının %3’ten az olması halinde ince malzeme zararsız kabul edilmekte, çok ince malzemenin %3’ün üzerinde olması halinde ise TS EN 933-9 Metilen Mavisi deneyi veya TS EN 933-8 Kum Eşdeğeri deney sonuçlarının belirlenen sınır değerlerini sağlaması istenmektedir. Bunun yanında beton üreticileri agrega seçimine, üreteceği betonun kalitesi açısından son derece dikkat etmelidir. Bu seçim sırasında kırma kumların kimyasal yapıları üzerine bilgi edinilmesi, büyük kolaylık ve fayda sağlayacaktır [4].

Basit ve hızlı bir yöntem olması açısından metilen mavisi test yöntemi, ince malzemedeki kirlilik düzeyini ölçmek amacıyla kullanılmaktadır. Beton üretiminde temel hammaddelelerden biri olan agregaların, metilen mavisi değerinin yüksek olması halinde betonda kıvam koruma ve dayanım ile ilgili problemler yaşanır. Geleneksel polikarboksilat bazlı kimyasal katkıları, yüksek su kesme ve kıvam koruma özelliği sağlamakla birlikte, malzeme kirliliğine duyarlı olması nedeniyle bu katkıların kullanımı sınırlıdır. Kirli agrega ile yapılan betonda kıvam kaybı ve düşük dayanım dezavantajlarını bertaraf etmek için kimyasal katkıları geliştirilebilir. Metilen mavisi değeri yüksek agregalar için geliştirilmiş kimyasal katkıları ile beton üretimi agrega sıkıntısı çeken beton üreticileri için faydalı bir çözüm olacaktır [4].

Bu çalışmada, ülkemizin beton hammadde kaynaklarını daha verimli kullanabilmek, teknik ve ekonomik açıdan standartlara uygun beton üretebilmek amacıyla, metilen mavisi değeri yüksek agregaların betonda kullanımını sağlamak için geliştirilmiş TİPA ilaveli kimyasal katkıları ile yapılan laboratuvar üretimlerini kapsayan bir çalışma sunulmuştur.

Doğal kaynakların yüksek oranda tüketimi, endüstriyel atıkların yüksek miktarda üretimi ve çevresel kirlilik sürdürülebilir kalkınma açısından önemli faktörlerdir ve bunlar da kaynakların etkin kullanımının önemini artırmaktadır. Kaynakların etkin kullanımı artarsa sürdürülebilir kalkınma elde edilebilir. Kaynakların etkin kullanımının artması, enerji ve malzeme kullanımında azalmayla mümkün olabilmektedir. Beton endüstrisinde bölgesel malzemelerin kullanımı, hazır beton sektörü açısından oldukça önemlidir. Çoğu alanda agrega kaynaklarındaki sıkıntıdan dolayı, kalitesi düşük agrega kullanılmaktadır. Düşük kaliteli agrega ile yapılan üretimlerde hedef basınç dayanımını sağlayabilmek için beton dizaynında çimento miktarının artırılması gerekmektedir. Çoğu beton firması hazır beton üretiminde taş tozu kullanılmaktadır. Bu da karışımın reolojisini olumsuz olarak etkilemektedir [1].

Hazır beton üretiminde doğal kum yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak doğal kum kaynaklarının sınırlı olması ve ekonomik nedenlerden dolayı kırma kum (taş tozu) kullanımı gittikçe artmaktadır [6]. Beton üretiminde kullanılacak tüm agregalar yıkama tesisinde yıkanır ve beton üretiminde

kullanılmaya hazır hale gelir. Ancak yıkama tesisi kurmak ve yıkama işlemi kayda değer bir maliyet gerektirmektedir. Türkiye'deki hazır beton santrallerinin çoğunluğu beton üretiminde kullanacağı agregaları yıkamamaktadır. Kirli agrega ile üretilen betonlarda, zamana bağlı olarak gerçekleşen kıvam kayıpları, pompalanabilmeyi güçleştirmektedir ve yapılarda beton dökümü esnasında problemler oluşturmaktadır. Aynı zamanda sertleşmiş betonun basınç dayanımı değerlerini önemli oranda azaltmaktadır. Betonda işlenebilirliği arttırmak, metilen mavisi değeri yüksek agregalarla istenilen işlenebilirlikte çalışabilmek için kil tutucu özellikteki kimyasal katkılardan faydalanmak mümkündür [1].

Alkanolaminlerden biri olan triizopropanolamin (TİPA) içeren kimyasal katkı maddeleri priz hızlandırıcıları olarak kullanılmaktadır. TİPA kullanılarak kazanılan dayanım artışı, klinker minerallerinin ferit (C_4AF) fazı miktarıyla değişmektedir [7]. Sandberg ve Doncaster, çalışmalarında TİPA'nın hem Portland çimentosu ile hazırlanan çimento hamurunda hem de harçlarda dayanım artıran bir özellik sunduğunu ve dayanım arttırmanın ara yüzey geçiş bölgesi mekanizmasına bağlı olmadığını tespit etmiştir [8].

AMAÇ

Beton üretiminde istenen kaliteyi sağlayabilmek adına öncelik verilmesi gereken, uygun özellikteki beton bileşenleri ile üretimi gerçekleştirmek olmalıdır. Betonda kil, silt gibi ince madde içeriği yüksek agrega kullanımı, taze ve sertleşmiş beton özelliklerinde yarattığı olumsuzluklardan dolayı sınırlandırılmıştır. İnce madde içeriği düşük, temiz agrega temininin, nakliyenin zorluğu ve maliyetin yüksek olması gibi sebeplerden ötürü sağlanamadığı durumlarda, betonda hedeflenen işlenebilirlik ve dayanımın sağlanabilmesi için birtakım önlemler alınması gerekir. Bu çalışmada, agregada metilen mavisi değerinin yüksek oluşunun getirdiği dayanım ve kıvam kaybı sorunlarını bertaraf etmek amacıyla, TİPA ilaveli süperakışkanlaştırıcı katkı geliştirmek hedeflenmiştir. Bu amaçla, kırma kum metilen mavisi değeri 5, doğal kum metilen mavisi değeri 2 olan kirli agregalarla hedeflenen nihai dayanımı sağlayabilmek adına modifiye süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı dizaynları yapılmıştır. Yapılan beton dizaynlarında su/çimento oranı, kirli malzeme kullanılması nedeniyle artmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

Bu deneysel çalışmada, farklı miktarlarda kalsiyum lignosülfonat, naftalin, formaldehit, tribütil fosfat (TBF), triizopropanolamin (TİPA), kalsiyum nitrat ve glukonat kullanılarak hazırlanan farklı süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımıyla metilen mavisı değeri yüksek agregalar kullanılarak beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen betonlarda kullanılan agregalar, mekanik özellikler açısından istenen performansta olmayıp agregası basınç dayanımları yeterli ölçüde karşılanmamaktadır. Tüm bu etkenlerin yanı sıra, beton dizaynındaki çimento dozajı, üretilmesi hedeflenen beton sınıfı için oldukça düşük bir değerdedir. Bu çalışmayla, yetersiz kalitedeki bileşenlerle beton üretiminin gerçekleştirilmesinin zorunlu olduğu durumlarda oluşacak sorunları engellemek adına, maliyet faktörü de göz önünde bulundurularak kullanılabilecek kimyasal katkılar araştırılmıştır. Üretilen betonlarda katkı dozajı %1 olarak kullanılmıştır. Hazırlanan katkı dizaynları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1: 1000 gram katkı için kullanılan hammadde miktarları.

Katkı Kodu	Kalsiyum lignosülfonat (g)	Naftalin (g)	Formaldehit (g)	TBF (g)	TİPA (g)	Kalsiyum nitrat (g)	Glukonat (g)	Su (g)
BK1640	693	120	5	4	5	173	0	0
BK1643	700	0	5	4	7	284	0	0
BK1645	683	120	5	4	5	163	20	0
BK1646	683	120	5	6,5	10,4	155,1	20	0

Katkı dizaynında kullanılan hammaddelerin birim fiyatları Tablo 2’de verilmiş olup üretilen katkıların maliyetleri hesaplanmıştır. Metilen mavisı değeri yüksek agregalarla üretilen betonların çökme değerleri ile 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin katkı kullanımıyla ne şekilde değiştiği

incelenmiştir. Hazırlanan katkılarla üretilen betonlardaki erken yaş ve ilerleyen yaş dayanımları Tablo 3'te verilmiştir. Hazırlanan katkılarla; çimento dozajı, agrega kalitesi ve agrega kirliliği konusundaki olumsuzluklara rağmen, istenilen işlenebilirlikte ve hedeflenen basınç dayanımında beton üretimi gerçekleştirmek mümkün olmuştur.

Tablo 2: Katkı hammaddelerinin birim fiyatları.

Hammadde	Birim Maliyet (Euro/kg)
Naftalin %40	0,28
Lignin %40	0,20
Glukonat %40	0,24
TBF	1,80
TİPA	1,54
TEA	0,99
Melas %80	0,18
Kalsiyum nitrat	0,16
Formaldehit	0,25

Tablo 3: Beton tasarımı ve üretilen betonun özellikleri.

KARIŞIM NO		1	2	3	4
BETON SINIFI		C 25/30	C 25/30	C 25/30	C 25/30
ÇİMENTO DOZAJI	kg/m ³	255	255	255	255
ÇİMENTO TİPİ		CEM I 42,5 R	CEM I 42,5 R	CEM I 42,5 R	CEM I 42,5 R
SU-ÇİMENTO ORANI		0,6	0,6	0,6	0,6
DOĞAL KUM (0-5 mm)	kg/m ³	782	782	782	782
KIRMA KUM (0-5 mm)	kg/m ³	138	138	138	138
KIRMATAŞ I (5-15 mm)	kg/m ³	525	525	525	525
KIRMATAŞ II (15 -25 mm)	kg/m ³	567	567	567	567
SU	kg/m ³	152	152	152	152
KATKI DOZAJI / ADDITIVE DOSAGE	%	1	1	1	1
KATKI MALİYETİ / ADDITIVE COST	€	0,22	0,20	0,22	0,23
KATKI KODU		BK 1640	BK 1643	BK 1645	BK 1646
SLUMP (Başlangıç)	cm	15	16	15	16
SLUMP (30 dakika)	cm	13	12	13	13
İLAVE SU	kg	0,36	0,36	0,36	0,36
DÜZELTİLMİŞ ÇİMENTO MİKTARI	kg/m ³	247	247	247	247
DÜZELTİLMİŞ SU MİKTARI	kg/m ³	178	178	178	178
DÜZELTİLMİŞ SU-ÇİMENTO ORANI		0,72	0,72	0,72	0,72
2 GÜNLÜK BASINÇ DAYANIMI	N/mm ²	8,2	7,6	7,2	7,9
7 GÜNLÜK BASINÇ DAYANIMI	N/mm ²	17,6	14,6	17,4	16,4
28 GÜNLÜK BASINÇ DAYANIMI	N/mm ²	23,4	24,0	27,3	25,3

SONUÇ

Beton üretiminde hedeflenen dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik kriterlerinin düşük maliyetle sağlanabilmesi amacıyla, beton bileşenleri uygun özelliklerde olmalı ve beton tasarımının doğru yapılması gerekmektedir. Bunun sağlanmasının mümkün olmadığı durumlarda kimyasal katkı kullanımına gidilmelidir. Metilen mavisi değeri yüksek agregalarla beton üretiminin gerçekleştirilmesinin zorunlu olduğu durumlarda, hedeflenen kıvamın ve nihai dayanımın sağlanabilmesi, yapılan kimyasal katkı dizaynlarıyla mümkün olabilir. Ancak bu çalışmada kirli agregalarla üretilen betonlarda, TİPA ilaveli akışkanlaştırıcı özellikteki kimyasal katkıların kullanılması yoluyla hedef nihai dayanıma ulaşılamamıştır. Hedef nihai dayanıma ulaşılamama sebepleri olarak beton karışım dizaynında kullanılması gerekli çimento miktarının düşük olması ve agregaların kirliliğinin yüksek olması gösterilebilir.

KAYNAKLAR

1. Jeknavorian, A.A., Koehler, E. (2012). Use of chemical admixtures to modify the rheological behavior of cementitious systems containing manufactured aggregates, *Journal of Civil Engineering and Architecture*, Volume 6, No. 10 (Serial 59), pp. 1263-1272, ISSN 1934-7359, USA.
2. Şenbil, U.E., Bağdatlı, Ö., Köseoğlu, K., Çakır, Ö.A. (2014). Characterisation of crushed sands with various methylene blue values and their effects on concrete, *Engineer & the Machinery Magazine*, Vol. 55, Issue 649, pp.74-80.
3. Köksal, A., Abit, O., Karataş, E. (2013). "Metilen mavisi yüksek agregalar ve farklı özellikteki kimyasal katkılarla yapılan beton çalışmaları", <http://www.yapichem.com.tr/Upload/Texts/288-beton-2013.pdf>.
4. Özbebek, H., Açık, H. (2012). "İnce Agregalarda Yapılan Metilen Mavisi ve Kum Eşdeğerliği Deney Sonuçlarının Beton Özelliklerine ve Maliyetine Etkisi", *HAZIR BETON*, 84-92.
5. Hasdemir, S. (2004). "Metilen mavisi deney sonuçlarının basınç dayanımlarına etkisi", *Beton 2004 Kongresi*, s 615-622, 10-12 Haziran, İstanbul.
6. Pilegis, M., Gardner, D., Lark, R. (2016). An investigation into the use of manufactured sand as a 100% replacement for fine aggregate in concrete, *Materials* 2016, 9, 440; doi:10.3390/ma9060440 www.mdpi.com/journal/materials.
7. Ichikawa, M., et al. (1997). "Effect of Triisopropanolamine on Hydration and Strength Development of Cements with Different Character", *Proceedings 10th International Congress on the Chemistry of Cement*, Gothenburg (Edited by H Justnes), Sweden, June 2-6.
8. Sandberg, P. J., Doncaster, F. (2004). On the mechanism of strength enhancement of cement paste and mortar with triisopropanolamine, *Cement and Concrete Research*, 34, pp. 973-976.

BAZALT ve KALKER AGREGA KULLANILMIŞ GEÇİRİMLİ BETONLARIN BAZI TEKNİK ÖZELİKLERİ

İlker Bekir Topçu

Prof. Dr.

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Eskişehir

Ali Uğurlu

Dr.

TMMOB Kimya Mühendisleri Odası

Ankara

ÖZET

Geçirimli betonlar boşluk içeren, gözenekli betonlardır. Geleneksel betona göre daha az ince malzeme içeren veya hiç içermeyen betonlardır. Genellikle %15 ile %30 oranında gözenekli yapısı ile geçirimsizliği sağlarlar. Geçirimli betonlar yağmur ve su kanallarının üzerinde kanallarını gizlemek, su toplanmasını önlemenin gerekli olduğu yerlerde, otopark zeminlerinde, stadyum tabanlarında, park yürüyüş yollarında ve çeşitli kaldırım düzenlemelerinde kullanılmaktadır. Burada amaç drenajı sağlamak kadar yeraltı suyunu da beslemektir. Bu çalışmada değişik oranlarda bazalt ve kalker agregası kullanılarak bu durumun geçirimsiz betonla üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Numunelerin üretiminde bazalt agregası kalker agregası yerine hacimce % 75, % 50, % 25 ve % 0 oranlarında kullanılarak çeşitli numuneler elde edilmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde birim ağırlık, geçirgenlik ve dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Bazalt agregası kullanılan betonların daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Geçirimli beton, bazalt agregası, gözeneklilik, birim ağırlık, dayanım

BASALT AND LIMESTONE AGGREGATE PERVIOUS CONCRETE USED FOR SOME TECHNICAL CHARACTERISTICS

ABSTRACT

Pervious concrete is a porous type of concrete which contains cavities. They contain none or less fine material compared to regular concrete. Pervious concrete usually provides permeability with its porous structure. Pervious concrete is used to cover the surface of rain water canals, to prevent water accumulation and it's used in the coverings of parking lots, in stadium bases, in the walking trails of parks and various kinds of pavement reconstructions. In this study, basalt and limestone aggregate pervious concrete at different rates was investigated by using the effect on this situation. Basalt aggregates in the production of limestone aggregate samples by volume instead of 75% and 50%, 25% and 0% of samples were obtained using a variety of ratios. The prepared samples on the unit weight, permeability and strength tests were performed. Basalt aggregate concrete gave better results than that, it was observed that

Keywords: Pervious concrete, basalt aggregate, porosity, unit weight, strength

1. GİRİŞ

Geçirimli beton hiç ince agregası (kum) içermeyen veya çok az miktarda ince agregası içeren özel bir beton türüdür. Birbiri ile bağlantılı geniş boşluklar, geçirimli betonun içerisinde suyun kolayca akmasına izin verir. Çevresel yararlarından dolayı; otopark, yürüyüş yolları, kaldırım ve tali yolların yapımında geçirimli beton kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır,[1]. Günümüzde uygulanan geleneksel betonlar ve asfalt kaplamalar geçirimsiz yapıları nedeniyle yağmur sularının yer altı sularına ulaşmasını engeller. Bu nedenle geçirimli beton kullanımı yağışlarla gelen suların yer altında birikmesi ve sürekliliği açısından da çok önemlidir. Bu yüzden, geçirimli betonların yağmur drenajında,

yer altı suyunun biriktirilip yenilenmesinde ve su kalitesinin gelişmesinde önemli bir çevresel malzeme olduğu söylenebilir. Bunların yanı sıra suyu kolaylıkla bünyelerinde tutarak depolayabilir de,[2]. Çevresel performans açısından, geçirimli beton aynı zamanda bazı kirleticileri ve partikülleri geçirimli yapı içerisinde temizlemek için filtrasyon amacıyla da kullanılabilir. Keza drenaj ihtiyacı olan yerlerde de boşluklu beton yüzeydeki suyu hızlıca drene eder ve yüzeyin kuru olmasını sağlar.

Boşlukların boyutu ve birbiri ile olan bağlantısı, agrega tipi, boyutu, pasta hacmi gibi değişkenlerden önemli ölçüde etkilenir. Geçirimli betonlar ile ilgili çalışmalar incelendiğinde bu çalışmaların daha çok üretimde kullanılan bileşenlerle ilgili olduğu görülür,[3].Yapılan diğer çalışmaların çoğunluğu ise atık beton agregasının geçirimli beton üretiminde kullanımı ve dayanımı arttırmak için polimer kullanımı ile ilgilidir, [4].

Geçirimli betonlar su/çimento oranı genelde 0.25-0.35 arasında olacak şekilde tasarlanırlar. Genel olarak % 15-25 oranında boşluğa, 3-30 MPa arasında basınç dayanımına ve 0.025-0.61 cm/s arasında geçirimlilik değerlerine sahiptirler. Bu özellikler kırma taş agrega kullanıldığı zaman elde edilen özelliklerdir. Geçirimli betonların ince malzemesinin az olması, dayanımların düşük olacağını düşündürse de bu iyileştirilmesi mümkün olmayan bir durum değildir. Belli ölçüde ince malzeme kullanılarak iyileştirilen betonların geçirimliliklerinin çok da azalmadığı gözlenmiştir. Geçirimli betonların donma-çözülme dayanımı normal betonlara göre daha düşüktür, fakat belirli donma-çözülme döngüsünde iyi bir performans da sağlayabilir.

Geçirimli beton çalışmalarında iri agrega olarak genellikle 4-12 mm ve 12-25 mm boyutundaki tane grupları kullanılır. Tane boyutu daha küçük agrega kullanımı ve estetik açıdan ve dayanım gibi özellikler açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. Dayanım ve donma-çözülme gibi özelliklerin iyileştirilmesi için değişik lifler de kullanılabilir ya da su/çimento oranı düşürülebilir, [3].

Son yıllarda ülkemizde gerçekleştirilen bir çalışmada geçirimli betonların en zayıf özeliği olan dayanımı arttırmak amacıyla mukavemeti yüksek olan agregalardan bazalt agregası kullanılarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada bazalt kullanımının dayanımı arttırdığı tespit edilmiştir, [5]. Yine yapılan başka bir araştırmada geçirimli betonların basınç altındaki davranışı ve gözenek yapısı

gibi özellikleri incelenmiştir. Çalışmada 2,36 mm ile 9,5 mm arasında değişen agregâ boyutlarıyla farklı gözeneklilik yapıları elde edilmiştir. Farklı gözenek yapısı özellikleri ile birkaç geçirimli beton karışımı statik sıkıştırma deneylerine tabi tutulmuştur. Bu geçirimli beton numuneler üzerinde kontrollü yükleme şeklinde dayanımlar ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre iri agregâ ile yapılan karışımlarda dayanım düşük çıkarken ince agregâ ile üretilen numunelerin dayanımı daha yüksek elde edilmiştir. Gözeneklilik ölçümünde ise iri agregâ içeren numunelerin boşluk oranı ince agregâ içeren numunelere göre daha fazla çıkmıştır, [6].

Yapılan başka bir araştırmada ise agregâsı kireçtaşı ve granit olan numuneler üretilmiştir. Bu numunelerin ince agregâ oranları eşittir. Bazı numunelere de katkı olarak lateks malzeme eklenmiştir. Numunelerdeki lateks oranının azalması ile gözeneklilik oranı artmıştır. Bunun yanı sıra granit ile üretilen karışımlarda en yüksek gözeneklilik oranına ulaşılmıştır, [7].

Kum, dolomit ve cüruf kullanılarak boşluk oranları ve dayanımların ölçüldüğü bir araştırmada aynı ölçüde kullanılan cüruf ile dolomit arasında karşılaştırma yapılmıştır. Cüruf kullanılan numunenin dayanımı daha yüksek elde edilirken, dolomit ile yapılan numunelerin dayanımı ise daha düşük bulunmuştur. Çalışma sonunda % 60 iri dolomit, % 30 ince dolomit, % 10 kum kullanılan numunenin özellikleri öne çıkmıştır. Elde edilen dayanımların yeterli olmasına ve boşluk oranları da yüksektir. Sonuç olarak cüruf ile üretilen boşluklu betonlar dolomit ile üretilen betonlara göre daha işlevsel bulunmuştur,[8].

2015'te yapılan bir araştırma geçirimli betonların altyapı ve ulaştırma planlamalarında kullanılmasının yararlı olacağını göstermiştir. Geçirimli betondan yapılan kaplamaların yağmur suyu akış hızının yüksek maliyetinin ise düşük olduğu bir kez daha görülmüştür. Yine aynı şekilde yer altı suyunu besleyen bir sistem olduğu da anlaşılmıştır. Bu araştırmaların Hindistan'daki taşkınları önemli ölçüde önleyebileceği düşünülmüştür, [9]. Kevern 2008 de yaptığı bir araştırmada boşluklu betonlarda donma-çözülme etkisini araştırmıştır. Çeşitli karışımlar ile gerçekleştiren çalışmada ince malzeme kullanılan boşluklu betonların donma-çözülme etkisine karşı daha fazla dayanıklı olduğu görülmüştür, [10]. Neptune tarafından 2010 yılında gerçekleştirilen başka bir çalışmada ise 1 mm boyutundaki ince

malzemelerin kullanıldığı betonlarda geçirimsizlik ile dayanım arasında ters ilişki olduğu görülmüştür, [11].

2011’de yapılan bir araştırmada jeopolimer katkıli geçirimsiz betonlar incelenmiştir. Karışımlarda değişik oranlarda uçucu kül (FA), sodyum silikat (NS), sodyum hidroksit (NH) ve çeşitli alkali sıvılar kullanılmıştır. 60 derece sıcaklıkta 48 saat süre ile jeopolimerizasyon etkinleştirilmiştir. Sonuçlar yüksek kalsiyum ve uçucu kül oranının bağlayıcı olarak önemli bir rol oynadığını göstermiştir, [12]. 2013’te yapılan bir başka araştırmada geçirimsiz betonlar ile standart polimer modifiye (SPC) geçirimsiz betonlar incelenmiştir. Polimer modifikasyonu için SJ-601 polimeri kullanılmıştır. Standart geçirimsiz betonların üretiminde değişik agrega/çimento oranları seçilmiş ve karışımlarda ayrıca uçucu kül, süper akışkanlaştırıcı, silis dumanı gibi çeşitli kimyasallar da kullanılmıştır. Polimer modifiye betonlarda çimento miktarı sabit tutulup agrega miktarı artırılarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar; agrega miktarı artarken boşluk oranının da arttığını fakat içindeki katkı maddelerine göre dayanımların değiştiğini göstermiştir. Yine aynı çalışmada geçirimsiz betonlarda kullanılan polimer madde miktarının artmasıyla dayanımın düştüğü tespit edilmiştir,[13].

2. AMAÇ

Çalışmanın amacı geçirimsiz beton üretiminde farklı agregaların birlikte kullanımı ile geçirimsiz beton özelliklerinin agrega cinsinden nasıl etkilendiğinin belirlenmesidir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Kullanılan malzemeler

3.1.1. Çimento

Geçirimsiz beton üretiminde Afyon Çimento Fabrikası’nın üretmiş olduğu CEM I 42.5R Portland Çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal özellikleri (XRF analizi), fiziksel ve mekanik özelliklerine ait deney sonuçları Çizelge1’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.1.2. Agrega

Geçirimli beton çalışmalarında iki farklı agrega ile karışımlar hazırlanmıştır. Afyon’ daki bir hazır beton tesisinin taşocaklarından elde edilen kalker esaslı kırmataş agrega ile yine Afyonkarahisar ili, İscehisar ilçesindeki maden ocaklarından elde edilen bazalt agregası kullanılmıştır. Bazalt ve kalker agregalarının en büyük tane büyüklüğü 11.2 mm’dir.

Çizelge 1. Çimentonun XRF analizi, fiziksel ve mekanik özellik deney sonuçları

Kimyasal bileşim	Ağırlıkça, %	Özellikler	Değer
Fe ₂ O ₃	3,55	Çözünmeyen kalıntı	0,44
CaO	63,90	SK	1,90
MgO	1,94	Özgül ağırlık	3,15
Na ₂ O	0,74	Özgül yüzey, cm ² / gr	3320
K ₂ O	1,24	SKSM, %	32
SO ₃	3,02	Priz başlangıcı, dk	177
MnO	0,12	Priz sonu, dk	244
Kükürt (S)	-	Hacim genişmesi, mm	2
Cl ⁻	0,01	Basınç dayanımı, MPa (2günlük)	28
KK	1,24	Basınç dayanımı, MPa (28günlük)	42,70

Bazalt agregası volkanik ojit bazalt olup içerdiği SiO₂ miktarı % 50’nin üzerindedir. Geçirimli beton üretiminde kullanılan agregalara ait bazı fiziksel özellikler Çizelge 2’ deki gibidir.

Çizelge 2. Agregaların Fiziksel Özellikleri

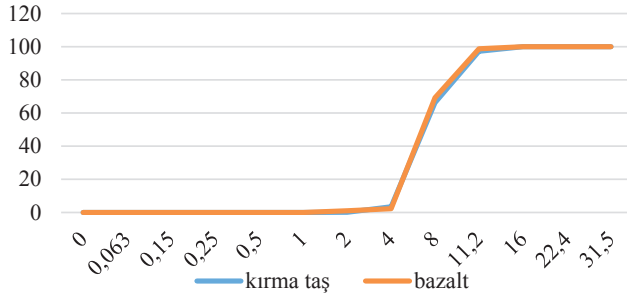
Fiziksel özellikler	Kalker	Bazalt
Özgül ağırlık, kg/m ³	2,62	2,79
Su emme, %	0,74	0,53
İncelik modülü	5,330	5,290

Geçirimli beton üretiminde kullanılan agregalar üzerinde elek analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3 ve Şekil1’de verilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde iki agreganın da granülometri eğrilerinin üst üste çakıştığı görülmüştür. Elek analizleri sonucunda kalker ve bazaltın tane dağılımlarının aynı olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 3. Agregaların elek analizi sonuçları

Elek açıklığı,mm	Elekten geçen malzeme miktarı, %	
	Kalker	Bazalt
31,15	100	100
22,40	100	100
16	100	100
11,20	97,27	98,70
8	66,23	69,18
4	3,47	2,26
2	0,13	1,03
1	0	0
0,50	0	0
0,25	0	0
0,15	0	0
0,063	0	0

Elekten Geçen %



Şekil 1. Agregaların granülometri eğrileri [9]

3.1.3 Karma suyu

Çalışmalarda Eskişehir Osmangazi Üniversitesi şebeke suyu kullanılmıştır. Şebeke suyunun yapılan kimyasal analizinde suyun TS 1247 karma suyu niteliklerine uygun olduğu görülmüştür, Çizelge

4

Çizelge 4. Kullanılan şebeke suyunun kimyasal analizi

Parametreler	Limit değerler	Bulunan değerler
pH	>7	7.1
Sülfat (SO ₃), mg/lt	<3000	983
Çözülmüş tuz, mg/lt	<15000	6400
Askıdaki katı madde, mg/lt	<2000	1115

3.2. Geçirimli Beton Karışım Oranları ve Yapılan Deneyler

Hazırlanan karışımlarda kalker agregasının bazalt agregasına oranı hacimce şu oranlarda seçilmiştir: 25/75, 50/50, 75/25 ve 100/1'dir. Bazalt agrega serileri olarak isimlendirilen numuneler B75, B50, B25, B0 olarak adlandırılmıştır, çizelge 5. Kalker agregasının kullanılmadığı seri (% 100 bazalt kullanılan) ise kontrol-şahit olarak adlandırılmıştır. Geçirimli taze betonlar kalıplarına yerleştirilirken boşluk oranlarını azaltmamak için kısa süreli şişleme yapılmıştır. Taze betonlar kürek ve mala yardımı ile sadece kalıpların yan yüzlerine vurulmak suretiyle yerleştirilmiştir. Bütün deneyler 28

günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney gününe kadar kür havuzlarında bekletilen numuneler deneyin yapılacağı gün kür havuzlarından alınarak deneye tabii tutulmuştur. Kullanılan bazalt agregasının beton birim kütesini nasıl değiştirdiğini görmek için sertleşmiş beton numuneler üzerinde birim ağırlık deneyleri de gerçekleştirilmiştir.

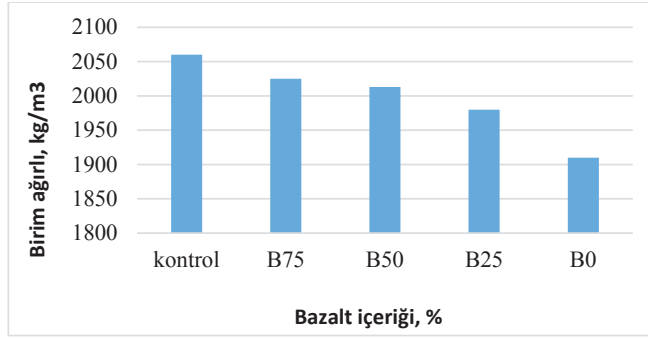
Çizelge 5. Geçirimli beton karışım oranları

Karışım	S/Ç	Su (kg/m ³)	Çimento (kg/m ³)	Kalker (kg/m ³)	Bazalt (kg/m ³)
Kontrol	0,33	132	400	-	1448
B75	0,33	132	400	352	1086
B50	0,33	132	400	704	724
B25	0,33	132	400	1056	362
B0	0,33	132	400	1408	-

4.DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1. Birim Ağırlık Sonuçları ve Değerlendirilmesi

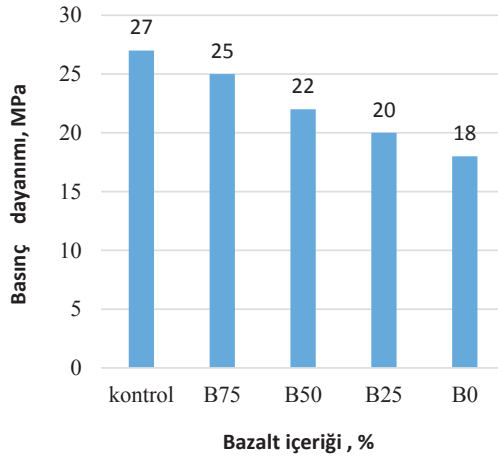
Birim ağırlık sonuçlarının geçirimli beton serilerine göre değişimi Şekil 2’de verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde agregası içerisindeki bazalt oranının azalmasıyla yani başka bir deyişle kalker agregası oranının artmasıyla birim ağırlık sonuçları da azalmıştır. Bazalt agregası özgül ağırlığının kalker özgül ağırlığından büyük olmasından dolayı bazalt agregası kullanım oranının artması ile birim ağırlıklar da doğrusala yakın bir artış eğilimi gözlenmiştir.



Şekil 2. Birim ağırlık sonuçlarının geçirimli beton serilerine göre değişimi

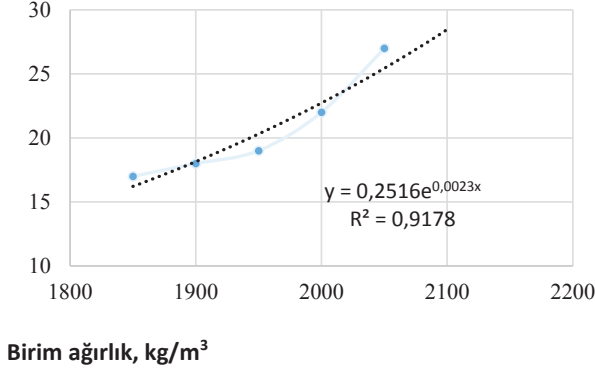
4.2. Basınç Dayanımı Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Basınç dayanımı sonuçlarının geçirimli beton serilerine göre değişimi Şekil 3’de verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde bazalt agregası kullanımı ile basınç dayanımlarında neredeyse bazalt oranına bağlı olarak değişen doğrusal bir artış söz konusudur. Kalker kullanımı ile birlikte basınç dayanımlarında yine doğrusal bir azalma meydana geldiği tespit edilmiştir. En düşük basınç dayanımı sonuçları tamamen kalker agregası ile üretilmiş numuneye aittir. Basınç dayanımındaki bu sonuçlar agregası özellikleri ve betonun birim ağırlığı ile ilgilidir. Şekil 4’ten görüleceği üzere birim ağırlığın artması ile basınç dayanımında da artışlar izlenmiştir.



Şekil 3. Basınç dayanımı sonuçlarının geçirimli beton serilerine göre değişimi

Basınç dayanımı, MPa

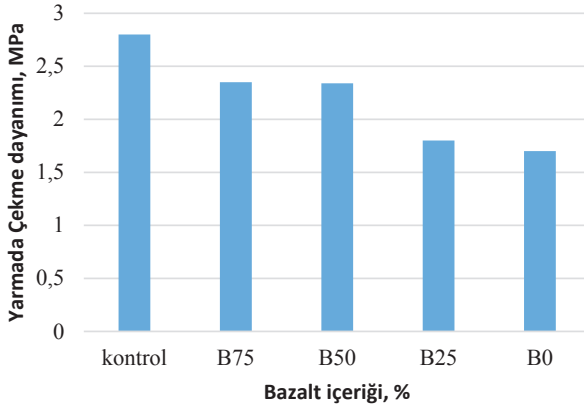


Şekil 4. Basınç dayanımı ile birim ağırlık arasındaki ilişki

Şekil 4 incelendiğinde, regresyon katsayısı değerinden de görüleceği üzere basınç dayanımı ile birim ağırlık sonuçları arasında oldukça kuvvetli bir ilişki olduğu görülecektir. Bu durum diğer deney sonuçlarından da görüleceği üzere geçirimli betonlarda birim ağırlığın birçok parametrenin belirlenmesinde en önemli faktörlerden biri olduğunu göstermektedir.

4.3. Yarmada-Çekme Dayanımı Sonuçları ve Değerlendirilmesi

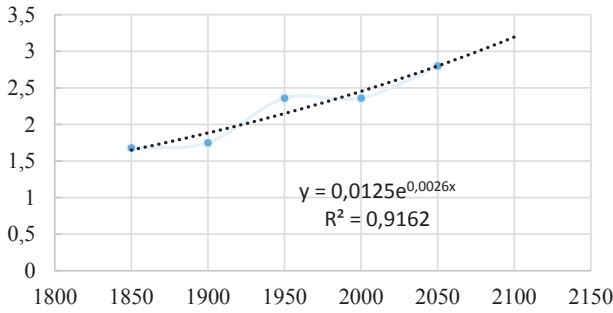
Yarmada-çekme dayanımı sonuçlarının geçirimli beton serilerine göre değişimi Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde bazalt agregası kullanım oranının artışı ile yarmada-çekme dayanımının arttığı buna karşılık kalker agregası kullanım oranının artması ile de dayanımın düştüğü görülecektir. Bu sonuç da basınç dayanımı sonuçlarında olduğu gibi birim ağırlık sonuçları ile ilgilidir, Şekil 6.



Şekil

5.Yarmada-çekme dayanımı sonuçlarının geçerimli beton serilerine göre değişimi

Yarmada çekme dayanımı, MPa

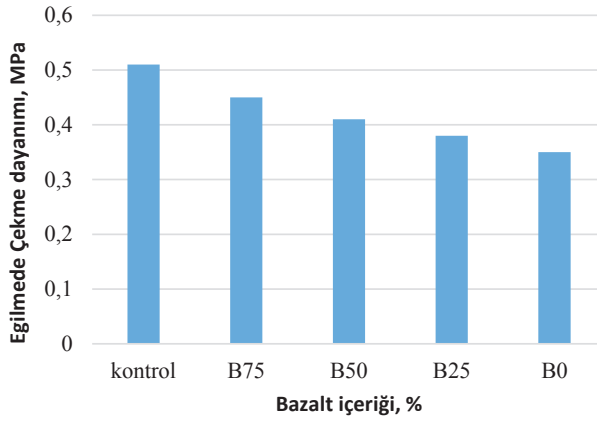


Birim ağırlık, kg/m³

Şekil 6.Yarmada çekme dayanımı ile birim ağırlık arasındaki ilişki

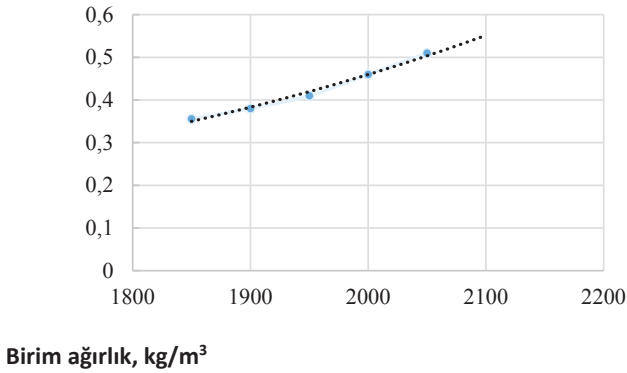
4.4. Eğilmede Çekme Dayanımı Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Şekil 7 ve 8' de verilen eğilmede çekme dayanımı sonuçları yukarıdaki deney sonuçları ile uyumludur. Yani bazalt agregası miktarının artması ya da başka bir deyişle birim ağırlığın artması ile geçerimli beton serilerinde eğilmede çekme dayanımları da doğrusala yakın bir eğilimle artmaktadır.



Şekil 7.Eğilmede çekme dayanımı sonuçlarının geçirimli beton serilerine göre değişimi

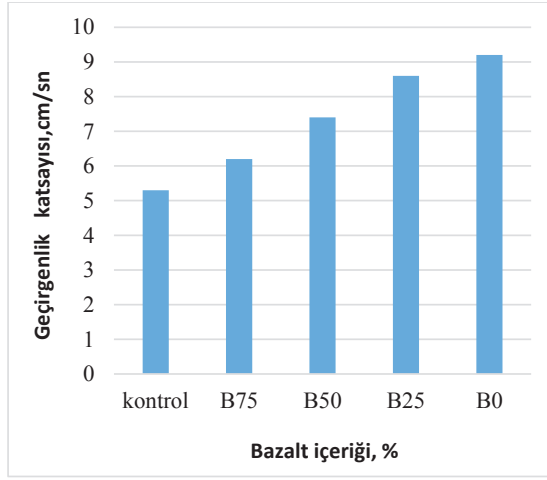
Eğilmede çekme dayanımı, MPa



Şekil 8.Eğilmede çekme dayanımı ile birim ağırlık arasındaki ilişki

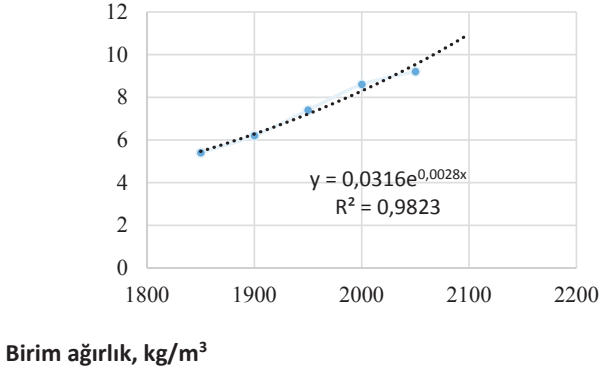
4.5. Geçirgenlik Deney Sonuçları ve değerlendirmesi

Geçirgenlik ölçümlerinde zemin mekaniği deneylerinde kullanılan *düşen su seviyesi altında geçirgenlik* yöntemi kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Geçirgenlik katsayısı sonuçları şekil 9 ve 10'daki gibidir. Şekillerden görüleceği üzere bazalt agregası ikame oranının artmasıyla yani birim ağırlık değerlerinin artması ile geçirgenlik katsayısı azalmaktadır.



Şekil 9. Geçirgenlik sonuçlarının geçirimli beton serilerine göre değişimi

Geçirgenlik katsayısı, cm/sn



Şekil 10. Geçirgenlik ile birim ağırlık arasındaki ilişki

5. SONUÇ

Geçirimli betonlar üzerinde yapılan birim ağırlık deneyleri sonucunda bazalt agregası miktarının artışı ile birlikte birim ağırlık sonuçlarının da arttığı tespit edilmiştir. Betonun dayanım sonuçları kalker agregası yerine kullanılan bazalt agregası miktarlarının artışı ile birlikte arttığını göstermektedir. Yapılan incelemelerde dayanımlarındaki bu azalmaların birim ağırlıklardaki azalmalardan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına bakıldığı zaman dayanımlar ile birim ağırlık arasında oldukça kuvvetli bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır.

Kullanılan bazalt agregası özgül ağırlığının kalker özgül ağırlığından daha yüksek olması nedeniyle elde edilen sonuçlarda bazalt agregası kullanılan betonların daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu durum betonun birçok özeliği üzerinde etkisi olan birim ağırlıkla ilgilidir. Birim ağırlığın, üretilen geçirimli betonların dayanımla ilgili özelliklerini büyük ölçüde buna karşılık geçirimliliğini ise daha küçük ölçekte olumlu etkilediği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Zaetang, Y., Wongsu, A., Sata,V.,Chindaprasirt, P., 2013, "Use of lightweight aggregates in pervious concrete", Construction and Building Materials, 48, 585–591.
- [2] Yahia, A., Kabagire,K.D., 2014, "New approach to proportion pervious concrete", Construction and Building Materials, 62, 38–46.
- [3] Kılınç, C., Akakın, T., 2012, "Farklı Agregata Tane Dağılımına Sahip Geçirimli Betonların İncelenmesi", Hazır Beton, Mart - Nisan, 79-84.
- [4] Bhutta, M.A.R., Hasanah, N., Farhayu, N., Hussin, M.W, Tahir, M., Mirza, J., 2013, "Properties of porousconcrete from waste crushed concrete (recycled aggregate)", Construction and Building Materials, 47, 1243–1248.
- [5] Boğa A.R. Geçirimli Beton Üretiminde Bazalt Agregata Kullanımının Mekanik Özelliklere Etkisi, 1-9, 2015.
- [6] Deo, O, Neithalath, N, Compressive Behavior of PerviousConcretes and a Quantification of the Influence of Random Pore Structure Features, 402-412, 2010.
- [7] Shu,X,Huang, B, Wu, H, Dong, Q, Burdette E, Performance Comparison of Laboratory and Field Produced Pervious Concrete Mixtures, 3187-3192, 2011.
- [8] Cosic, A, Korat, L, Ducman, V, Netinger, I,Influence of Aggregate Type and Size on Properties of Pervious Concrete, 69-76, 2015.
- [9] Sheth, K, Patel, M, Pervious Concrete as Environmentally Friendly Material a Rewiew, 1-6, 2015.
- [10] Kevern, J, Schaefer, V, Wang, K, Suleiman, M, Pervious Concrete Mixture Proportions for Improved Freeze-Thaw Durability, Journal of ASTM International, 5,1-12, 2008.
- [11] Neptune, A, Putman, B,Effect of Aggregate Size and Gradation on Pervious Concrete Mixtures , 107, 627-633, 2010.
- [12] Tho-in, T, Sata, V, Chindaprasirt, P, Jaturapitakkul, C, Pervious High-Calcium Fly Ash Geopolymer Concrete, 366-371, 2012.
- [13] Chen, Y, Wang, K, Wang, X, Zhou, W, Strength, Fracture, and Fatigue of Pervious Concrete, 97-104, 2013.

SIVI KÜR MALZEMELERİNİN TAZE BETONUN TEKNİK PERFORMANSINA ETKİLERİ ÜZERİNE BİR ANALİZ

Lütfullah GÜNDÜZ

Prof. Dr.

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Şevket Onur KALKAN

Arş. Gör.

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Elvan GARİP DAĞLI

Kimya Müh.

İNKA Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş. İzmir, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, standart kum ve CEM I 32.5 Portland çimentosu ile üretilen beton harçlarının yüzeyleri farklı kür malzemeleri ile kaplanmıştır ve bu harçların kür özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında özellikle parafin esaslı ve akrilik reçine esaslı sıvı kür malzemelerinin taze betonun su tutuculuk performansına olan etkileri irdelenmiştir. Beton harçların üretiminde ağırlıkça 1.65 birim kum ve 1 birim Portland çimentosu kullanılarak 0.40 su/çimento oranında örnekler elde edilmiştir. Üretilen numunelerin yüzeyleri farklı orijinli sıvı kür malzemeleri ile kaplandıktan sonra, örneklerin 72 saat boyunca belirli zaman aralıklarında ağırlık değişimleri ölçülmüş olup zamana bağlı ağırlık değişimi ve su tutuculuk karakteristiği analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, parafin esaslı kür malzemesinin numunelerin içinde su tutma karakteristiğinin daha etkin olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton kür, kür malzemesi, sıvı membran, parafin, akrilik reçine.

AN ANALYSIS ON THE EFFECTS OF LIQUID CURING MATERIALS ON THECNICAL PERFORMANCE OF FRESH CONCRETE

ABSTRACT

In this study, the surfaces of concrete slabs produced with standard sand and CEM I 32.5 Portland cement were coated with different curing materials and the curing properties of these cements were examined experimentally. In this study, the effects of paraffin based and acrylic resin based liquid curing materials on water retention performance of fresh concrete have been examined. In the production of concrete mortars, 1.65 parts by weight of sand and 1 part of Portland cement were used to obtain 0.40 water/cement samples. After the surfaces of the produced samples were coated with liquid curing materials of different origins, the weight changes were measured at specific time intervals of 72 hours and the time dependent weight change and water retention characteristics were analyzed. The results obtained showed that the paraffin-based curing material was more efficient in retaining water in the samples.

Keywords: Concrete curing, curing material, liquid membrane, paraffin, acrylic resin.

GİRİŞ

Betondaki kürlenme, uygulama alanında beton yerleştirildikten sonra veya beton ürünlerinin üretiminden sonra oluşabilecek su kaybını engellemek ve hidrasyon reaksiyonlarının uygun şekilde ve zamanda gerçekleşmesini sağlamaktır. Çimento hidrasyonu çimentonun türüne ve karışımın

diğer bileşenlerine bağlı olarak çok uzun zaman sürebilir. Taze bir betonun önceden hedeflenmiş mukavemet değerine ulaşması için hidrasyon reaksiyonunu sürdürebilmesi ve karışım bünyesinde yeterli miktarda su ve sıcaklık gerekmektedir. Uygun koşullarda sertleştirilmiş bir beton, donma-çözülme hasarına karşı daha güçlü ve daha dayanıklı bir karakteristik sergiler. Ayrıca yüzey tozlanmalarının da oluşmadığı görülebilmektedir. Yeni hazırlanmış ve taze harç formundaki bir beton yüzeye sertleştirici bir bileşim uygulanması, çimentonun düzgün bir şekilde hidrate olması için gereken suyun buharlaşması yerine, betonun bünyesinde kalmasını sağlar. Uygun koşullarda ve uygun bir içeriğe sahip kür bileşiği, beton yüzey üzerinde ince ve sürekli bir film oluşturarak, buhar halinde geçebilecek iç su miktarını büyük ölçüde azaltır (1, 2). Çoğu araştırmacı, betonun kürlenmesinin uygulanabilir ve ekonomik olan en uygun yöntemlerden bir tanesi olarak, beton yüzeyine püskürtme şekliyle tatbik edilebilen ve membran oluşturan sıvı bir kür bileşiğinin uygulanmasına dikkat çekmiştir.

Sıvı kür malzemeleri membran oluşturan likit (sıvı) halde kullanılan ve taze betonda hidrasyon işleminin devamı için nem ihtiyacı sebebiyle, sertleşmiş betonda çatlama, çekme ve aşınma mukavemet değerlerinde ve dayanıklılığında azalma olmaması için taze beton yüzeyine püskürtme veya fırça ile tatbik edilen kimyasal etkili malzemelerdir. Bu malzemeler, son mala işlemi biter bitmez bitmiş beton üzerine püskürtülür (3). Uygun bir sıvı kür malzemesi, bir beton karışımındaki orijinal nem içeriğini %85'in üzerinde muhafaza edebilmektedir. Ayrıca ekonomik ve uygulanması kolaydır. Günümüzde özellikle geniş yüzeyli beton uygulamalarında, farklı atmosfer ortam koşulları sebebiyle de taze betonda hızlı su kaybetme problemleri yaşanmakta ve buna bağlı olarak da taze beton sertleşmesinde arzu edilen düzeylerde teknik performanslar sağlanamayabilmektedir.

Bu amaçla, güncel olarak geliştirilen ve sektörel kullanımlarda giderek yaygınlaştığı görülebilen farklı kimyasal yapılarıdaki sıvı kür malzemeleri, taze beton yüzeylerinde tatbik edildikten sonra, ince bir film tabakası (membran) oluşturarak beton suyunun kaybolmasını engelleyerek, beton performansına sertleşme sürecinde olumlu katkılar sağlamaktadırlar. Ancak, bu performans, sıvı kür malzemesinin maddesel içeriğine, uygulama koşuluna ve beton yüzeyine etki derecesine vb. gibi teknik parametrelere bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu çalışma kapsamında parafin esaslı ve akrilik reçine esaslı iki farklı sıvı kür malzemesinin teknik performansları üzerine yapılan bir ArGe çalışmasının bulguları tartışılmaktadır.

AMAÇ

TS 10966 (4) standardında öngörülen prensipleri sağlayabilen farklı maddesel bileşenli sıvı kür malzemelerinin taze beton ve/veya harçların yüzeyinde uygulandığında, çimentonun hidratasyon sürecinde karışım suyu kaybını önleyerek sağladığı teknik avantajları detaylı irdelemek amacıyla bir ArGe projesi sürdürülmüştür. Bu çalışma kapsamında özellikle parafin esaslı ve akrilik reçine esaslı sıvı kür malzemelerinin taze betonun su tutuculuk performansına olan etkilerini irdelemek amacıyla TS 10966 ve ASTM C309 (5) standartlarında belirtilen bir dizi deneysel analizler yapılmıştır. Taze betonu oluşturan beton kompozisyonundaki agrega boyutu, gözenekliliği, ince madde oranı gibi fiziksel faktörlerin, sıvı kür malzemesinin performansına olan etkileri üzerine de vurgular yapılmıştır. Ayrıca, parafin esaslı ve akrilik reçine esaslı membran oluşturan sıvı kür malzemelerinin su tutma karakteristiği arasındaki kombinasyonel farklılıklar da tartışılmaktadır.

Beton Yüzeyine Uygulanan Sıvı Kür Malzemeleri

Beton yüzeyine uygulanan membran oluşturan sıvı kür malzemeleri genellikle mumlardan, doğal ve sentetik reçinelerden ve atmosferik sıcaklıklarda yüksek uçuculukta çözücülerden ve suyun beton yüzeyden buharlaşmasını geciktiren diğer malzemelerden oluşur. Sıvı kür malzemeleri beton yüzeylerde kolay kullanımları ve uygulamadan sonra ilave bir işçilik ve işlem gerektirmemeleri gibi sebeplerle özellikle geniş yüzeyli beton uygulamalarında sıklıkta tercih edilen bir kürleme işlemi olarak da görülebilmektedir (2). Bu tür bileşikler, taze beton yüzey üzerine uygulandıktan kısa bir süre sonra nem tutucu bir film oluşturur. Isı yansıtma sağlamak ve bileşiği muayene amaçlı yapısında görünür kılmak için bileşik içerisine beyaz veya gri renkli pigmentler ilave edilebilir. TS 10966 ve ASTM C309 standartları irdelendiğinde sıvı kür malzemelerinin *“tatbik şekline göre doğrudan doğruya tatbik edilen (SINIF A)”* ve *“bir işleme tabi tutularak tatbik edilen (SINIF B)”* olmak üzere iki sınıfa ayrıldığı görülmektedir. Sınıf A kür maddeleri boyalı olup olmadığına göre; Tip 1 (Boyasız, şeffaf veya yarı şeffaf), Tip 1-D (Solan boyalı, şeffaf veya yarı şeffaf), Tip 2 (Beyaz) olmak üzere üç tipe ayrılmaktadır. Sınıf B kür maddeleri de bileşen sayısına göre; Tek bileşenli (T) ve İki bileşenli (İ) olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Günümüzdeki sektörel beton uygulamalarında genelde görülen sıvı kür malzemeleri:

- Parafin Emülsiyon Esaslı Kür Malzemeleri,
- Akrilik Dispersiyon Esaslı Kür Malzemeleri,
- Hidrokarbon Reçine Esaslı Kür Malzemeleri,
- Akrilik Reçine Esaslı Kür Malzemeleri,
- Silikat Esaslı Kür Malzemeleridir.

Parafin emülsiyon esaslı kür malzemeleri, genellikle kürlenme safhasında taze betonun su kaybını önleyen, rötre oluşmasını engelleyen ve betonun durabilitesini artıran, kullanıma hazır, parafinin uygun bir emülgatörle su içinde dağıtılmış versiyonu olup, su esaslı olduğu için kapalı mekânlarda kullanılabilir. *Akrilik dispersiyon esaslı kür malzemelerinde* ise, bileşiğin içindeki suyun buharlaşması (kuruması) ile beton yüzeyinde akrilik bir film tabakası oluşur. Bir sonraki uygulamanın aderansını olumsuz etkilemesi beklenmez. Su esaslı olması nedeniyle kapalı alanlarda kullanımı daha ideal olarak görülmektedir. *Hidrokarbon reçine esaslılarda* ise, uygun solventlerde çözünebilen termoplastik reçineler kullanılmaktadır. Solventin buharlaşması sonucu kırılğan ve zayıf bir film oluşur. Bu film, mekanik etkiler ve UV ışığı altında kısa sürede yüzeyden kalkar (3). *Akrilik reçine esaslı* malzeme türevleri ise, taze betonun su kaynını önleyen, reçine esaslı kullanıma hazır bir sıvı kür malzemeleridir. Bu malzemeler, taze beton yüzeyine yüzeyin suyunu kaybedip matlaşmasını takiben püskürtülerek uygulanır ve ince bir tabaka oluştururlar. Bu tabaka betona nüfuz ederek yüzey tozumasını engelleyen, aşınmaya karşı direnç sağlayan ve su geçirmez bir yüzey özelliği kazandırır. Diğer taraftan, *Silikat esaslı kür malzemeleri* ise, silikat çözeltileri şeklinde uygulanan kür etkinliği zayıf olmakla birlikte, tozumayı engelleme özelliği ile kür maddesi olarak kullanılabilir. Uygun şekilde kullanıldığında betonun dayanıklılığını artırabilecek çok yararlı malzemelerdir. Her şeyden önce, silikat çözeltileri beton üzerinde nüfuz eden malzemelerdir. Düzgün çalışabilmesi için, silikatların betonun gözenekleri içinde sert, camsı bir madde (kalsiyum silikat) oluşturmak için beton yüzeyin içine emilmesi gerekir. Taze betonlara uygulandığında, yüzey gözenek yapısı su ile doldurulduğunda, silikatlar düzgün şekilde nüfuz etmeyecek ve kimyasal olarak istenildiği gibi reaksiyona girmeyeceklerdir. Ancak, kuru ve emici iyi kürlenmiş betonlara uygulandığında, silikat solüsyonları, tozlanmayı azaltır ve beton yüzeyin yoğunluğunu artırır. Ayrıca, geçirimsiz ve yumuşak yüzeyleri olan

yanlış yerleştirilmiş veya bitirilmiş beton döşeme plakaları, tozlu yüzeyi bağlamak ve yoğunlaştırmak için bir silikat veya silikofluorid çözeltisi uygulayarak iyileştirilebilir. Ancak bu farklı kimyasal yapıdaki kür malzemelerinin betondaki etkinliği, oluşan filmin kalitesine, kalınlığına ve uygulanmış yüzeydeki homojenliğine bağlıdır. Yüzeyine kür malzemesi uygulanmamış beton yollarda yüzey özellikleri ile iç tabakaların özelliklerinin birbirinden farklı olduğu, ancak kür malzemesi uygulanmış betonlarda iç ve dış özelliklerin uniformluk gösterdiği belirtilmiştir (6). Kür malzemeleri kimyasal yapılarına bağlı olarak beton yüzeyine yapılacak kaplamaların aderansını olumsuz etkileyebilirler. Bu nedenle bu tür aderansı olumsuz etkileyen kür malzemelerinin kaplama yapılmadan önce yüzeyden uzaklaştırılması gerekir (3).

Sıvı Kür Malzemelerinin Performansı – Deneysel Analiz

Beton yüzeyinde membran oluşturan sıvı kür malzemelerinin taze betonun teknik performansına etkisini incelemek amacıyla, bu çalışmada özellikle parafin esaslı ve akrilik reçine esaslı iki farklı kür malzemesinin teknik analizleri irdelenmiştir. Çalışmada kullanılan sıvı kür malzemelerinin teknik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Sıvı kür malzemelerinin teknik özellikleri.

Özellik	Parafin Esaslı	Akrilik Reçine Esaslı
	Sıvı Kür Malzemesi	Sıvı Kür Malzemesi
Görünüm	Süt Beyaz	Beyaz
Yoğunluk (20°C)	0.95±0.02 kg/lt	1.03±0.02 kg/lt
pH	6.0 – 8.0	6.0 – 9.0
Kullanım Oranı	0.150-0.250 kg/m ²	0.150-0.250 kg/m ²
Kuruma Süresi	< 4 saat (200 gr/m ²)	23°C’de 90 dk. (200 gr/m ²)
	< 4 saat (250 gr/m ²)	23°C’de 115 dk.(250 gr/m ²)

Sıvı kür malzemelerinin tüm teknik incelemeleri TS 10966 standardında ve ASTM C309’da öngörülen prensiplere göre yapılmıştır. Bu standarda göre yapılan incelemelerde sıvı kür malzemeleri için aşağıda tanımlanan parametreler analiz edilmiştir:

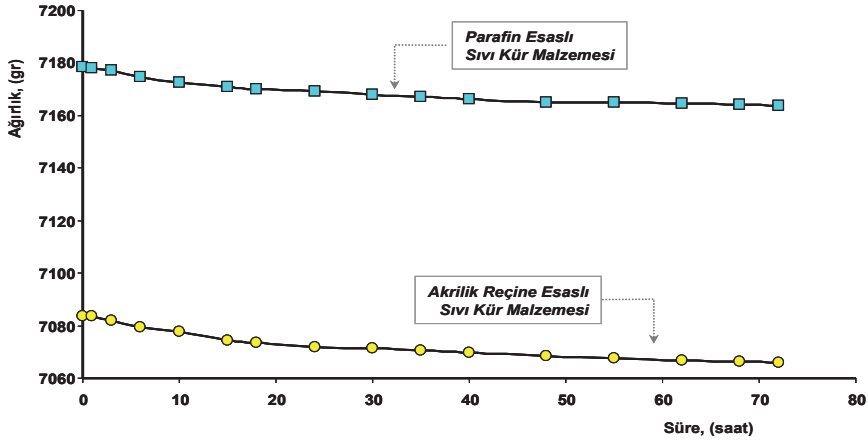
- * Görünüş özelliği,
- * Uygulama özelliği,
- * Çökme özelliği,
- * Betonla kimyasal reaksiyona girme özelliği,
- * Parlama noktası özelliği,
- * Su tutuculuk özelliği,
- * Kuruma süresi özelliği.

Parafin esaslı ve akrilik reçine esaslı sıvı kür malzemeleri görünüş özelliği olarak toksik maddeler değildir. Sıvı kür malzemeleri, oluşturduğu film tabakası sayesinde betonun içindeki nemi tutarak, çimentonun hidratasyonunu sağlar. Çuval, telis ve sulama gibi kür yöntemlerine göre daha etkin ve ekonomik koşullar gösterir. Daha sert ve tozumsuz bir yüzey sağlamanın yanı sıra, hızlı kurumunun neden olduğu yüzey üzerindeki rötre çatlaklarını azaltır. İç mekân uygulamalarına da elverişlidir. Bu malzemeler, kullanıma hazır bir formda ve kullanımdan sonra değişmeyecek şekilde ince öğütülmüş pigment ve madde sisteminden oluşturulmuştur. Uygulama sürecinde, kekleşme, kalınlaşma ve sert çökme oluşturamayacak bir kıvamda formlandırılmıştır. Ayrıca, uygulama özelliği olarak kür maddeleri, +4°C’ın üzerinde püskürtme, fırça ve/veya rulo gibi uygulama metotlarına uygun bir kıvamda formlandırılmıştır. Her iki kür malzemesinin, uygulandığı yüzeye yüksek bir aderans ile yapıştığı ve sürekli bir film tabakası oluşturduğu gözlenmiştir. Uygulamada her iki malzeme türevi iç bileşenlerinin tane boyutu ve karıştırmadaki homojenliği sebebiyle herhangi bir çökme olgusu da gözlenmemiştir. Kür malzemelerinin beton yüzeyine uygulamasından 72 saat sonra bir tornavida ile çizildiğinde ayrı ayrı her iki malzemenin de yüzeylerinde belirgin bir yumuşaklık gözlenmemiş olup, sert bir tabaka oluştuğu görülmüştür. Bu olgu sembolik olarak betonla kimyasal reaksiyona girme özelliği olarak da nitelendirilebilmektedir. Diğer taraftan, her iki türev kür malzemelerinin 10°C altında parlayıcılık özelliği göstermediği belirlenmiştir. Çizelge 1’de de görüldüğü gibi her iki kür malzemesinin kuruma süreleri, TS 10966 standardının öngördüğü 4 saatlik süresinin altında olduğu belirlenmiştir. Sıvı kür malzemelerinin performansını tanımlamak için etüt edilecek parametreler arasında en önemli özelliği “*Su Tutuculuk Özelliği*”dir (7, 8). Kür malzemelerinin su tutuculuk özelliği TS 10967 (8) standardında öngörülen prensiplere göre deneysel olarak yapılmış olup, karakteristik değişimler aşağıda detaylı tartışılmıştır. Sıvı kür malzemelerinin performansını analiz etmek amacıyla harç numunelerinin hazırlanmasında dikdörtgen şekilli yaklaşık 150x300 mm üst, 145x295 mm alt ebadında, 50 mm derinlikte, üst kenarları düzgün ve yaklaşık 6 mm kalınlığında sert plastikten yapılmış kalıplar kullanılmıştır. Harç karışımlarında TS 819’a uygun standart kum ile CEM I 32.5 çimento kullanılmıştır. Harç örnek karışımlarında ağırlıkça 1.65 birim kum ve 1 birim Portland çimentosu

kullanılarak 0.40 su/çimento oranında hazırlanan harç karışımları kalıplara yerleştirilmiştir. Harç karışımlarının tamamında akma yüzdesi $\%35 \pm 5$ olup, harç örnekleri ortalama sıcaklığı $37 \pm 1.1^\circ\text{C}$ ve rutubet oranı ortalama $\%32 \pm 2$ olan bir kür dolabında bekletilmiştir. Kür dolabında bekletilen ve kalıplara dolumu yapılan harç örneklerinin yüzeyindeki suyun kaybolmasından hemen sonra, numuneler dolaptan çıkarılmış ve beton yüzeyleri zedelenmeyecek şekilde fırçalanmıştır. Uygulamaya hazır hale getirilmiş test örneklerinin yüzeyine her iki kür malzemesi (parafin ve akrilik reçine esaslı) 250 gr/m^2 eşit kullanım oranlarında rulo ile uygulanarak yüzey kaplanması yapılmıştır. Her bir kür malzemesi ile 10'ar adet test örneği hazırlanmış olup toplam 20 adet test örneği analiz edilmiştir. Kür dolabında tutulan her bir test örneğinin 72 saat boyunca belirli zaman aralıklarında ağırlık değişimleri ölçülmüş olup zamana bağlı ağırlık değişimi ve su tutuculuk karakteristiği analiz edilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçları Çizelge 2'de özetle verilmiştir. Sıvı kür malzemeleri, harç örneklerinin beton yüzeyine uygulandıktan sonra genellikle 50 μm ve üzerinde bir kalınlıkta koruyucu bir film tabakası oluşturarak, harç kütlesi içerisinde bulunan karışım suyunun buharlaşmasını önemli ölçüde önler. Ancak, bu su kaybını önleme derecesi film tabakasını oluşturan sıvı kür malzemesinin iç bileşenlerine bağlı olarak değişim gösterdiği kadar, harcı oluşturan malzemelerin türevine ve harç örneği yüzey özelliklerine göre de değişim gösterir. Kalın film tabakalarının su kaybını önleme performansları önemli bir etmendir. Bununla birlikte, harç örnek yüzeyinin gözenekli bir yapısal özellik sergilemesi veya su emiciliği yüksek agrega türevleri içermesi ya da harç kombinasyonunda ince madde oranının belirli orandan daha yüksek miktarlarda yer alması gibi sebepler, genellikle sıvı kür malzemesinin uygulamada tüketimini artıran ve eşdeğer bir kalınlıkta oluşan membran, düz ve su emiciliği düşük harç kombinasyonlarına göre daha düşük performans göstermesine olanak sağlamaktadır. Sektörel uygulamalarda genelde karışım suyunun en az $\%85$ 'inin muhafaza edilmesi arzu edilmektedir. Uygun şartlarda kürlenmesi yapılan bir harç örneğinde ortalama 72 saatlik bir süre sonunda minimum bu değere ulaşılması öngörülebilmektedir. Bu bağlamda, parafin esaslı ve akrilik reçine esaslı kür malzemelerinin uygulanmış olduğu harç örneklerinin zamana bağlı ağırlık değişimleri Şekil 1'de gösterilmiştir.

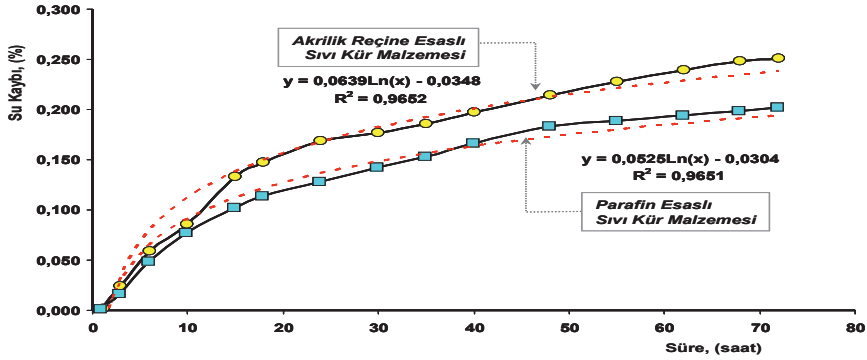
Çizelge 2. Sıvı kür malzemelerinin su tutuculuk analiz değerleri.

Süre (saat)	Parafin Esaslı			Akrilik Reçine Esaslı		
	Sıvı Kür Malzemesi			Sıvı Kür Malzemesi		
	Ağırlık Değişimi (%)	Su Kaybı (kg/m ²)	Su Tutma Etkinliği (%)	Ağırlık Değişimi (%)	Su Kaybı (kg/m ²)	Su Tutma Etkinliği (%)
0	0.000	0.000	85.8	0.000	0.000	55.3
1	0.001	0.002	88.4	0.002	0.003	60.4
3	0.016	0.028	91.3	0.024	0.042	69.7
6	0.048	0.085	95.3	0.059	0.103	76.6
10	0.077	0.136	97.8	0.086	0.150	79.4
15	0.102	0.180	98.3	0.133	0.232	83.3
18	0.113	0.200	98.7	0.147	0.256	88.7
24	0.128	0.226	99.1	0.169	0.295	92.5
30	0.142	0.251	99.4	0.177	0.309	96.6
35	0.153	0.271	99.3	0.186	0.325	96.5
40	0.166	0.293	99.1	0.197	0.344	96.4
48	0.183	0.324	98.8	0.214	0.373	96.3
55	0.188	0.332	98.6	0.228	0.398	96.2
62	0.194	0.343	98.5	0.239	0.417	96.0
68	0.198	0.350	98.4	0.248	0.433	95.8
72	0.202	0.357	98.3	0.251	0.438	95.4



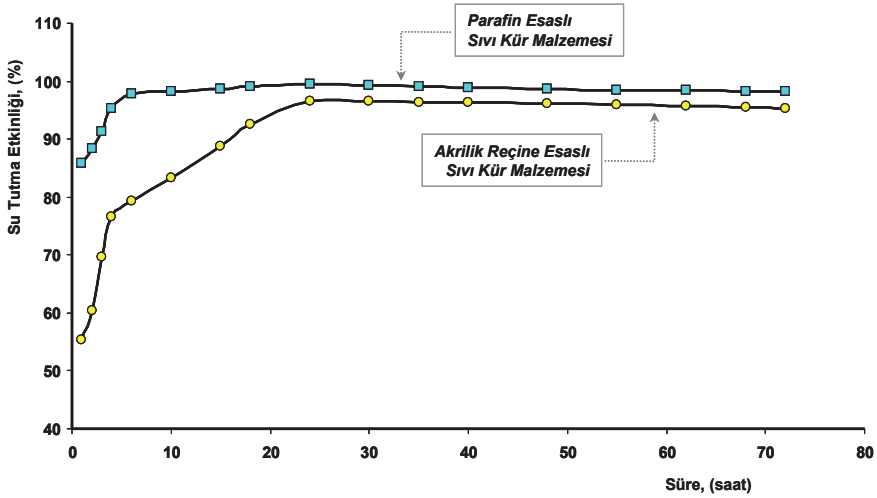
Şekil 1. Harç örneklerinin zamana bağlı ağırlık değişimi.

Şekil 1'den de görüldüğü üzere, test örneklerinin ağırlık değişimi parafin esaslı kür malzeme uygulaması ile daha düşük mertebelerde olduğu gözlenmektedir. Diğer bir değişle test örneklerinin karışım suyu kaybı miktarı daha düşük olup, bünyede daha uzun süre tutulabilmektedir. Bu da harç kombinasyonunda daha iyi bir priz alma olgusunu gündeme getirmektedir. Bu değerlendirmenin daha anlamlı bir gösterimi olarak, kürlenme sürecinde numuneden kaybolan suyun yüzdesel değerinin grafiksel analiz olarak irdelemesidir. Parafin ve akrilik reçine esaslı kür malzemelerinin bu bağlamda test örneklerinde elde edilen değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu analizden de açıkça görüldüğü gibi, akrilik reçine esaslı kür malzeme uygulamasının su kaybı oranının daha fazla olduğu görülebilmektedir.



Şekil 2. Harç örneklerinin zamana bağlı su kaybı değişimi.

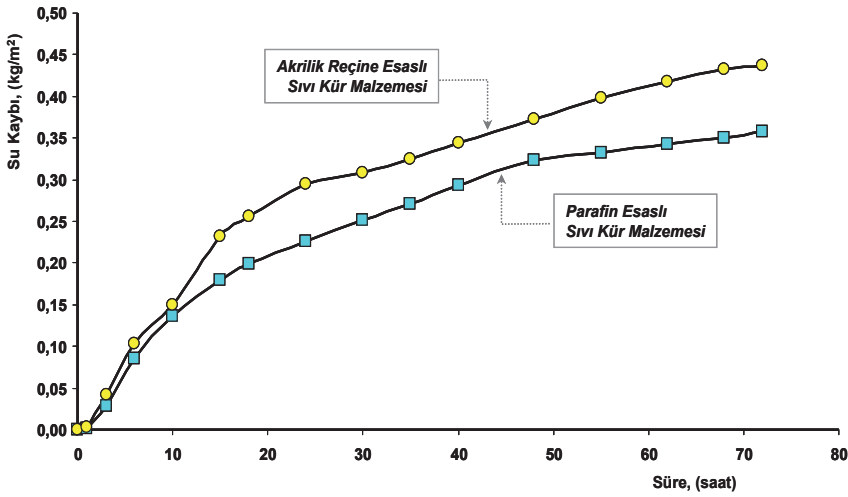
Sıvı kür malzemelerinin su kaybını önleme sistematığını ve performansını analiz etmek üzere literatürde farklı yaklaşımlar da gözlemlenmektedir. Örneğin, Özer B. ve arkadaşları (3) farklı kimyasal yapıdaki kür malzemelerinin su kaybını önleme ve yapışma davranışlarının incelenmesi konusunda yapmış oldukları bir incelemede kür malzemesinin su kaybını önleme etkinliği parametre tanımlı yapmış olup, farklı kür malzemelerinin performansını bu parametre değerine göre karşılaştırmışlardır. Bu yaklaşıma göre; kür malzemelerinin su kaybını önleme etkinlikleri, üzerlerine uygulandıkları harçların ağırlık kayıpları (M_K), kür malzemesi uygulanmamış referans numunede meydana gelen ağırlık kaybına (M_R) kıyaslanarak yüzde değer olarak $[(M_R - M_K)/M_R] * 100$ formülüne göre belirlenmesi öngörülmüştür (3). Parafin ve akrilik reçine esaslı kür malzemelerinin su kaybını önleme etkinlik değerleri, benzer yaklaşımla detaylı irdelenmiş olup, elde edilen parametrik bulgular süreye bağlı olarak değişim eğilimleri ölçeğinde Çizelge 2’de verilmiştir. Bu irdelenmenin grafiksel analizi ise Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Harç örneklerinin zamana bağlı su tutma etkinliği ilişkisi.

Parafin esaslı kür malzemesinin su tutma etkinliğinin akrilik reçine bazlı kür malzemesine göre daha yüksek bir değerde olduğu görülmektedir. Her iki kür malzeme türevinde, ilk uygulamadan itibaren yaklaşık 24 saatlik zaman dilimine kadar etkinlik değerlerinde bir artış olduğu, bu zaman diliminden

sonra kısmi de olsa en son ulaşılmış olan etkinlik değerinden minimal bir düşme sergiledikleri gözlenmektedir. Bu analiz aynı zamanda zamana bağlı kür malzemesinin ortalama su muhafaza edebilme yeteneğinin de bir göstergesi olarak ele alınabilmektedir. Bu bağlamda, genellikle 72 saat sonunda malzemenin harçtaki karışım suyunu muhafaza etme yeteneği, malzemeler arası bir karşılaştırma kriteri olarak da kullanılabilir. Buna göre parafin esaslı kür malzemesinin 72 saat sonu su tutma etkinliği ortalama %98.2 iken bu değer, akrilik reçine bazlı kür malzemesi için ortalama %95.2 olarak elde edilmiştir. Buradan da görülmektedir ki, 24 saatlik periyot sonrası iki kür malzemesi arasındaki etkinlik farkı yaklaşık %3 seviyesindedir. Bu da, malzemelerin harç üzerinde oluşturdıkları film özelliğinin bir fonksiyonu olarak değişim göstermesine bağlıdır. Diğer bir yaklaşımla, kür malzemelerinin su tutma özelliği açısından performans değerlendirmesi TS 10966 ve ASTM C309’da öngörülüşü üzere kür malzemesinin birim uygulama yüzeyindeki su kaybı, 72 saatte kütle kaybı cinsinden 0.55 kg/m^2 ’den daha fazla olmamalıdır. Buna göre test örnekleri irdelendiğinde ise elde edilen parametrik bulgular süreye bağlı olarak değişim eğilimleri ölçeğinde Çizelge 2’de verilmiştir. Bu irdellemenin grafiksel analizi ise Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Harç örneklerinin zamana bağlı su tutma etkinliği ilişkisi.

Bu analizden de görüldüğü üzere, her iki tür kür malzemesinin zamana bağlı değişiminde birim yüzeyde su kaybı miktarı logaritmik bir yaklaşımla değişim göstermektedir. 72 saatte parafin esaslı kür malzemesinin birim yüzeyde su kaybı ortalama 0.357 kg/m^2 iken bu değer, akrilik reçine bazlı kür malzemesi için ortalama 0.438 kg/m^2 olarak elde edilmiştir. Yukarıda değinilen diğer analizlerde elde edilen değerlere paralel olarak, parafin esaslı kür malzemesinin su kaybı karakteristiği daha düşük olduğu görülebilmektedir.

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında parafin esaslı ve akrilik reçine esaslı iki farklı sıvı kür malzemelerinin performansları incelenmiştir. Bu bağlamda analiz edilen beton numunelerinde sıvı kür malzemelerinin harç kütlesi içerisinde bulunan karışım suyunun buharlaşmasını önemli ölçüde önledikleri görülmüştür. Test örneklerinin karışım suyu kaybı miktarı parafin esaslı kür malzeme uygulaması ile daha düşük olup, bünyede daha uzun süre karışım suyunu tutulabilmektedir. Diğer bir değişle, parafin esaslı kür malzemesinin su tutma etkinliğinin akrilik reçine bazlı kür malzemesine göre daha yüksek bir değerde olduğu görülmüştür. Ayrıca, TS 10966 ve ASTM C309’da öngörülüşü üzere kür malzemesinin birim uygulama yüzeyindeki su kaybı, 72 saatte kütle kaybı cinsinden 0.55 kg/m^2 ’den daha fazla olmamalıdır. 72 saatte parafin esaslı kür malzemesinin birim yüzeyde su kaybı ortalama 0.357 kg/m^2 iken bu değer, akrilik reçine bazlı kür malzemesi için ortalama 0.438 kg/m^2 olarak elde edilmiştir. Bu da göstermektedir ki, her iki uygulama da standartların öngördüğü değerleri sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

1. Whiting N.M., Snyder M.B., "A Study of the Effectiveness of Portland Cement Concrete Curing Compounds)", 2003, http://mnconcretecouncil.org/2003meetings/03-Nancy%20paper_MCC.pdf
2. Wang, K. ve diğ., "Beton Yol Kür Kimyasallarının Etkinliğinin İncelenmesi", 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyum ve Sergisi, Bildiriler Kitabı, 2007, s333-356.
3. Özer B., Parlak N., Sağlam A.R., Özkul M.H., "Farklı Kimyasal Yapıdaki Kür Malzemelerinin Su Kaybını Önleme ve Yapışma Davranışlarının İncelenmesi", 2017, <http://imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3134.pdf>, s43-54.
4. Türk Standartları, Sıvı Kür Malzemeleri Membran Oluşturan, Beton Yüzeyine Uygulanan (TS 10966), 6 sayfa, Ankara.
5. ASTM C 309-06, Standard Specification for Liquid Membrane-Forming Compounds for Curing Concrete.
6. Wang, K.J. ve diğ., "Evaluation of pavement curing effectiveness and curing effects on concrete properties", J. Materials in Civil Eng., Vol. 18, No.3, 2006, pp. 377-389.
7. ASTM C 156-05, Standard Test Method for Water Retention by Liquid-Membrane Forming Curing Compounds for Concrete
8. Türk Standartları, Beton Deneyleri-Beton Yüzeyine Uygulanan Kür Maddesi-Su Tutuculuk Özelliği Tayini (TS 10967), 7 sayfa, Ankara.

DESIGN AND PRODUCTION OF SELF-COMPACTING CONCRETE BY USING INDUSTRIAL WASTES OF MUĞLA

Hüseyin, KARACA

MSc. Student
Muğla Sıtkı Koçman University
Muğla, TURKEY

Olkan İlder, TAŞ

MSc. Student
Muğla Sıtkı Koçman University
Muğla, TURKEY

Süleyman Bahadır, KESKİN

Assist. Prof. Dr.
Muğla Sıtkı Koçman University
Muğla, TURKEY

Özlem, KASAP KESKİN

Assist. Prof. Dr.
Muğla Sıtkı Koçman University
Muğla, TURKEY

ABSTRACT

The waste materials that emerge with industrial production threaten the environment and human health seriously. Therefore, recycling of these materials is a very important issue for the sustainability point of view. Quartz quarries, marble industry and thermal power plants which are the three major economical sources around Muğla region produce significant amount of wastes. In this study, utilization of quartz quarry waste, waste marble and fly ash obtained from this region in the production of self-compacting concrete (SCC) was investigated. A satisfactory SCC should possess three fundamental properties namely filling ability, passing ability and segregation resistance at plastic stage. These critical properties of fresh SCC mixtures were evaluated by slump flow, V-funnel, V-funnel T_{5min} and U box. In addition, compressive strength at 7 and 28 days were also determined. The optimum properties were obtained in the mixture which includes fly ash and waste marble together.

Keywords: Waste marble, Quartz quarry waste, Environmental pollution, Waste disposal, Self-compacting concrete.

1. INTRODUCTION

Self-compacting concrete (SCC) is a type of high-performance concrete which is able to flow under its own weight and completely fill the formwork, even in the presence of dense reinforcement, without the need of any mechanical vibration[1]. SCC minimizes the requirement for quality workmanship and provides economy, improves durability, provides greater freedom in design and production[2]. It is preferred in the presence of confined reinforcement, in structural repair and retrofit projects and in cases where mechanical vibration is not possible[3]. With ease of application and lower labor cost it has become more popular during the last decades due to emerging problems caused by using conventional concrete in-situ applications[4].

Portland cement, limited amount of coarse aggregate, high amounts of powder materials and HRWR are the basic ingredients of SCC. Portland cement, blast furnace slag, fly ash and materials crushed to less than 125 mm are used to obtain high powder content in SCC design to enable adequate deformability [5]. Using high amount of cement is an undesirable situation in designing and producing SCC because of its costly and non-eco-friendly nature [6]. Therefore, replacement of mineral additives with cement is a very effective method[7,8]. Among all concrete types, the most proper waste powder utilization can be done by producing SCC because of its high powder requirement in design.

While marble has great areas of usage, especially for architectural decoration, 40% of total marble deposit on earth is located in Turkey [8]. Nonetheless, around 25% of the mined marble turns into waste during cutting and processing and annually 511.000 tons of marble is stocked as waste material throughout the country [9,10]. This high range waste production of marble is very threatening for environment and ecological balance. Quartz is another precious mineral that has found wide industrial usage. However, quartz quarry waste not only threatens the ecology and environment but also has significant negative effects on human health as it causes some serious diseases like scleroderma and glomerulonephritis [11]. Fly ash is also a commonly produced waste material in Muğla region due to three thermal power plants namely Yatağan, Yeniköy and Kemerköy located in Yatağan and Milas. Fly ash is collected from the electrostatic filters before the flue gas is exhausted as a result of coal combustion to generate electricity in thermal power plants [12]. The fly ash used in this study is obtained from Yatağan thermal power plant which annually produce approximately 1.2 million tons fly ash [13].

It is reported that replacement of fly ash with cement up to 50% has beneficial effect on workability properties of SCC [14]. Baboo et.al [15] also stated that increasing waste marble in SCC mixture has beneficial effect on workability properties. However, there is no investigation about using quartz

quarry wastes in SCC mixtures as fine aggregate or powder material. Therefore, in order to dispose waste marble, fly ash and quartz quarry waste, using them as filler in concrete is highly desirable to prevent environmental pollution and to protect human health.

2. AIM OF THE STUDY

The aim of this study is to obtain eco-friendly self-compacting concrete by using waste materials as much as possible obtained from Muğla region. In this research, effects of replacement of waste marble and quartz quarry waste as filler with fine aggregate and also replacement of fly ash as binder with portland cement on workability properties and compressive strengths at ages of 7 and 28 days were investigated.

3. EXPERIMENTAL STUDY

3.1. Materials

In concrete design CEM I 42.5 R type ordinary portland cement, according to European Standard EN197-1, was used. In order to control workability polycarboxylic-ether based high range water reducing admixture (HRWR), according to TS EN 934-2 and ASTM C 494 type F, was used. Quartz quarry wastes and waste marbles were obtained from mining companies in the Muğla region and fly ash was provided by Yatağan thermal power plant. Two types of crushed limestone aggregates (CLA) were also supplied from the region and used as coarse aggregate with a maximum aggregate size of 19 mm and fine aggregates in the mixtures. Particle size distributions, obtained by laser diffraction technique, of the all powdered materials which were used in the mixtures are shown in Fig.1. Chemical compositions of the all powdered materials are also given in Table 1.

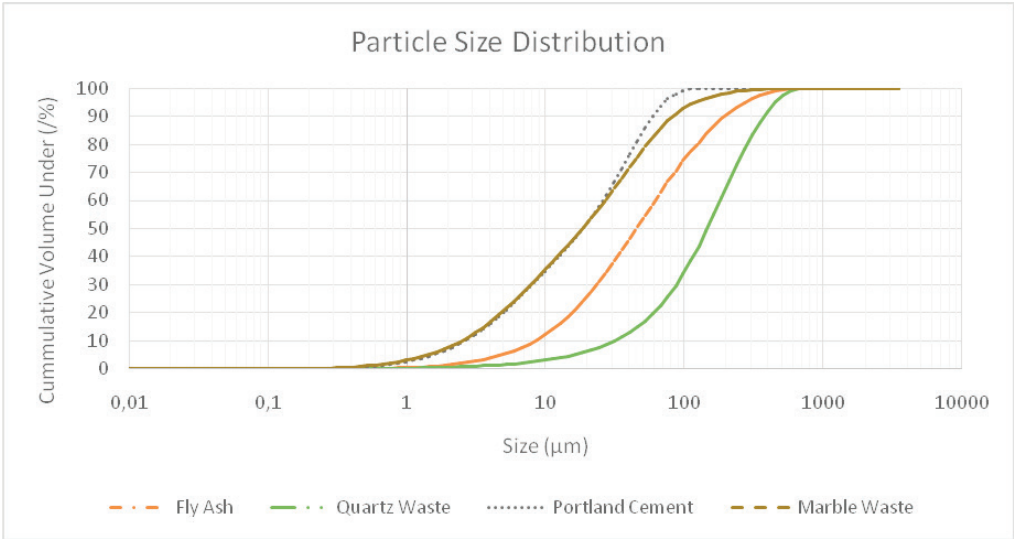


Fig.1 Particle size distributions of fly ash, quartz quarry waste, portland cement and waste marble

Table 1.Chemical compositions of portland cement, fly ash, waste marble and quartz quarry waste

Chemical Analysis	Portland Cement(%)	Fly Ash(%)	Waste Marble (%)	Quartz Quarry Waste(%)
SiO ₂	18.69	50.04	0.02	91.98
Al ₂ O ₃	4.74	22.85	38.00(ppm)	4.94
Fe ₂ O ₃	3.37	8.02	1.40(ppm)	0.08
CaO	61.87	11.21	55.56	0.12
MgO	3.36	2.23	0.26	0.02
Na ₂ O	0.19	0.27	0.30	2.77
K ₂ O	0.63	2.50	0.04	0.04
SO ₃	2.93	0.78	0.34(ppm)	-
Loss on ignition	3.62	7.22	-	-

3.2. Mixture Proportions and Test Methods

In the production of SCC total water-binder ratios (w/cm) were kept constant at 0.36 as can be seen in Table 3. For each mixture, optimum amount of HRWR was determined inthe range of 0.5% to 0.8%, by mass of total binder to provide a minimum slump flow value of 650 mm. All of the mixture

proportions are given in Table 2. In control mixture only PC is incorporated as binding material. In the following three mixtures namely F1, F2 and F3, 30%, 40% and 50% of PC was replaced with FA by mass, respectively. In two mixtures which are M1 and M2, 15% and 20% of fine aggregate was replaced with waste marble by volume, respectively. In MF1 and MF2 mixtures, 40% PC in M1 and M2 mixtures was replaced with fly ash by mass, respectively. In Q mixture, only quartz quarry waste was replaced with 5% of the fine aggregate by volume. In the last mixture MFQ ternary combination of waste materials was prepared. In this mixture waste marble and waste quartz was replaced with 20% and 5% of the fine aggregate by volume respectively and 40% fly ash was replaced with cement by mass.

Table 2. Mixture proportions of SCCs

Mix Proportions (kg/m ³)	Control	F1	F2	F3	M1	MF1	M2	MF2	Q	MFQ
Cement	516	356	316	266	516	316	516	316	516	316
Fly Ash	0	156	207	257	0	200	0	200	0	200
Water	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186
Coarse Agg.	778	780	760	742	778	704	778	704	778	704
Fine Agg.	892	836	836	836	758	758	708	708	845	660
Marble	-	-	-	-	138	138	185	185	-	185
Quartz	-	-	-	-	-	-	-	-	47	47
HRWR	2.32	2.71	2.31	2.27	3.55	3.71	3.72	3.85	2.68	3.00

Mixing operations were conducted in a rotating planetary mixer, then immediately after mixing the SCC, fresh concrete properties were determined in accordance with TS-EN standards and EFNARC guidelines [16-18]. To evaluate unconfined flowability of the fresh SCC slump flow test was used. V-funnel, slump flow and slump flow T_{50cm} tests were used to evaluate filling ability. V-Funnel test at 5 minutes (T_{5min}) was also used to evaluate segregation resistance of the SCC mixtures. The passing ability of SCC was determined by U box test. After determination of the fresh properties 15 cm cubic specimens were prepared for compressive strength measurements. After 24 hours, all the specimens were removed from the molds and moist cured at 20±2 °C according to TS EN 12390-2 until the age of testing. The compressive strength test results of the specimens for 7 and 28 days are given Table 5.

Table 3. Summary of SCC mixture parameters

	Control	F1	F2	F3	M1	MF1	M2	MF2	Q	MFQ
Paste Volume (%)	40	42	43	43	44	47	45	48	41	49
Mortar Volume (%)	69	69	70	70	69	72	69	72	69	72
Absolute Volume of C.A. (%)	29	29	28	28	29	26	29	26	29	26
Powder Content (kg/m ³)	641	629	640	640	756	763	794	801	664	825

4. TEST RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Fresh State Properties

In order to evaluate the utilization of several waste materials obtained from Muğla region in the SCC production, fresh properties of the SCC mixtures were determined by slump flow, $T_{50\text{cm}}$, V-funnel and V-funnel $T_{5\text{min}}$ tests according to TS-EN 12350-8-9 [16,17]. U-Box tests were conducted in accordance with EFNARC specifications and guidelines [18]. In general, as can be seen in Table 4, optimum test results were obtained with ternary combinations of materials.

Table 4. Fresh properties of the mixtures

Fresh SCC Tests	C	F1	F2	F3	M1	MF1	M2	MF2	Q	MFQ	EFNARC limits
Slump Flow	700	680	680	710	730	830	790	800	660	820	>650 mm
$T_{50\text{cm}}$	2.0	2.3	3.1	2.0	3.1	2.1	3.1	2.3	2.9	2	2-5 sec
V-Funnel	4.9	7.6	9.1	9.6	12	9.9	11.4	8.9	8.9	8.8	8-12 sec
V-Funnel $T_{5\text{min}}$	5.5	8.5	10	12	23	12.8	28	11.5	14.4	11.7	$V_{\text{funnel}}+3 \text{ sec}$
U-Box	28	10	10	15	2	2	4	2	67	1	<30mm

Slump flow values of all mixtures are presented in Table 4. Replacement of fly ash with 30%, 40% and 50 % by mass of cement caused almost no change in flow diameter whilst decreasing the amount of HRWR to reach the target value of at least 650 mm. This can be attributed to positive effect of fly ash particles on water demand of SCC as a result of their particle morphology and water holding capacity. Replacement of waste marble with fine aggregate 15% and 20% by volume resulted in increase in the slump flow values up to 730 mm and 790 mm respectively. This can be ascribed to increased powder content which allowed to use more HRWR without harmful segregation. When marble waste containing mixtures are assessed, additional replacement of fly ash with cement significantly increase the powder content of the mixtures which in turn prevents harmful segregation as the HRWR amount is increased. 5% volumetric replacement of waste quartz yielded a significantly lower slump flow value compared to control mixture. Then slump flow value decreased down to 660 mm which is attributed to uniform size distribution and angular shape of quartz particles. However, when fly ash and marble wastes are used along with the quartz quarry waste, slump flow value reached up to 820 mm. This ternary combination of waste materials can be said to compensate the negative effect of quartz on fresh properties of SCC.

$T_{50\text{cm}}$ test results of all mixtures are presented in Table 4. As seen from Table 4, all mixtures have proper $T_{50\text{cm}}$ results, which is a sign of good filling ability. Replacement of cement with fly ash did not

affect the test results significantly for all replacement levels. However, replacement of fine aggregate with 15% and 20% waste marble by volume increased the flow spread duration up to 3 and 3.07 seconds respectively. This can be attributed to increase in the viscosity of SCC [6]. As can be seen from $T_{50\text{cm}}$ times of MF1 and MF2 mixtures, incorporation of fly ash in these mixtures markedly decreased spreading duration of the fly ash, waste marble binary systems. Replacement of fine aggregate with waste quartz 5% by volume also increased spreading duration up to 2.87 seconds. The minimum spread duration was obtained by using ternary replacement combination.

V-funnel and V-funnel $T_{5\text{min}}$ test results of mixtures are presented together in Fig 2. As can be seen in Table 4, V-funnel test results of all mixtures satisfy the limitations of EFNARC guidelines [18]. Replacement of cement with fly ash up to 40% by mass did not adversely affect the V funnel time, although flow time increased with the replacement ratio. Replacement of fine aggregates with waste marble significantly increased V funnel time. Furthermore, V funnel time at 5 minutes markedly increased and values beyond the limitations are reached. This increase can be attributed to rapid loss in workability due to increased powder content. As can be seen from MF1 and MF2 mixtures, fly ash replacement of 40% by mass was very effective to obtain better results in V funnel after at 5 minutes. Replacement of fine aggregate with only waste quartz also affect V funnel time at 5 minutes although, not adversely as waste marble. However, V funnel time was still out of limitations of EFNARC guidelines.

U-box test results of all mixtures except mixture Q were in acceptable limitations according to EFNARC guidelines [18]. Fly ash replacement up to 40% had beneficial effects on passing ability property of SCC mixtures. However, a slight increase was observed with using fly ash replacement up to 50%. Both using single replacement of waste marble and binary combination of waste marble and fly ash remarkably decreased the results. The most undesirable result (67 mm) was obtained when waste quartz was replaced with fine aggregate alone. However, ternary combination of waste materials yielded the best result in terms of passing ability.

4.2. Hardened State Properties

Compressive strength of mixtures was determined at 7 and 28 days by testing 15cm cube specimens. Compressive strength results of all mixtures are listed in Table 5.

Table 5. *Compressive strength test results*

Mixtures	7-days (MPa)	28-days (MPa)
Control	48.8	53.9
F1	40.1	53.5
F2	35.5	48.1
F3	25.6	40.4
M1	50.3	54.7
MF1	30.3	45.4
M2	50.7	60.2
MF2	33.9	50.7
Q	48.0	50
MFQ	33.9	49.9

As expected, compressive strength values dropped as fly ash replacement level was increases both at 7 and 28 days of testing. However, 30% fly ash replacement yielded similar strength value with control sample at 28 days. Compressive strengths of SCC are affected by utilization of marble waste by replacing it with fine aggregate. This augmentation can be attributed to filler effect of waste marble due to its fine particle size. Similar behaviour could not be observed with quartz waste replacement most probably due to the coarser size and uniform gradation of its particles. Binary and ternary systems with fly ash and marble waste replacement were also lower than that of marble waste replaced mixtures as expected and in agreement with that of similar mixtures with fly ash replacement alone.

5. CONCLUSION

In this study, the effect of using waste materials which are fly ash, waste marble and waste quartz quarry in Muğla region on fresh and hardened properties of SCC were investigated. The following conclusions were drawn:

- Fly ash obtained from Yatağan thermal power plant can be used successfully in SCC production. However, reduction in the compressive strength should be considered in design.
- If marble waste is utilized alone, it may result in segregation problems.
- On the other hand, when marble waste is used in conjunction with fly ash, satisfactory SCC mixtures can be obtained.
- Quartz waste significantly impairs the passing ability and stability of SCC.
- However, ternary mixtures containing fly ash, marble waste and quartz waste together may compensate the negative effect of quartz alone and may yield environmental friendly and acceptable SCC mixtures.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to gratefully acknowledge BASF Chemical Company and OYAK Denizli Cement Factory for providing the high range water reducing admixture and portland cement used throughout the experimental study.

REFERENCES

1. Puthipad N., Ouchi M., Rath S., Attachaiyawuth A., "Enhanced Entrainment of Fine Air Bubbles in Self-Compacting Concrete with High Volume of Fly Ash Using Defoaming Agent for Improved Entrained Air Stability and Higher Aggregate Content," *Construction and Building Materials*, Vol. 144, July 2017, pp 1–12.
2. Vurst F.D.V., Grünewald S., Feys D., Lesage K., Vandewalle L., Vantomme J., Schutter G.D., "Effect of The Mix Design on the Robustness of Fresh Self-Compacting Concrete," *Cement and Concrete Composites*, Vol. 82, September 2017, pp 190-201.
3. Silva Y.F., Robayo R.A., Matthey P.E., Delvasto S., "Properties of Self-Compacting Concrete on Fresh and Hardened with Residue of Masonry and Recycled Concrete," *Construction and Building Materials*, Vol. 12, October 2016, pp 639-644.
4. Taboada I.G., Fontebao B.G., Lopez J.E., Lopez G.R., "Tools for The Study of Self-Compacting Recycled Concrete Fresh Behaviour: Workability and Rheology," *Journal of Cleaner Production*, Vol.156, July 2017, pp 1-18.
5. ACI Committee 237 Report, Self Consolidating Concrete (237R-07), American Concrete Institute, 2007, 34 pages.
6. Gesoğlu M., Güneysi E., Kocabağ M.E., Bayram V., Mermerdaş K., "Fresh and Hardened Characteristics of Self Compacting Concretes Made with Combined Use of Marble Powder, Limestone Filler, and Fly Ash," *Construction and Building Materials*, Vol.37, December 2012, pp 160–170.
7. Gesoğlu M., Özbay E., "Effects of Mineral Admixtures on Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concretes: Binary, Ternary and Quaternary Systems," *Materials and Structures*, Vol. 40, April 2007, pp 923-937.
8. Alyamaç K.E., İnce R., "A Preliminary Concrete Mix Design for SCC with Marble Powders," *Construction and Building Materials*, Vol. 23, March 2009, pp 1201-1210.
9. Binici H., Kaplan H., Yılmaz S., "Influence of Marble and Limestone Dusts as Additives on Some Mechanical Properties of Concrete," *Scientific Research and Essay*, Vol. 2, September 2007, pp 372-379.
10. Uysal M., Yılmaz K., "Effect of Mineral Admixtures on Properties of Self-Compacting Concrete," *Cement & Concrete Composites*, Vol.33, August 2011, pp 771–776.

11. Beer C., Schlünssen V., Sherson D., Trolborg A., Nielsen B.D., Olesen A.B., Jacobsen G., Søndergaard K., Kolstad H.A., "Exposure to Quartz Dust/Sand (Crystalline Silica) and The Risk of Development of Connective Tissue Diseases (For Instance Scleroderma) and Kidney Diseases (For Instance Glomerulonephritis)," April 2015, pp 1-50. Retrieved from <https://www.aes.dk/~media/ASK/pdf/Eudvalget/Exposure%20to%20quartz%20dust%20or%20sand%20and%20the%20risk%20of%20development%20of%20connectiv%20%20%20pdf.ashx> [accessed May 14, 2017].
12. Çavuşoğlu İ., "Uçucu Küllerin Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılması: Örnek Bir Uygulama (Çayırhan)," Madencilik, Vol. 23, 2008, pp 3-13.
13. Baba A., "Yatağan (Muğla) Termik Santral Atık Depolama Sahasının Yeraltı Sularına Etkisi," Jeoloji Mühendisliği, Vol.25(2), 2001, pp 1-19.
14. Karami A., Khazeasl I., "Effect of Fly Ash on Properties of Self-Compacting Concrete (SCC)," International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR), Vol. 7, April 2016, pp 192-199.
15. Baboo R., Khan N.H., Abhishek Kr., Tabin R.S., Duggal S.K., "Influence of Marble Powder/Granules in Concrete Mix," International Journal of Civil and Structural Engineering, Vol. 1, 2011, pp 827-834.
16. Turkish Standards, Self-Compacting Concrete - Slump-Flow Test (TS-EN 12350-8), Turkish Standards Institution, 2011, 5 pages.
17. Turkish Standards, Self-Compacting Concrete - V-Funnel Test (TS-EN 12350-9), Turkish Standards Institution, 2011, 4 pages.
18. The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems (EFNARC), The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use, 2005, 68 pages.

20 Ekim 2017 Cuma

October 20th 2017 Friday

2.Gün/Second Day

7.Oturum/Seventh Session

Oturum Başkanı/Session Chair

Prof. Dr. Mustafa ŞAHMARAN

MİNERAL KATKILI HARÇLARIN MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNDE PRİZ HIZLANDIRICI KATKININ ETKİSİ

Yeşim, TOSUN

Arş. Gör.
Atatürk Üniversitesi
Erzurum, Türkiye

Rıza, POLAT

Yrd.Doç.Dr.
Atatürk Üniversitesi
Erzurum, Türkiye

Fatma, KARAGÖL

Yrd.Doç.Dr.
Atatürk Üniversitesi
Erzurum, Türkiye

ÖZET

Günümüzde kimyasal katkıların, olumsuz hava şartlarında ve işlenebilmenin zor olduğu durumlarda beton üretimi ve su/çimento oranının azaltılmasıyla betonun dayanım, içyapı, fiziksel ve durabilite özelliklerinin iyileştirilmesi gibi birçok yararı bulunmaktadır. Silis dumanı ve uçucu kül gibi mineral katkıların çimento ile birlikte kullanılmaları, ekonomik açıdan ve çevre kirliliğinin azaltılması bakımından faydalıdır. Dolayısıyla kimyasal ve mineral katkıların çimentolu malzemelerde kullanımına gereksinim artmakta olup, bu iki katkı türünün birbirleri ile etkileşimi sonucunda betonun özelliklerini nasıl etkilediğinin araştırılması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında, çimento yerine %10 oranlarında silis dumanı ve uçucu kül ikame edilen çimento esaslı harçların priz hızlandırıcı katkı etkisindeki davranışları incelenmiştir. Bu amaçla üretilen hamur numuneler üzerinde priz süresi, harç numuneler de ise birim hacim ağırlık, hidrasyon ısı, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, priz hızlandırıcı ve uçucu kül katkıları numunelerin priz süresi diğer gruplardan daha kısa ve nihai basınç dayanımları ise yine diğer gruplardan yüksek bulunmuştur. Silis dumanı ve priz hızlandırıcının bir arada kullanılması durumunda hidrasyon ısı artarken, 28 günlük basınç dayanımları uçucu kül içeren karışımların dayanımlarından düşüktür.

Anahtar Kelimeler:Priz hızlandırıcı, silis dumanı, uçucu kül, basınç dayanımı

THE EFFECT OF SET ACCELERATING ADMIXTURE ON MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF MORTAR CONTAINING MINERAL ADDITIVE

ABSTRACT

In nowadays, chemical admixtures improve strength, internal structure, physical and durability properties of concrete by reducing water/cement ratio and enable the concrete production in hot/cold weather conditions and when the workability is difficult. The use of mineral admixtures such as silica fume and fly ash together with cement is beneficial in terms of economic and environmental pollution. Therefore, the need for the use of chemical and mineral admixtures in cementitious materials is increasing and it is necessary to investigate how these two additives modify concrete properties as a result of interactions with each other. Within the scope of this study, the influence of set accelerator additive on the behavior of cement based mortars substituting silica fume and fly ash at the rate of 10% instead of cement was investigated. For this purpose, while the setting time test were carried out in paste mixtures, the heat of hydration, 3, 7 and 28 days' compressive strength and fresh unit weight tests were carried out in mortar mixtures. As a result, the setting time of the samples containing the set accelerator and fly ash was shorter than the other groups and the final compressive strengths were found higher than the other groups. In the mortar mixtures in which the silica fume and the set accelerator were used together, the hydration heat increased and 28 day compressive strengths were found to be lower than those of mixtures containing fly ash.

Keywords: set accelerating admixture, silica fume, fly ash, compressive strength

1. GİRİŞ

Beton katkı maddeleri günümüz teknolojisinde vazgeçilmez hale gelmişlerdir. Türk standartlarına göre üretilen 27 farklı çimento tipinin hemen hemen %90'ı puzolan esaslı mineral katkılarla üretilmektedir. Gerek puzolan katkıları gerekse kimyasal katkıları mekanik özellikler ve durabilite açısından daha kaliteli ve daha ekonomik beton üretmek için kullanılmaktadır.

Beton katkı maddeleri; betonun temel karışım malzemeleri yani su, agrega ve çimento dışında betonlara çok düşük miktarda katılan organik ve inorganik esaslı maddelerdir. Katkılar, betonun sahip olduğu özellikleri, iyi yönde ve belirli bir ölçüde değiştirmek amacı ile betonun üretimi esnasında veya üretildikten sonra (beton yüzeyine uygulanan katkıları) katılarak taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini geliştirirler (1). Bu özellikleri taze halde, işlenebilirliği arttırmak, su ihtiyacını azaltmak, hidrasyon ısısını ayarlamak, priz süresini ayarlamak, su kusmasını ve terlemesini azaltmak, kohezyonu artırmak, pompalanabilirliği iyileştirmek, sertleşmiş halde ise erken ve nihai dayanımı ve durabiliteyi artırmak, aderansı artırmak, betonarme elemanlarda korozyonu önlemek ve ekonomik olmasını sağlamak gibi özellikler sıralanabilir (2). Betona katılan katkı malzemeleri mineral içerikli katkıları ve kimyasal katkıları olarak iki gruba ayrılır. Beton yapımında kullanılan mineral katkı maddelerinin çoğu puzolanik özelliklidir. Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya bağlayıcılık değeri çok az olan, fakat ince taneli durumdayken sulu ortamda Ca(OH)_2 ile birleştiğinde hidrolik bağlayıcılık gösterebilen özellikli kazanan silikatlı ve alüminatlı malzemelerdir. Doğal puzolanlar; volkanik kül, volkanik tüf, diatomlu toprak ve pişirilmiş kil ve yapay puzolanlar ise atık malzeme olarak ortaya çıkan uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve pirinç kabuğu külüdür (3). Betona katılan kimyasal katkı malzemeleri ise; betonun akışkanlığının düzenlenmesi, priz süresinin düzenlenmesi, geçirimsizliği ve donma-çözülme dayanıklılığının sağlanması amaçlarıyla kullanılmaktadırlar (priz hızlandırıcı ve geciktiriciler, farklı yoğunlukta akışkanlaştırıcılar, antifriz katkıları, rötre azaltıcılar vb.).

Betondan istenen performansa göre aynı karışımda bir ya da birden fazla katkı malzemeleri gerektiğinde birlikte kullanılabilir. Fakat kullanılan katkı malzemelerinin birbirini nasıl etkilediği, etkisinde bir değişiklik meydana getirip getirmediği ve nihayetinde beton özelliklerinde nasıl bir

değişim meydana getirdiği tespit edilmelidir. Özellikle mineral katkıları ve puzolan içeren çimentolar ile kimyasal katkıların birlikte kullanıldığı betonların özelliklerinin araştırılması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında priz hızlandırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Literatürde priz hızlandırıcı katkı üzerine aşağıda yapılan çalışmalarda, Monkman et. al. (2016) (4) priz hızlandırıcı katkı olarak CO₂ etkisini araştırdığı çalışmada katkısız betonda normal priz hızlandırıcının priz başlama ve bitiş sürelerini azalttığı, hidratasyon ısısını artırdığı, 1, 3, 7, 28, 56, 91 ve 182 günlük basınç dayanımlarını artırdığı tespit etmişlerdir. Yıldırım vd. (1991) (5), %2, 3 ve 4 oranlarında priz hızlandırıcı katkı kullanarak püskürtme beton üretmişlerdir. Çalışmada PÇ 42,5, KÇ 32,5 ve TÇ 32,5 olmak üzere üç farklı çimento tipi kullanılmıştır. Sonuç olarak çimentolarda tras yüzdesi arttıkça katkının etkinliğinin arttığı gözlemlenmiştir. Priz hızlandırıcının yüzdesi arttıkça tüm karışımların basınç dayanımlarında %15-20 azalmalar gözlemlenmiştir. Uysal ve Yılmaz (2012) (6), priz hızlandırıcı özelliği olan akışkanlaştırıcı katkının aşırı oranda kullanımının beton özelliklerine olan etkisini araştırdıkları çalışmada %10 gibi aşırı dozda katkı kullanımının betonun basınç dayanımını ciddi oranda düşürdüğü ve kalıp alma süresini uzattığı görülmüştür.

AMAÇ

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde çok sayıda mineral katkı ve kimyasal katkı üzerine çalışma olduğu görülmektedir. Fakat mineral katkıların kimyasal katkılarla uyumunu içeren çalışma sayısı yetersizdir. Bu çalışma ile priz hızlandırıcı katkı ile mineral katkı olarak kullanılan silis dumanı ve uçucu külün birlikte kullanılması araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

Deneylerde Aşkale Çimento Sanayi T.A.Ş. üretimi olan Normal Portland Çimentosu (CEM I 42,5R) kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri ise Çizelge 1’de verilmiştir. Çizelgelerde belirtilen analizler üretici firma tarafından yapılmıştır.

Çizelge 1. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Kompozisyon	Sonuçlar (%)	Fiziksel Karakteristikler	Sonuçlar (%)
Toplam SiO ₂	18,72	Özgül Yüzey (Blaine) (cm ² /g)	3812
Çözünmeyen Kalıntı	0,95	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,13
Al ₂ O ₃	4,54	Hacim Gen. (mm)	1
Fe ₂ O ₃	3,43		
CaO	62,25	Priz süresi	Başlangıç
MgO	3,34	(dak.)	Bitiş
SO ₃	2,98	Basınç Day. (MPa) (2.gün)	140
Kızdırma Kaybı	3,24	Basınç Day. (MPa) (28.gün)	186
Na ₂ O	0,19		
K ₂ O	0,68		
Cl-	0,0098		
Toplam	100		
Serbest CaO	0,78		

Mineral katkı olarak çalışmalarda Kütahya ÇimentoA.Ş. Pülverize Uçucu Kül tesisinden temin edilen ve Çizelge 2’de özellikleri verilen uçucu kül kullanılmıştır. Çizelge 2’den görüleceği üzere deneylerde kullanılan uçucu kül ASTM C 618 (7)göre F sınıfı ve “düşük kireçli” uçucu kül sınıfına

girmektedir. Ayrıca Antalya Elektrometalürji işletmesinde Silico Ferrokrom üretimi yapan tesisten elde edilen silis dumanı kullanılmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Uçucu kül ve silis dumanı kimyasal özellikleri

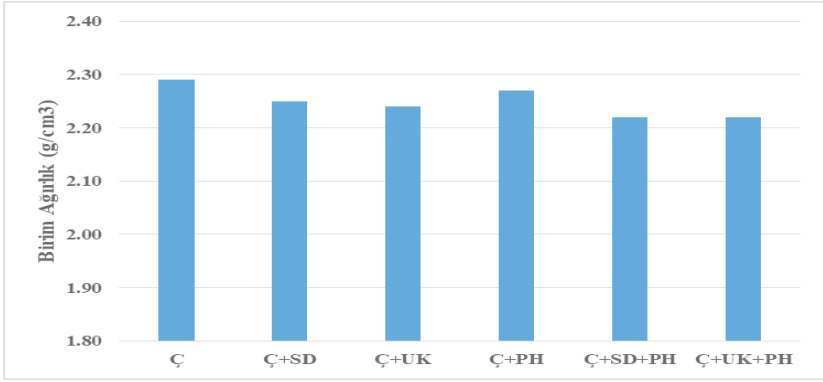
Kimyasal Kompozisyon (%) (Uçucu Kül)								
SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	K.Kaybı	
53,69	3,40	20,29	11,83	4,09	0,99	2,53	2,01	
Fiziksel özellikler								
Özgül Ağırlık							1,98	
Özgül Yüzey (cm ² /gr)							4020	
Kimyasal Analiz (Silis Dumanı)								
“Madde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	C	S	K.Kaybı
Miktar	93,4	0,30	0,35	0,38	0,850	-	-	4,45

Priz düzenleyici olarak CHRYSO-KAT.Katkı Malz. San. ve Tic. A.Ş’ den temin edilen CHRYSO®Fluid MGR adlı priz hızlandırıcı kimyasal katkı malzemesi kullanılmıştır. Üretilen harç numunelerinde ince agrega olarak 0-4 mm boyutlu dere kumu, filler malzeme olarak 0-0,125 mm boyutlu mermer tozu kullanılmıştır.Üretilen numunelerde su/çimento oranı 0,50, silis dumanı(SD) ve uçucu kül(UK) oranı %10, priz hızlandırıcı(PH) çimento ağırlığının %1’i ve çimento/kum oranı 1/2,75 olarak sabit alınarak 5*5*5 cm³’lük küp numuneler üretilmiştir. İnce agrega 0-2 mm ve 2-4 mm olarak ayrılmıştır ve granülometrik olarak %67,5- %27,5 oranlarında kullanılmıştır. Ayrıca %5 oranında filler malzeme olarak mermer tozu kullanılmıştır. Numuneler üzerinde 3, 7 ve 28 günlük basınç deneyleri yapılmıştır. Ayrıca taze betonda birim hacim ağırlık deneyi, priz süresi deneyi ve hidrasyon ısısı deneyleri yapılmıştır. Çalışmada priz süresi deneyi TS EN 196-3 (8), hidrasyon ısısı deneyi TS EN 196-9 (9) ve basınç dayanımı deneyi ASTM C109/C109M (10) standartlarına göre yapılmıştır.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Taze Birim Hacim Ağırlık Sonuçlarının Değerlendirilmesi

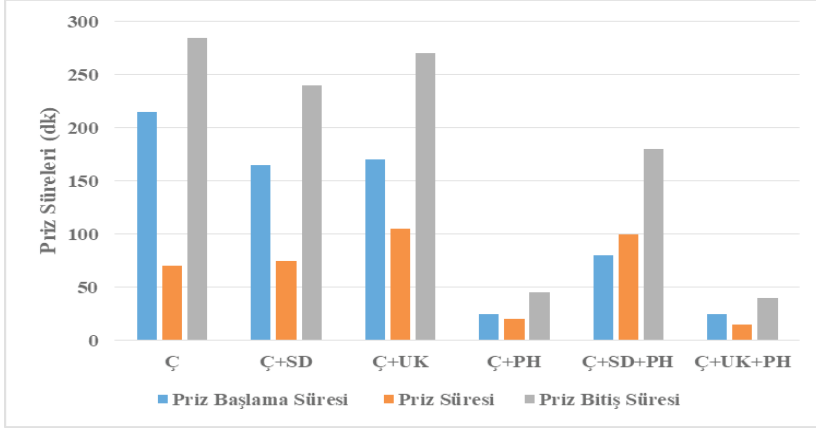
Çimento harç numunelere taze halde uygulanan birim hacim ağırlık deney sonuçları Şekil 3.1'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 3.1. Birim hacimağırlık deney sonuçları

Şekil 3.1'deki grafikten görüldüğü üzere çimentoya ikame edilen silis dumanı ve uçucu kül, deney numunelerinin birim hacim ağırlıklarını kontrol numunesine göre azaltmıştır. Çünkü uçucu külün ve silis dumanının birim ağırlığı çimentodan düşüktür. Aynı zamanda priz hızlandırıcı katkı eklenmesi de çimento harç numunelerinin birim hacim ağırlıklarını azaltmıştır. Priz hızlandırıcı ve mineral katkıların bir arada kullanılması ise birim hacim ağırlığı daha da azaltmıştır. Bu durumun sebebi ise priz hızlandırıcı katkının aynı zamanda akışkanlaştırıcı özelliği göstermesidir. Akışkanlaştırıcı katkı malzemelerinin çalışma prensibi doğrultusunda katkının eklenmesiyle tanecikler arası itme kuvvetleri oluşması nedeniyle tanecikler arasında hacim artışı meydana gelmiştir. Az miktarda da olsa hava boşlukları oluşmuştur. Katkının eklenmesiyle numunelerin kompozisyonu değişmeden birim hacim ağırlık değerleri azalmıştır.

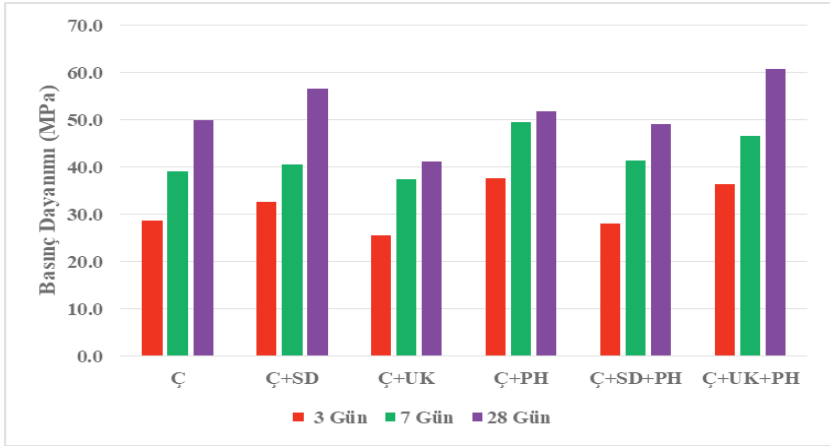
3.2. Priz Süresi Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi



Şekil 3.2. Priz süresi tayini deney sonuçları

Şekil 3.2’ den görüldüğü üzere çimentoya mineral katkı eklenmesi priz başlama, priz alma ve priz bitiş sürelerini kısaltmıştır. Silis dumanı ve uçucu kül kıyaslanacak olursa silis dumanı priz süresini uçucu küle oranla biraz daha fazla kısaltmıştır. Karışımlara priz hızlandırıcı kimyasal katkı eklenmesi ise priz süresi değerlerini çok büyük ölçüde değiştirmiştir. Gerek silis dumanlı gerekse uçucu küllü numunelerin priz hızlandırıcı ilavesiyle priz başlama ve bitiş süreleri kısaltmıştır. Özellikle uçucu küllü numunelerde priz süresi çimento ve priz hızlandırıcılı numunelerden daha düşük çıkmıştır. Bunun nedeni olarak çalışmada kullanılan uçucu külün CaO miktarının %10’ dan az olması ve $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarının %85.81 olup ASTM C 618 (7)’e göre %70’in üzerinde olması nedeniyle F sınıfı uçucu kül sınıfına girmektedir. Bu sınıftaki uçucu küller hidrofil yapılıdır. Dolayısıyla hidrasyon için daha fazla suya ihtiyaç gösterirler ve hidrofil yapı priz süresini kısaltmaktadır (11). Yine uçucu küllü numunelerin priz başlama ve bitiş süreleri silis dumanlı numunelere kıyasla oldukça düşüktür. Dolayısıyla mineral katkılı çimento harç numunelerine priz hızlandırıcı eklenmesi priz süresini kontrol numunelerine göre oldukça azaltmıştır çıkarımı yapılabilir. Sebebi ise; çimentoya ikame edilerek kullanılan bu mineral katkıların inceliğinin çimentonun inceliğinden az olması nedeniyle prizi hızlandırmalarıdır. Üzerine priz hızlandırıcı katkı eklenmesi ile priz süresi daha da kısaltmıştır.

3.3. Basınç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi



Şekil 3.3. Basınç dayanım sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 3.3'e göre, öncelikle çimento karışımına mineral katkı ikamesi ile betonun basınç dayanımı değerleri değişmiştir. Silis dumanı eklenmesi ile 3,7 ve 28 günlerin hepsinde basınç dayanımı artarken sadece uçucu kül ikamesiyle bütün günlerdeki dayanımlar azalmıştır. Çimentoya priz hızlandırıcı katkı eklenmesiyle 3. gün ve 7. gündeki dayanımlar sırasıyla %31 ve %26 oranlarında artmıştır. Çimentoya mineral katkı ve priz hızlandırıcı katkıların birlikte eklenmesiyle ise; uçucu küllü karışımlarda bütün günlerde dayanım tüm gruplara göre artış göstermiştir. Silis dumanlı gruplarda ise yalnızca 28 günlük dayanım bir miktar azalmıştır fakat erken yaşlarda dayanım daha yüksektir. Dolayısıyla silis dumanı ve priz hızlandırıcı katkının bir arada kullanılması ile dayanımda düşüşler gözlenirken uçucu kül ve priz hızlandırıcının bir arada kullanılması ile dayanımda artışlar gözlenmiştir. Buradan da uçucu kül ve priz hızlandırıcı katkının daha uyumlu çalıştığı sonucu çıkarılabilir. Nitekim bu grubun priz süresinin de diğer gruplara oranla daha kısa olduğu belirlenmiştir. Bu durum yine çıkarımımızı desteklemektedir.

3.4. Hidratasyon Isısı Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yarı adyabatik yöntem olarak bilinen TS 196-9 (9) göre yapılan hidratasyon ısısı deney sonuçları Şekil 3.4' te verilmiştir. Grafik incelendiğinde çimentoya uçucu kül katılarak elde edilen grubun en az hidratasyon ısısı değerine sahip olduğu görülmektedir.

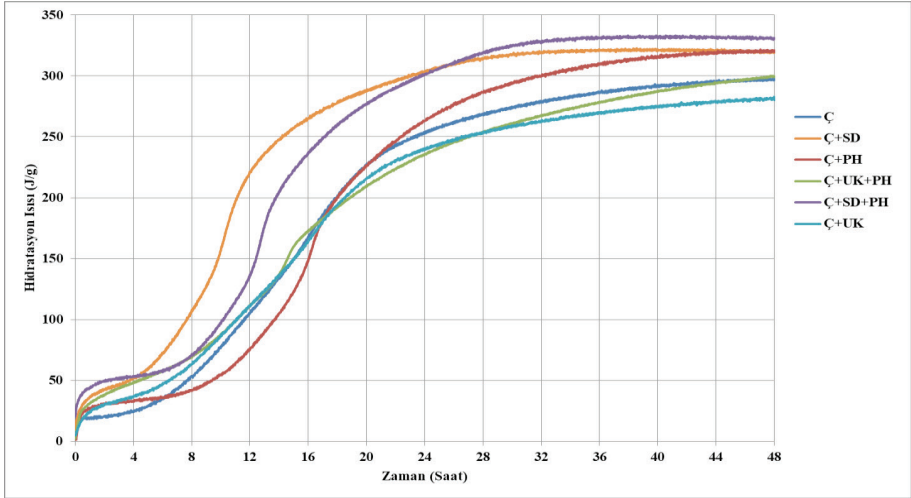
DolayısıylaSamarin et al.(1983) (12), Berry and Malhotra (1980) (13), Bamforth (1980) (14) belirttikleri gibi çimentoya uçucu kül ilave edilmesi hidratasyon ısısını azaltmıştır ve yine basınç dayanımı ve priz süresi deneylerinde olduğu gibi uçucu kül ve priz hızlandırıcı katkının uyumlu çalıştığı bu deneyle de ispatlanmıştır.

48 saat süre sonunda en fazla hidratasyon ısısı artışı gösteren grup Ç+SD+PH olmuştur. Nitekim çimentoya yalnızca silis dumanı ve yalnızca priz hızlandırıcı ilavesiyle oluşturulan grupların 48 saatlik hidratasyon ısısı sonuçları yaklaşık aynıdır ve ikinci olarak en yüksektir. Dolayısıyla bu iki katkının bir arada kullanılması ile de en fazla hidratasyon ısısı değeri elde edilmiştir. Dolayısıyla kontrol grubuna göre uçucu küllü karışımların hidratasyon ısıları düşüken silis dumanlı grupların hidratasyon ısıları yüksektir çıkarımı yapılabilir.

Uçucu kül ikame edilen karışımların hidratasyon ısısı bağlayıcı olarak sadece çimento içeren karışıma göre ilk 16 saat gibi zamanda daha yüksektir. Burada meydana gelen ısı artışının nedeni olarak uçucu külün hidrofil yapısından dolayı reaksiyonları hızlandırması ve priz süresini kısaltması düşünülmektedir. İleriki yaşlarda ise uçucu kül karışımların hidratasyon ısılarında ki düşüşün nedeni olarak da çimento yerine uçucu kül ikame edildiğinden ve çimento miktarında azalma meydana geldiğinden, puzolanik reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkan ısının çimentonun ana bileşenleri olan C_3S , C_2S , C_3A 'nın reaksiyonlarından daha az ısı ortaya çıkarmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 3.4 incelendiğinde silis dumanı içeren karışımların hidratasyon ısılarının hem kontrol numunelerine göre hem de uçucu kül içeren numunelere göre hem erken yaşlarda hem de ileriki yaşlarda daha yüksek olduğu görülmektedir. Erdoğan (15), çimento ağırlığının %10'u kadar silis

dumanı kullanılması durumunda erken yaşlarda (72 saat gibi) hidratasyon ısısının bağlayıcı olarak sadece çimento içeren karışımlara göre yüksek olabileceğini belirtmiştir.



Şekil 3.4. Hidratasyon ısısındaki değişim deney sonuçları

4. SONUÇ

Çimentoya mineral katkı olarak %10 oranında silis dumanı ve uçucu kimyasal katkı olarak priz hızlandırıcı katkı ilave edilerek üretilen harç numunelerinin deney sonuçlarının incelendiği bu çalışmada;

- Çimentoya yalnızca silis dumanı, yalnızca uçucu kül ve yalnızca priz hızlandırıcı ilave edilmesi birim hacim ağırlığını azaltmıştır. Silis dumanı ve uçucu küle priz hızlandırıcının birlikte kullanılması ise birim hacim ağırlık değerlerini daha da azaltmıştır.
- Çimentoya silis dumanı ve uçucu kül eklenmesi priz süresini kısaltmıştır. En kısa priz süresi çimentoya yalnızca priz hızlandırıcı eklenmesi ile oluşturulan grupta elde edilmiştir. Uçucu kül

ve silis dumanıyla priz hızlandırıcının birlikte kullanıldığı gruplarda ise silis dumanlı gruplara nispeten uçucu küllü grupların priz süresi oldukça kısa bulunmuştur.

- Kontrol grubuna göre yalnızca silis dumanı ilavesiyle basınç dayanımı artarken yalnızca uçucu kül ve yalnızca priz hızlandırıcı ilavesiyle basınç dayanımı azalmıştır. Priz hızlandırıcı ve mineral katkıların birlikte kullanıldığı gruplarda ise tam tersi bir durum söz konusu olmuştur. Yani uçucu kül ve priz hızlandırıcılı grubun basınç dayanımı silis dumanı ve priz hızlandırıcılı gruptan yüksek bulunmuştur.
- Kontrol grubuna göre silis dumanlı grupların hidrasyon ısıları yüksekken uçucu küllü grupların düşüktür.
- Bütün deney sonuçları göz önüne alındığında uçucu kül ve priz hızlandırıcı katkıların birbirleriyle uyumlu oldukları sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla bu çalışma neticesinde, hızlı priz alması gereken durumlarda mineral katkı olarak uçucu kül, kimyasal katkı olarak priz hızlandırıcı katkının bir arada kullanılması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Erdoğan, S.T., ve Erdoğan, T.Y., "Kimyasal katkı maddeleri ve tarihi geçmişleri", Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 2007.
2. Erdoğan, T. Y., Admixtures For Concrete, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye, 1997, 36-52.
3. Erdoğan, S.T., ve Erdoğan, T.Y., "Puzolanik Mineral Katkılar Ve Tarihi Geçmişleri,"Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 2007.
4. Monkman. S., MacDonald., M., DougHooton. R., Sandberg, P., "Properties and durability of concrete produced using CO₂ as an accelerating admixture," Cement and Concrete Composites, 74, 2016, 218-224.
5. Uyan. M., Yıldırım. H., "Effectiveness of Super Plasticizer Concrete Admixtures in High Strength Concrete Production", TMMOB Chamber of Civil Engineers, 2nd National Concrete Congresss, High Strength Concrete, 1991,May 27-30.
6. Uysal. M., Yılmaz. K., "Aşırı Dozda Akışkanlaştırıcı Katkı Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi,"Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt: XXV, 2012, Sayı: 1,.
7. ASTM C 618-15,"Standard specifications for fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as mineral admixture in Portland cement concrete", 2015,Philadelphia, USA.
8. Türk Standartları, Çimento deney yöntemleri - Bölüm 3: Priz süreleri ve genleşme tayini, TSE Ankara.
9. Türk Standartları, Çimento deney yöntemleri - Bölüm 9: Hidratasyon ısısı - Yarı adyabatik yöntem (TS EN 196-9), 2011, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara. 17 sayfa.
10. ASTM C109 / C109M, 2016. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
11. Malhotra. V.M., Ramachandran. V.S., Feldman. R.F., and Aitcin. P.C., "Condensed Silica Fume in Concrete," 1987, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 221.
12. Samarin. A., Munn. R.L. and Ashby. J.B., "The Use of Fly Ash in Concrete - Australian Experience", First International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete, ACI SP79, Montebello, Canada, 1983, pp 143-172.
13. Berry. E.E., and Malhotra. V.M., "Fly Ash For Use in Concrete-A Critical Review", ACI Journal Proceedings, Vol.76, No.2, March-April, 1980, Pp.59-73:

14. Bamforth. P.B., "In-Situ Measurement of The Effect of Partial Cement Replacement Using Either Fly Ash or Granulated Blast Furnace-Slag on the Performance of Concrete", Proceedings, Institute Of Civil Engineers, Vol, 69, Part.2, Sept. 1980, Ep. 777-800.
15. Erdoğan. T.Y., Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara,2003.

TARIMSAL ENDÜSTRİ ATIK SUYUNUN BETON KİMYASAL KATKILARININ ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

Elvan, DAĞLI

Kalite Kontrol Sorumlusu

İNKA Kimya A.Ş.

İzmir, Türkiye

Fulya, MEMİOĞLU*

Kimya Yüksek Mühendisi

İNKA Kimya A.Ş.

İzmir, Türkiye

Murat, ELİBOL

Prof. Dr.

Ege Üniversitesi

Biyomühendislik Bölümü

İzmir, Türkiye

ÖZET

Beton, inşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesi olma özelliğini taşımaktadır. Kimyasal katkılar kullanılarak istenen özelliklerde ve yüksek mukavemetli hazır beton elde etmek mümkün olmaktadır. Kimyasal katkılar amaca göre farklı bileşenler içermesine rağmen genel olarak naftalin, melamin, polikarboksilat, lignin, tanin ve şeker temelli hammaddelerden hazırlanmaktadır. Bu durum hem doğal kaynakların tüketilmesi hem de yüksek maliyetler nedeniyle problem oluşturmaktadır. Atık malzemelerin ekonomiye kazandırılması kavramının git gide daha çok yaygınlaştığı günümüzde yeniden hammadde üretmek yerine atık malzemelerin değerlendirilmesi hem çevresel hem de

ekonomik açıdan daha verimlidir. Ülkemizde tarımsal endüstrinin yaygın olması ve bu işletmelerden kaynaklanan atık yükünün fazla olması sebebiyle çalışmada bu kaynak tercih edilmiştir. Atık su kullanılarak, kendiliğinden yerleşen beton için akışkanlaştırıcı kimyasal katkı numuneleri hazırlanmış ve beton deneyleri ile performansları belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda beton performansını priz süresi, slump (çökme) ve mukavemet açısından olumsuz etkilemeyen katkı formülasyonları elde edilebilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton katkıları, Tarımsal atık suları

VALORIZATION OF AN AGRO-INDUSTRIAL WASTE WATER IN THE PRODUCTION OF CONCRETE CHEMICAL ADMIXTURES

ABSTRACT

Concrete is most commonly used building material in the construction sector. By using chemical additives it is possible to obtain ready-mixed concrete with desired properties and high strength. In general, chemical additives are prepared from raw materials based on naphthalene, melamine, polycarboxylate, lignin, tannin and sugar although they contain different components according to the purpose. This is a problem because of both natural resources consumption and high costs. Today, since the use of waste materials, particularly agricultural industry which has very high waste load in our country becomes more widespread in many processes, we have also preferred this resource. Chemical admixture samples were prepared for the self-compacting concrete using waste water and performance were tried to be determined with concrete tests. As a result of the experimental studies made, additive formulations were obtained which do not affect the concrete performance negatively in terms of setting time, slump and strength.

Keywords: Concrete admixtures, Agro waste water

GİRİŞ

Betona katkı eklenmesi fikri binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Vitruvius, M.Ö. 27 – 32 yıllarında yazdığı ‘De Architectura’nın 8. Kitabında Roma dönemi betonlarına zaman zaman az miktarda idrar, kan ve süt eklendiğinden bahsetmiştir. Günümüzde de çoğu kaliteli beton ve harç, bir veya daha fazla kimyasal katkı içermektedir. Kullanılan kimyasal katkının miktarı beton karışımındaki diğer bileşenlere kıyasla çok daha azdır. Buna rağmen, betonun özelliklerinde katkının etkisi, kullanılan miktara ve beton karışımına eklenme zamanına bağlı olmak koşulu ile oldukça büyüktür. Nitelikli bir betonun sahip olması gereken üç temel özellik bulunmaktadır; işlenebilirlik, dayanım ve kalıcılık (servis ömrü süresince bütünlüğünü ve içindeki çelik donatıyı koruyabilmesi). Çimento, agrega, su ve mineral katkıların yanında (organik ve inorganik) kimyasal katkıların eklenmesi de bu açıdan büyük önem taşımaktadır. Çeşitli özelliklere sahip kimyasal beton katkıları bulunmaktadır (akışkanlaştırıcılar, hava sürükleyiciler vb.).

Sürdürülebilirlik, kaynakların günümüzdeki kullanımının yanı sıra gelecek nesillerin ihtiyaçlarına cevap vermesi gerekliliğini de baz almaktadır. ‘Sürdürülebilir / yeşil beton’ üretimi de özellikle inşaat sektörü için gereklilik arz etmektedir [1]. Bu bakış açısıyla ele alındığında, mevcut kaynakların korunması ve hali hazırda çevresel sorunlara yol açan atıklara ekonomik katma değer kazandırılması öncelikli hedefler arasında yer almaktadır. Çeşitli endüstriyel, tarımsal ve evsel faaliyetler sonucu oluşan fenol ve türevleri kimyasal kirliliğe sebep olan yüksek doz kirleticilerdendir [2]. Tarımsal (agro) endüstri kaynaklı atık sulara azot/fosfor arıtımına yönelik olarak uygulanan konvansiyonel yöntemler sadece giderimi hedefleyip geri kazanımı göz ardı etmektedir. Ayrıca azot ve fosfor arıtımında biyolojik ve fiziksel – kimyasal yöntemlerin maliyetlerinin yüksek olması ve güç işletme koşulları bu yöntemlerin kullanımını sınırlandırmaktadır [3]. Arıtma sistemlerinin işletilmesinin zor ve maliyetli olması bu kaynağın alternatif bir şekilde değerlendirilmesi mecburiyetini doğurmaktadır. Özellikle kimyasal beton katkılarına yönelik olmamakla birlikte, yapı malzemeleri üretiminde tarımsal endüstri kaynaklı sıvı ve katı atıkların değerlendirilmesi konusunda literatüre girmiş çeşitli çalışmalar mevcuttur. Söz gelimi pirinç ve pirina külünün agrega olarak tuğla ve betonda kullanımı ile atık suyun tuğla yapımında kullanımı hakkında olumlu sonuçlar alındığı bildirilmiştir [4 – 9].

AMAÇ

Bu çalışmada kimyasal katkısı olarak yüksek performanslı beton üretimi amacı ile geliştirilmiş, çok yüksek su kesme ve akışkanlık sağlayan, işlenebilirlik kaybını minimum düzeye indiren ve betona yüksek mukavemet kazandıran modifiye polikarboksilat esaslı bir katkı üzerinde çalışılmıştır. Bir tarımsal endüstri (agro – industrial) atık suyu kullanılarak beton kimyasal katkıları hazırlanmış ve beton deneyleri ile performansları belirlenmeye çalışılmıştır. Atık su numuneleri İzmir'in Bandırma ve Bergama ilçelerinde faaliyet göstermekte olan iki tesisten temin edilmiştir. Ham haliyle bu numunelerdeki klorür miktarı (%), katı madde oranı (%), pH ve yoğunluk (g/cm^3) tayini yapılmıştır. Laboratuvar çalışmaları için deney reçetelerinin oluşturulmasında istatistiksel deney tasarımı kullanılmıştır. Katkı numuneleri ile hazırlanan betonlarda mukavemet ve slump değişimleri belirlenmeye çalışılmıştır.

DeneySEL Çalışmalar

Harç karışımlarının hazırlanmasında hidrolik bağlayıcı olarak TS EN 197 – 1 (2012) standardına uygun olarak üretilmiş 42.5 Portland çimentosu ve içilebilir nitelikte şebeke suyu kullanılmıştır.

Tablo 1. Beton Karışımının Özellikleri (1 m³ Hacimde Beton için)

Beton Karışımının Özellikleri	
Su/Çimento Oranı	0,53
Akışkanlaştırıcı Katkı Miktarı (%)	%1,20
SU	7
(ÇİMENTAŞ Firması'na ait) PÇ 42.5 CEM 2	14
0 – 3 mm ÇAKIL	21
0 – 5 mm ÇAKIL	19

5 – 12 mm ÇAKIL	17
11 – 25 mm ÇAKIL	22
BETON BİRİM AĞIRLIK	~ 2,96 gr/cm ³

Harç üretimleri (Tablo 1.), PAN mikseri (56 L) ile gerçekleştirilmiştir. Karışımlar 15 x 15 x 15 mm boyutlu küp şeklindeki kaplara konulmuştur. Karışımdaki miktarlar hacimsel olarak hesaplanmıştır. Numuneler 24 saat sonra kalıplardan alınarak kür tankına yerleştirilmiştir. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde tam otomatik 3000 kN kapasiteli basınç pres (UTEST) kullanılmıştır.

Deney tasarımı teknikleri özellikle yeni bir ürün tasarımı, üretim süreçlerinin geliştirilmesi ve süreç iyileştirme gibi mühendislik alanlarında önemli bir rol oynamaktadır [10]. Deney reçetelerinin hazırlanmasında (Tablo 2.), bir deney tasarımı paket programı olan ‘Design Expert 7.0 Trial Version’ (demo versiyon) programından faydalanılmıştır. Deneme deseni oluşturulurken takip edilen parametreler üzerinde etkisi olabileceği ön görülen faktörler tanımlanmıştır. Söz konusu faktörlerin minimum ve maksimum değerleri girilmiştir. Böylece farklı kombinasyonlarda deney reçeteleri oluşturulmuştur. Bu deney reçeteleri takip edilerek beton kimyasal katkı numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan katkı numuneleri ile yapılan karakterizasyon çalışmaları ve beton deneyleri ile elde edilen sonuçlarla her bir faktörün takip edilen ve/veya ölçülen proses parametreleri (response) üzerindeki etkileri incelenmiştir (istatistiksel optimizasyon yöntemi olan ‘Response Surface Methodology (RSM)’ ve alt opsiyonu olan ‘Central Composite Design (CDD)').

Tablo 2. Bandırma ve Bergama’dan alınan atık su numuneleri ile hazırlanan beton kimyasal katkılarına ait deney reçeteleri

Deney No	Polikarboksilat Esaslı Akışkanlaştırıcı Bileşen – Eksiltme Yüzdesi	Tarımsal EndüstriA tık Suyu	Priz Süresini Düzenleyici Bileşen – Eksiltme Yüzdesi	Köpük Kesici Bileşen – Eksiltme Yüzdesi
D1*	-	-	-	-
D2	14.29	3.18	-	100.00
D3	14.29	3.00	-	-
D4	7.14	6.68	50.00	100.00
D5	14.29	13.00	100.00	-
D6	14.28	13.18	100.00	100.00
D7	-	5.09	50.00	50.00
D8	14.28	6.59	50.00	50.00
D9	14.28	1.59	-	50.00
D10	-	10.18	100.00	100.00
D11	-	0.18	-	100.00
D12	-	10.00	100.00	-
D13	14.28	8.09	50.00	50.00
D14	7.14	6.50	50.00	-
D15	7.14	11.59	50.00	-

*Şahit numune

Şahit numune İNKA Kimya Firması'na ait 'BSC 900' kodlu, polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı bir beton katkı formülasyonudur. Beton karışımları açık alanda mevsim şartlarına göre iklimlendirme yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Bu durumdan dolayı deney setlerinde şahit numuneyle yapılan deney tekrar edilmiştir. Şahit numunelere ait sonuçlar kıyaslandığında bu durumun yalnızca bir günlük (erken) mukavemet değerlerini etkilediği anlaşılmıştır. Beton karışımlarının kalıba alınmasından sonra tüm numuneler kür tankında eşit koşullarda (22 C°) muhafaza edilmiştir. Tablo 2' de verilen deneylerde oranlar (atık su oranı hariç) eksiltme yüzdeleri olarak verilmiştir. Söz gelimi D2'nolu deneyde şahit numuneye göre, akışkanlaştırıcı bileşen kütlece %14.29, köpük kesici ise %100 olarak çıkarılmış ve yerine %3.18 atık su ilave edilmiştir.

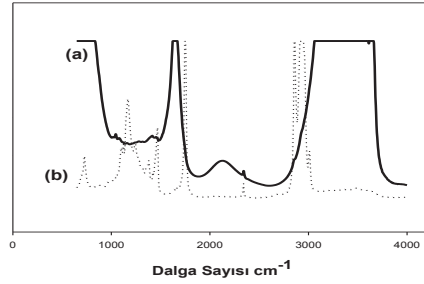
DENEYSEL BULGULAR

Temin edilen atık su numunelerinde karakterizasyon yapılmıştır (Tablo 3.). Laboratuar çalışmalarında kullanılan tarımsal endüstri kaynaklı atık su numuneleri herhangi bir fiziksel ön işleme tabi tutulmamıştır. Kimyasal beton katkıları açısından önemli bir parametre olan klorür miktarı da oldukça düşüktür. Klorür miktarının yüksek olması uzun dönemde donatılarda korozyona sebep olarak betonun servis ömrünü kısaltmaktadır. Beton kimyasal katkıları ile ilgili olan TS EN 934 – 2 standardında da izin verilen klorür üst sınırı % 0.1'dir [11]. Atık su numunelerinde askıdaki katı madde miktarı çok küçük partikül boyutunda olup, fiziksel karıştırma ile oldukça homojen dağılabilecek bir yapıdadır.

Tablo 3. Bandırma ve Bergama'dan ham numunelere ait sonuçlar

	Bandırma	Bergama
Yoğunluk (gr / cm ³)	1.01	1.04
pH	4.53	4.45
Katı Madde Miktarı (%)	6.73	7.26
Klorür Miktarı (%)	0.08	0.09

Atık su numunelerin yapısının belirlenebilmesi amacıyla Fourier Transform Infrared Spektrometresi (Agilent) kullanılmıştır. Spektrumlar 4000 – 400 cm⁻¹ aralığında ve oda sıcaklığında elde edilmiştir.



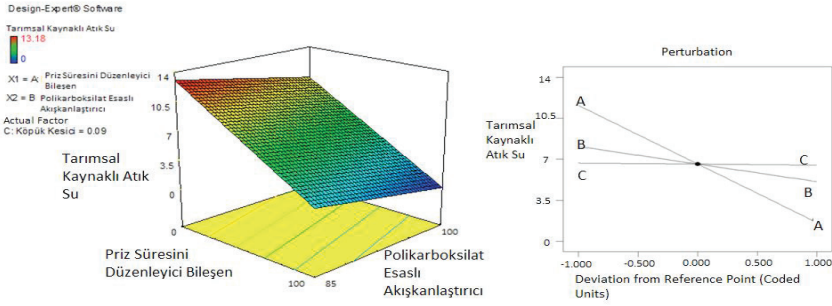
Şekil 1. FTIR sonuçları a) Bergama ilçesindeki işletmeden gelen; b) Bandırma ilçesindeki işletmeden gelen

Elde edilen pikler (Şekil 1.) karşılaştırıldığında piklerin yerlerinin ve şiddetlerinin farklı olduğu gözlenmiştir. Her ne kadar iki tesisdeki prosesler sistem olarak aynı olsa da ürettikleri atık su muhteviyatında değişiklik olduğu görülmüştür. Bu durum kullandıkları hammaddelerden ve proses veriminden kaynaklanmaktadır. Literatürde [12 – 16] yapılan tarama ile piklerin ait olduğu maddeler belirlenmeye çalışılmıştır (Tablo 4.). Beklenildiği üzere başta fenoller olmak üzere bir çok maddeyi eser miktarda dahi olsa bile içermektedir. Bu durum atık kaynağının beton kimyasal katkıları üretiminde kullanımı açısından oldukça olumlu bir durumdur.

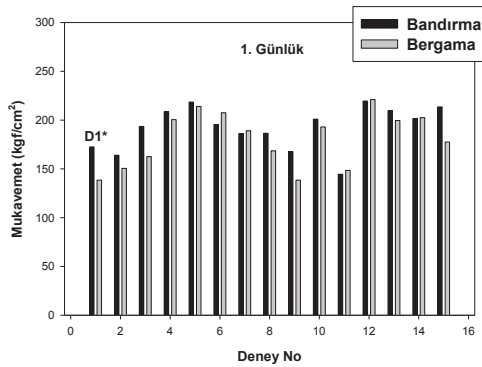
Tablo 4. Bandırma ve Bergama’dan alınan numunelere başlıca FTIR pikleri (cm⁻¹)

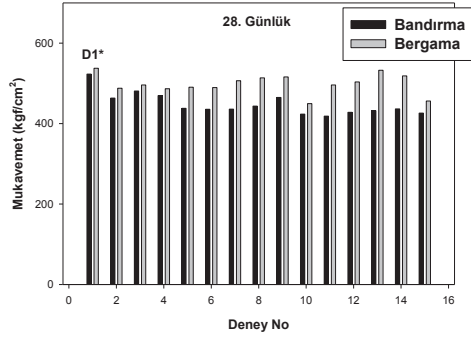
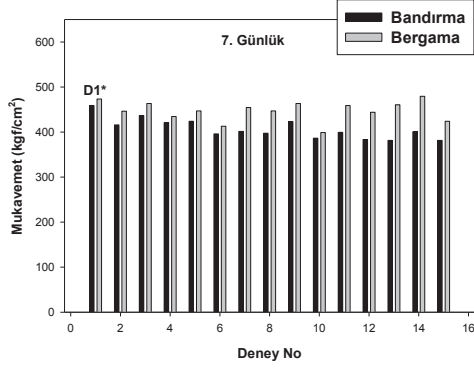
Bandırmadan Gelen Numune		Bergama’dan Gelen Numune	
722	Alkanlar	837	Sakaroz
1146	Glikoz	1650	Karboksilik Asitler, Su Piki
1470	Alkanlar	2133	Alkinler
1736	Karboksilik Asitler, Su Piki	3643	Fenoller
2334	Nitriller		

Beton kimyasal katkı numuneleri hazırlanmış ve yapılan beton deneylerine ait sonuçlar deney tasarım paket programına işlenerek parametrelerin etkisi belirlenmiştir. Tarımsal kaynaklı atık su miktarının diğer üç faktör (polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı, priz süresi düzenleyici ve köpük kesici bileşen) ile ters orantılı olarak değiştiği saptanmıştır. Akışkanlaştırıcı ve priz süresi düzenleyici bileşenlerin miktarı azaldıkça tarımsal atık suyun artması bu iki bileşenin ikame edilebileceğini göstermektedir. Ortama ilave edilen köpük kesicinin ise sistem üzerinde dikkate değer bir etkisi olmamıştır (Şekil 2.).

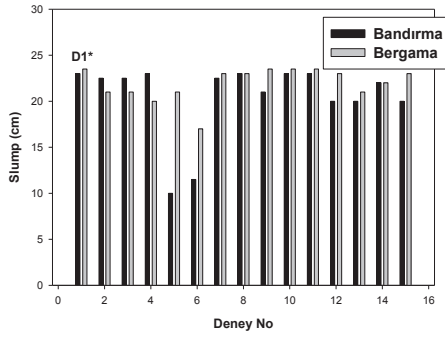


Şekil 2. Akışkanlaştırıcı bileşen, priz süresi ayarlanma amacıyla kullanılan bileşen ve köpük kesici ile tarımsal kaynaklı atık su miktarlarının bağlı değişimleri

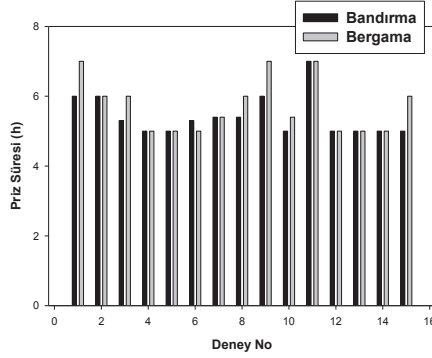




(a)



(b)



(c)

Şekil 3. Beton deneyi sonuçları (Bandırma ve Bergama’daki firmalardan gelen atık suları içeren katkıları) a) Mukavemet (1, 7 ve 28 Günlük) b) Slump c)Priz Süresi

Bandırma ve Bergama’dan alınan tarımsal endüstri atık su numuneleri ile hazırlanan katkılarla yapılan deneylerde (1, 7 ve 28 günlük) mukavemet, slump ve priz süresi değerlerinde farklılıklar olduğu görülmüştür. Bandırma’dan alınan numune katkıları Bergama’dan alınan katkıya göre 28 günlük bekleme süresi sonunda, daha düşük mukavemet göstermiştir (Şekil 3.)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarımsal kaynaklı atık sular önemli bir çevre sorunu olarak değerlendirilirken aynı zamanda katma değerli ürünlere dönüşme potansiyeline de sahiptir. Bu çalışmada atık su kullanılarak akışkanlaştırıcı beton kimyasal katkıları hazırlanmış ve beton deneyleri yapılarak sonuçlar irdelenmiştir. Atık suyun polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı ve priz süresinin ayarlanması amacıyla kullanılan bileşen yerine ikame edilebileceği anlaşılmıştır. Köpük kesici özellik bakımından gözle görülür bir iyileşme olmamıştır.

Betonda istenen en önemli iki özellik mukavemet ve işlenebilirlik değerlerinin yüksek olmasıdır. Priz süresi tüm bileşenlerde kabul edilebilir aralıkta çıkmıştır. Atık su içinde cüzi de olsa şeker bileşikleri bulunduğundan dolayı hammaddeden yapılan kesinti dengelenmiştir. Mukavemet ve slump değişimleri şahit numuneler ile kıyaslandığında Bergama'dan alınan atık suyun daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. 1 günlük mukavemet değerlerinde atık suyun etkisi daha fazla olurken 7 ve 28 günlük kırılmalarda daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu durumun modifiye polikarboksilat miktarının azalmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Slump açısından atık su ikmalinin olumsuz bir etkisi olmamıştır. Bergama'dan alınan atık su ile hazırlanan 14 nolu numune mukavemet ve slump bakımından diğerlerine göre daha iyi bir performans göstermiştir. Böylece söz konusu atık su için alternatif bir kullanım sahası oluşturulmuş ve aynı zamanda hammadde tüketiminde tasarruf sağlanabilmiştir. Aynı yaklaşımla farklı atık suların değerlendirilmesinin de önü açılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmayı 70533090 – 110 nolu proje kapsamında destekleyen KOSGEB'e ve bu çalışmanın gerçekleştirilmesine imkan sağlayan İNKA Kimya San. Tic. A.Ş. Firması'na teşekkür ediyoruz.

KAYNAKLAR

1. Özçelik, G., Gürsel (Yener), A. P., Meral, Ç. “Yapı Kimyasallarına Çevresel Çerçeveden Bakış”. Uluslararası Katılımlı Yapılarda Kimyasal Katkılar 4. Sempozyumu ve Sergisi, Ankara, 2013, 179 – 197.
2. Doğan, T. Atık Sulardan Fenolik Bileşiklerin Uzaklaştırılması için Yeni Nesil Destek Malzemeleri (Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2014.
3. Kuru, B. Agro Endüstri Atıksularından Kimyasal Çöktürme ile Azot ve fosfor Gideriminin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2012.
4. Bories, C., Borredon, M., and Vedrenne, E., “Development of Eco – Friendly Porous Fired Clay Bricks Using Pore – Forming Agents: A Review” Journal of Environmental Management, Vol. 143, 2014, 186 – 196.
5. Madurwar, M.V., Ralegaonkar, R.V., and Mandavgane, S.A., “Application of Agro – Waste for Sustainable Construction Materials: A Review” Construction and Building Materials, Vol. 38, 2013, 872 – 878.
6. Mekki, H., Anderson, M., Amar, E., Skerratt, G.R., and Benzina, M., “Olive Oil Mill Waste Water as a Replacement for Fresh Water in The Manufacture of Fired Clay” Journal of Chemical Technology and Biotechnology, Vol. 81, 2006, 1419 – 1425.
7. Barecca, F., and Fichera, C.R., “Use of Olive Stone as an Additive In Cement Lime Mortar to Improve Thermal Insulation” Energy and Buildings, Vol. 62, 2013, 507 – 513.
8. Odi, I.J.A.B, “Utilization of Olive Husk as a Replacement of Fine Aggregate in Portland Cement Concrete Mixes for non – Structural Uses, Master Thesis ” An – Najah National University Faculty of Graduate Studies, 2007, Palestine.
9. Hytris, N., Kapellakis, I.E, La Roij de, R., and Tsagarakis, K.P., “The Potential Use of Olive mill Sludge in Solidification Process” Resources, Conservation and Recycling, Vol. 40, 2004, 129 – 139.

10. Demir, L. İstatistiksel deney tasarımı yöntemi ve bir tekstil işletmesinde uygulanması. (Doktora tezi), Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2004.
11. Türk Standartları Enstitüsü, TS EN 934 – 2: Kimyasal katkılar – Beton, harç ve şerbet için – Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları – Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme, 2013.
12. Terouzi W., Yacine Z. A., Kzaiber F., Boulli A., Oussama A. Kernel olive: Marker of tracing the variety by using the FTIR spectra and chemometrics. International Journal of Chemtech Applications, 3, 2014, 01-13.
13. Provenzano M. R., Ianuzzi G., Fabri C., Senesi N. Qualitative Characterization and Differentiation of Digestates from Different Biowastes Using FTIR and Fluorescence Spectroscopies. Journal of Environmental Protection, 12, 2011, 83-89.
14. Nuhoğlu Y., Malkoc E. Thermodynamic and kinetic studies for environmentally friendly Ni(II) biosorption using waste pomace of olive oil factory. Bioresource Technology, 100, 2009, 2375 – 2380.
15. Adina C., Florinela F., Abdelmoumen T., Carmen S. Application of FTIR Spectroscopy For A Rapid Determination of Some Hydrolytic Enzymes Activity On Sea Buckthorn Substrate. Romanian Biotechnological Letters, 15, 2010, 6.
16. Makni H., Ayed L., Khadher M. B., Bakhrouf A. Evaluation of the maturity og organic waste compounds. Waste Management Research, 28, 2010, 489-495.

**ORMAN ENDÜSTRİSİ ATIK KÜLLERİ VE YÜKSEK ORANDA SU AZALTICI
KATKILARIN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLAR ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİ**

Selçuk MEMİŞ

Yrd. Doç. Dr.

Kastamonu Üniversitesi

Kastamonu, TÜRKİYE

Gökhan KAPLAN

Öğr. Gör.

Kastamonu Üniversitesi

Kastamonu, TÜRKİYE

M. Uğur YILMAZOĞLU

Arş. Gör.

Kastamonu Üniversitesi

Kastamonu, TÜRKİYE

İ.Gamze MÜTEVELLİ ÖZKAN

Arş. Gör.

Kastamonu Üniversitesi

Kastamonu, TÜRKİYE

Hasbi YAPRAK

Prof. Dr.

Kastamonu Üniversitesi

Kastamonu, TÜRKİYE

ÖZET

Dünya genelinde her yıl kişi başına düşen beton miktarının 1m^3 'den fazla ve her geçen yılda kullanımı artan bir malzeme olmasının yanı sıra bağlayıcısı olarak kullanılan çimento üretiminde dahi çevreye olumsuz etkisi söz konusu olmakta ve yaklaşık %5 CO_2 salınımı gerçekleşmektedir. Bu etkiler dikkate alındığında olumsuz etkilerin azaltılmasında mineral katkıların kullanımı her geçen gün önem kazanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı ve sürdürülebilir malzeme olarak tanımlanan orman endüstri işleme atıkları, enerji üretimi sonucunda açığa çıkmaktadır ve atık uçucu küller beton üretiminde kullanılarak dayanım ve dayanıklılık özelliklerine katkı sağladığı bilinmektedir. Ayrıca ahşap esaslı malzeme üretimi yapan tesislerde de yüksek oranda ahşap atığı uçucu küller açığa çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında; Kastamonu'da faaliyet gösteren orman endüstrisi işleme tesisinden (SFC Kastamonu tesisi) elde edilen farklı özellikte ahşap atığı külleri ile üretilecek kendiliğinden yerleşen harç üretimi araştırılmıştır. Ahşap atığı küller bilyeli öğütücü kullanılarak belirli bir inceliğe getirilmiş ve harçların üretiminde çimento yerine %10, %20 ve %30 oranlarında kullanılmıştır. Harçların s/b (su/bağlayıcı) oranı 0,30 arasında seçilmiş ve harçların s/b oranının azaltılması için polikarboksilat esaslı yüksek oranda su azaltma özelliğine sahip kimyasal katkı kullanılmıştır. Agregası olarak silis kumu, çimento olarak ise CEM I 42,5 R sınıfı seçilmiştir. Taze harçları üzerinde 0 ve 60. dakikalarda yayılma çapları ölçülmüş ve kıvam kayıpları belirlenmiştir. Sertleşmiş harç örneklerinde ise 1, 3, 7 ve 28. günlerde basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilerek mekanik özellikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışma kapsamında, harçların taze ve sertleşmiş özellikleri dikkate alınarak ahşap atığı külü için optimum oran belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ahşap atığı uçucu kül, Kendiliğinden yerleşen Harç, Akışkanlaştırıcı

EFFECTS ON SELF-COMPACTING MORTAR CONTENT OF HIGH WATER-REDUCING ADMIXTURES AND FOREST-INDUSTRIAL WASTE FLY ASH

ABSTRACT

The amount of concrete per person per year in the world is more than 1m^3 and a material that is increasing in use every year. Moreover, Cement used as a binder also has a negative effect on the environment even in its production, and about 8% of CO_2 is emitted. Taking these effects into consideration, the use of mineral additives is becoming more important in reducing the negative effects. Forest industry processing wastes, described as renewable energy source and sustainable material, show up as a result of energy production. Furthermore, It is also known that waste fly ash is also used in concrete production to contribute to strength and durability properties. In addition, plants that produce wood-based materials are also exposed to fly ash from wood waste. In this study; self-compacting mortar production, to be produced with forest-industrial waste ashes of different properties and obtained from the forest industry plant operating in Kastamonu (SFC Kastamonu facility), were investigated. Forest-industrial waste ashes were brought to a certain level using a ball mill and in the production of mortars, this ash is used by replacing cement with certain proportions (10%, 20% and 30%). The ratio of w/b (water / binder) of the mortars is selected between 0,30 and a polycarboxylate-based chemical additive, high water reduction capability, was used to reduce the w/b ratio of the mortars. Silica sand as aggregate and CEM I 42,5 R class as cement were selected. The flow diameters were measured at 0th and 60th minute, however, consistency losses were determined. On hardened mortar specimens, compressive strength tests were carried out to determine the mechanical properties at 1th, 3th, 7th and 28th days. As a result of this study, the optimum ratio for forest-industrial waste ash was determined considering the fresh and hardened properties of the mortars.

Keywords: Forest-industrial waste fly ash, Self-compacting mortar, Plasticiser

1. GİRİŞ

Uygarlığın gelişimiyle orantılı olarak günümüzde doğal kaynakların tüketimi artmakta ve bunun sonucunda insanlığın en büyük endişesi olan çevre kirliliği geri dönülmesi zor bir noktaya doğru ilerlemektedir. Bu konuda günümüz problemlerin en başında sera gazı etkisi yaratan CO₂ salınımı gelmektedir. Bu salınım doğal kaynakların bilinçsiz tüketimini ve ekosistemin dengesini de olumsuz yönde etkilemektedir[1]. Ekosistemin bozulması su kaynaklarının azalması, enerji kıtlığı, erozyonların oluşması gibi istenmeyen bir takım olaylara neden olmakta ve özellikle sanayileşmenin getirdiği hızlı kentleşme ile de bu olaylar hız kazanmaktadır. Kentleşmenin paralelinde artan yapı ihtiyacını karşılamak için çok sayıda sanayi tesisi ve konut yapılmaktadır. Bunların imalatında ekonomiklik, ulaşılabilirlik ve kolay uygulanabilirlik gibi avantajlarından dolayı genellikle yapı malzemesi olarak beton tercih edilmektedir.

Dünya çapında her yıl insan başına 1 m³ betondan daha fazla beton üretilirken bu betonlarda bağlayıcı madde olarak genellikle portland çimentosu kullanılmakta ve kullanılan bu çimento yıllık yaklaşık 3 milyar ton miktara karşılık gelmektedir[2,3]. Tüketilen her 600 kg çimento üretimi için atmosfere yaklaşık 400 kg CO₂ salınımı yapılacağı ön görüldüğünde bu oran dünyadaki CO₂ salınımının yaklaşık olarak %5 ine tekabül etmektedir[4,5,6]. Bir farkındalık olarak her geçen gün artan çimento ihtiyacını, atmosfere daha düşük CO₂ salarak karşılayabilecek sürdürülebilir malzemeler araştırılmakta ve endüstriyel atıkların kullanılması gibi alternatif yollara başvurulmaktadır. Çevresel konular hakkında giderek artan bu küresel farkındalık, alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönelik artan ilgiyi açıklayabilmektedir.

Özellikle uçucu kül, silis dumanı gibi endüstriyel yan ürünler betonda çimento yerine kullanılabilir. Aynı zamanda tarımsal atık ürünlerinden odun külü, pirinç kabuğu külü gibi malzemelerin kullanılmasına yönelik çalışmalar da ağırlık kazanmıştır. Beton karışımlarında odun külünün çimento ile belli oranlarda ikame edilmesi çimento tüketiminin azaltılmasının yanı sıra betonun durabilite özelliklerine de fayda sağlamaktadır [5]. Aynı zamanda puzolanik özellik göstererek

betonun geç dayanımında da artışlar meydana getirmektedir. Ancak, kullanılan ikame oranlarına bağlı olarak betonun erken dayanımında biraz düşüşlere de neden olabilmektedir [4,7]. Çimento esaslı malzemelerde çimento yerine ikame yapı malzemesi olarak kullanılan odun külü gibi küller, puzolanik özelliği sayesinde etkinleştirici olarak önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak odun külünün kullanımı, bünyesindeki karbon içeriğinden dolayı normal dayanımlı betonlarla sınırlıdır [8,9].

Bu çalışmada SFC Kastamonu tesisinden elde edilen üç farklı kazana ait orman endüstri atığı beton karışımlarda ayrı ayrı kullanılarak çimento yerine belirli oranlarda ikame edilmiştir. Odun külünün puzolanik aktivitesi göz önüne alınarak elde edilen betonların dayanımı ve dayanıklılığı araştırılmıştır. Tesis atığı olan uçucu küllerin çimento esaslı kompozitlerde taze ve sertleşmiş harç özelliklerine etkileri incelenmiştir.

2. MALZEME ve YÖNTEM

2.1. Malzeme

Harçların üretiminde TS EN 197-1 standardına uygun CEM-I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Çimento yerine orman endüstrisi atığı olan uçucu küller (UK) kullanılmıştır. Uçucu küller Kastamonu ilinde faaliyet gösteren SFC Kastamonu orman ürünleri entegre tesisinden elde edilmiştir. Uçucu küller tesise ait farklı yapıdaki üç kazandan (K1-K2-K3) alınmıştır. CEM-I 42,5 R çimentosuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 1'de ve uçucu küllere ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Serbest Kireç	Kızdırma Kaybı	Çözünmeyen Kalıntı
64,7	19,12	4,75	3,53	0,94	0,21	0,88	2,85	1,41	2,36	0,23
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Özgül Ağırlık		Özgül Yüzey (cm ² /gr)				
58,79	12,69	7,74	9,83	3,1		3640				

Tablo 2. Orman endüstri atığı küllerine ait kimyasal özellikler

Bileşim (%)	K1	K2	K3
SiO ₂	25,44	28,86	17,46
Al ₂ O ₃	6,13	9,65	5,21
Fe ₂ O ₃	3,77	3,82	2,96
CaO	38,23	45,55	40,42
MgO	1,90	5,13	1,59
Na ₂ O	0,97	1,44	0,64
K ₂ O	1,11	2,77	0,87
SO ₃	0,10	3,21	0,37

Harçların üretiminde agrega olarak 0-2 mm elek açıklığına sahip silis agregası kullanılmıştır. Üretilen harçların s/b oranının düşük olmasından dolayı yeni nesil polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı ve harç karışımlarında Kastamonu şehir şebekesi suyu kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Bu çalışmada farklı yapıdaki orman endüstrisi uçucu külleri çimento ile yer değiştirilerek yüksek dayanımlı kompozitler üretilmiştir. Bu amaçla uçucu küller tesis içerisindeki 3 farklı kazan ünitesinden alınarak, K1, K2 ve K3 külleri çimento ile %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirilmiştir. K2 külünün inceliği yeterli olduğu için ilk olarak 0,125 mm elekten elenmiş ve elek altına geçen uçucu kül kullanılmıştır. K1 ve K3 külleri ise daha iri tane dağılımına sahip olduğu için ilk olarak göz açıklığı 1,18 mm olan elekten elenmiştir. Elek altına geçen uçucu kül taneleri bilyeli değirmen yardımı ile 60 dakika süre ile öğütülmüştür. Öğütme işleminde kullanılan bilyeli değirmenin dönüş hızı 70 devir/dak'dır. Değirmen, 43 adet Ø38,10 mm, 67 adet Ø29,72 mm, 10 adet Ø25,40 mm, 71 adet Ø19,05 mm, 94 adet Ø15,50 mm (toplam 285 adet) çelik bilye içermektedir. Bütün harç karışımlarında s/b (su/bağlayıcı) oranı 0.30, a/b (agrega/bağlayıcı) oranı ise 0.8 olarak sabit tutulmuştur. Harç karışımlarının hazırlanmasına ilk olarak agrega, çimento ve uçucu küllerin 2 dakika kuru olarak karıştırılması ile başlanmıştır. Daha sonra suyun ve kimyasal katkının 2/3'ü kuru karışıma ilave

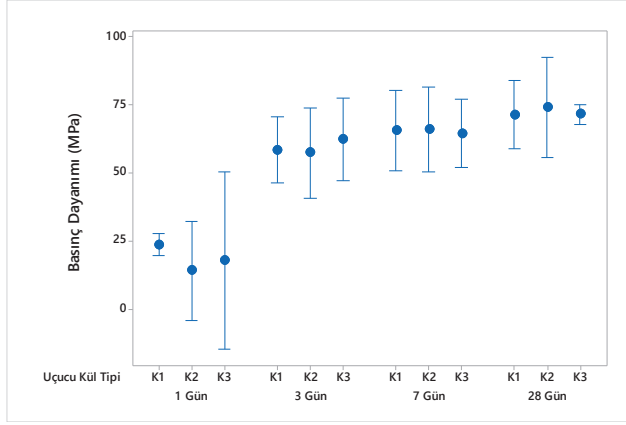
edilmiştir. Harç mikseri sıvılar ilave edildikten sonra 1 dakika 140 rpm ve 4 dakika 285 rpm hızda çalıştırılmıştır. Süre sonunda mikserin karıştırma kabının tabanında topaklanan kuru malzemeler (agrega ve bağlayıcılar) spatula yardımı ile karıştırılmış ve harcın 1 dakika dinlenmesi için beklenilmiştir. Daha sonra su ve kimyasal katkının kalan 1/3'ü karışıma ilave edilerek 285 rpm devirde 5 dakika karıştırma işlemi uygulanmıştır.

Taze harçlar üzerinde yayılma tablası kullanılarak yayılma çapları ölçülmüştür. Yayılma çapları 0 ve 60. dakikalarda ölçülerek kıvam kayıpları da tespit edilmiştir [10]. Harçların mekanik özelliklerini belirlemek için 40x40x160 mm, boyutsal kararlılık özelliklerini belirlemek için ise 25x25x285 mm ayrıtlı harç çubukları üretilmiştir [11]. Sertleşmiş harç örnekleri 24 saat sonra kalıplarından sökülerek kirece doymun su içerisine yerleştirilmiştir. 25x25x285 mm ayrıtlı harç çubukları kalıplarından söküldükten sonra ilk boy okumaları yapılmış ve kür için kirece doymun su içerisine yerleştirilmiştir. Büzülme için hazırlanan harç çubukları 7 gün su kürüne tabi tutulmuş ve sonrasında oda koşullarında bekletilerek her 7 gündeki boy değişimleri belirlenmiştir. Her bir grup için 3'er adet dökülen 40x40x160 mm boyutlarındaki sertleşmiş harç örnekleri üzerinde ise 1, 3, 7 ve 28. günlerde basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir [12]. Ayrıca sertleşmiş harçlar numunelerinin 90. güne kadar boy değişimleri belirlenerek büzülme davranışları tespit edilmiştir. Sertleşmiş harç örneklerinde 1, 3, 7 ve 28. günlerde tek eksenli basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Uçucu Kül Tipinin Etkileri

Uçucu kül tipinin 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı üzerindeki etkisi Şekil 1'de verilmiştir. 1 günlük basınç dayanımları açısından K1 külünün dayanımları arttırdığı ve K1 külünün kullanılması durumunda 1 günlük basınç dayanımları 20 MPa değerini geçtiği görülmüştür. Ancak K2 ve K3 küllerinden elde edilen harçların basınç dayanımları 20 MPa değerinin altında kalmıştır. K1 külü 28 günlük basınç dayanımının yaklaşık %33'ünü 1 günde sağlamaktadır. K2 ve K3 küllerinde ise bu değerler sırasıyla %29,1 ve %25,1 olarak belirlenmiştir.



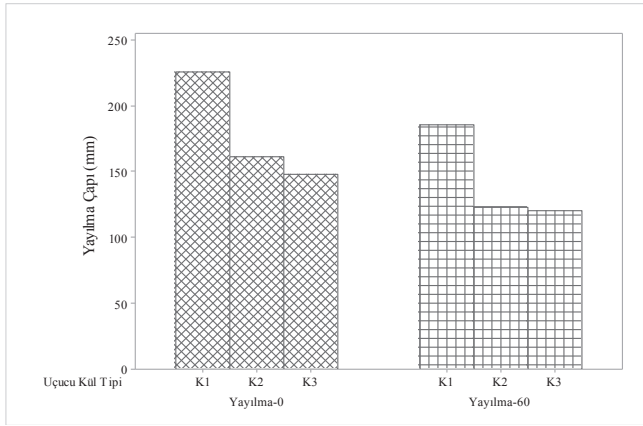
Şekil 1. Uçucu kül tipinin basınç dayanımı üzerindeki etkileri

K3 külü ile üretilen harçların 3 günlük basınç dayanımları diğer küllere göre daha fazla olmaktadır. K3 külü ile üretilen harçların 3 günlük basınç dayanımları 60 MPa değerini geçmektedir. K1 ve K2 küllerinin ise 3 günlük basınç dayanımları açısından benzer özellikler göstermektedir. K3 külü 28 günlük basınç dayanımının yaklaşık %87'sini 3 gün sonunda sağlamaktadır. K1 ve K2 külleri ise 28 günlük basınç dayanımının %82'sini ve %77'sini 3 gün sonunda elde etmektedir.

7 günlük basınç dayanımları açısından uçucu kül tipleri arasında büyük farklılıklar tespit edilememiştir. K1, K2 ve K3 küllerinin 7. gün sonunda yaklaşık 65 MPa dayanıma sahip olduğu Şekil 1'de görülmektedir. K1, K2 ve K3 külleri 28 günlük basınç dayanımının yaklaşık %90'nı 7 günlük kür işlemi sonunda elde etmektedir. 28 günlük basınç dayanımları açısından ise K2 külü ile üretilen harçların yaklaşık 75 MPa dayanıma sahip olduğu görülmektedir. K1 ve K3 külleri ile üretilen harçların 28. gün basınç dayanımı değerlerine göre benzer özellikler göstermiş ve yaklaşık 70 MPa basınç dayanımına sahiptirler. K2 külünün erken yaş dayanımlarını azalttığı ancak nihai yaş açısından daha yüksek basınç dayanımları sağladığı görülmüştür. Basınç dayanımları açısından K1 külünün daha uygun olduğu belirlenmiştir.

Uçucu kül tipinin taze harç özellikleri üzerindeki etkisi Şekil 2'de verilmiştir. Uçucu kül katkılı harçların başlangıç (0) ve 60. dakikalarda yayılma çapları ölçülerek işlenebilirlikleri ve kıvam kayıpları

tespit edilmiştir. K1 külü kullanılarak üretilen harçların taze hal özellikleri diğer küllere göre daha üstün olmaktadır. Özellikle K1 külü ile üretilen harçların yayılma çapları 225 mm olarak ölçülmüştür. K2 ve K3 külleri ise harçların taze hal özelliklerine benzer şekilde etki etmektedir. K2 ve K3 külleri ile üretilen harçların yayılma çapları K1 külü ile üretilen harçlara göre yaklaşık %28-35 arasında azalmaktadır.

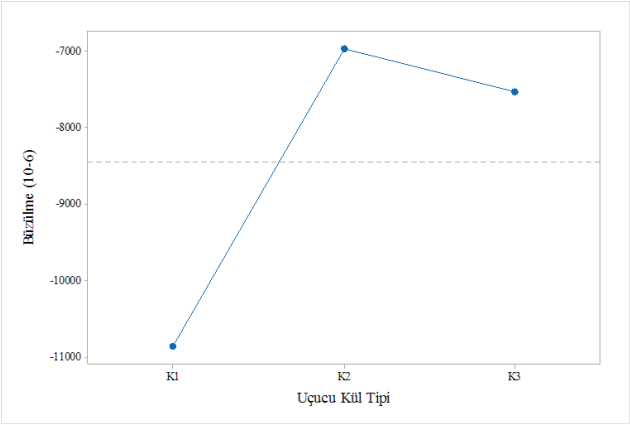


Şekil 2. Uçucu kül tipinin taze harç özelliklerine etkisi

Harçların 60 dakika sonra yayılma çapları tekrar ölçülerek kıvam kayıpları tespit edilmiştir. K1 külü ile üretilen harçların 60 dakika sonunda yayılma çapları %17,7 oranında azalmaktadır. K2 ve K3 külleri ile üretilen harçların 60 dakika sonundaki kıvam kayıpları ise sırasıyla %24,2 ve 18,9 olarak belirlenmiştir. K3 külü ile üretilen harçların kıvam kaybı az olmasına rağmen işlenebilirlik açısından yeterli olmamaktadır. Sertleşmiş harç özelliklerinde olduğu gibi taze harç özellikleri açısından da K1 külünün kullanılması daha uygun olmaktadır.

Şekil 3'de uçucu kül tipinin harçların büzülme davranışı üzerindeki etkileri verilmiştir. Harçların büzülme davranışları 35. günde (7 gün su kürü+28 gün oda koşulları) elde edilen değerlere göre belirlenmiştir. Şekil 3'de görüldüğü gibi K1 külü ile üretilen harçların büzülme davranışının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. K1 külü ile üretilen harçların taze ve sertleşmiş hal özellikleri diğer

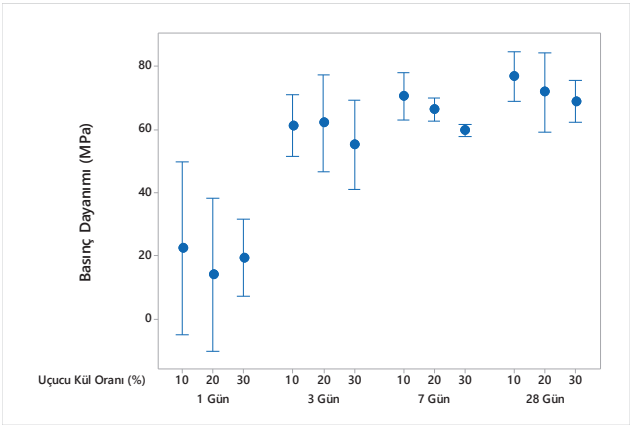
küllere göre daha olumlu katkı sağlarken boyutsal kararlılık açısından olumsuz özellik göstermektedir. K2 külü ile üretilen harçların büzülme özellikleri diğer küllere göre daha uygun olmaktadır. Boyutsal kararlılık açısından K2 ve K3 külleri ile üretilen harçlar benzer özellikler göstermiştir.



Şekil 3. Uçucu kül tipinin boyutsal kararlılık üzerindeki etkileri (35. gün)

3.2. Uçucu Kül Oranının Etkileri

Şekil 4'de uçucu kül oranının 1,3,7 ve 28. günlerdeki sertleşmiş harç özelliklerine etkileri verilmiştir.



Şekil 4. Uçucu kül oranının sertleşmiş harç özelliklerine etkisi

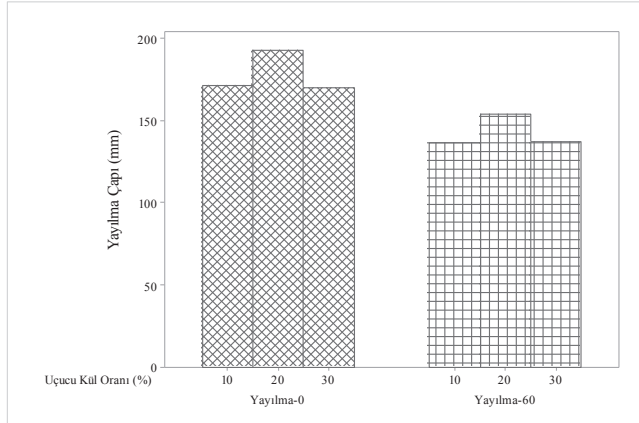
Uçucu kül oranının 1 günlük basınç dayanımı üzerindeki etkileri Şekil 4'de görülmektedir. Uçucu kül oranının %10 ve 30 olması durumunda basınç dayanımlarında artışlar gözlenirken, uçucu kül oranının %20 olması durumunda basınç dayanımı azalmaktadır. Uçucu kül oranının %10 ve 30 olması halinde 28 günlük basınç dayanımının yaklaşık %30'u 1 gün sonunda elde edilmektedir. Uçucu kül oranının %20 olması durumunda ise bu değer %20 olmaktadır. 1 günlük basınç dayanımları açısından %20 oranında uçucu kül kullanımı dayanım kaybına yol açmaktadır. Uçucu külün %10 ve 20 oranlarında kullanılması durumunda 3 günlük basınç dayanımlarında artışlar gözlenmiştir. Özellikle uçucu külün %10-20 oranında kullanılması durumunda 60 MPa ve üstü dayanıma sahip harçlar elde edilmiştir.

Harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanımı davranışları benzer özellikler göstermektedir. Uçucu kül oranındaki artış ile birlikte basınç dayanımları azalmaktadır. Uçucu kül oranının %10 olması halinde 28 günlük basınç dayanımının %91,8'i 7. gün sonunda elde edilmiştir. %20 uçucu kül kullanıldığı takdirde 28 günlük basınç dayanımının %92,4'ü 7 günlük kür işlemi sonucunda sağlanmıştır. Uçucu kül oranının %30 olması halinde ise bu değer %86,6 olarak belirlenmiştir. 28 günlük basınç dayanımları açısından uçucu kül oranının %10 olması durumunda 75 MPa ve üstü basınç dayanımları elde edilmiştir. Harçların mekanik özellikleri dikkate alındığında %10 oranında uçucu kül kullanımı daha yüksek basınç dayanımları sağlamaktadır. Ancak ekoloji ve sürdürülebilirlik kriterleri dikkate alındığında %20 ve 30 oranında uçucu kül kullanımı da avantajlar sağlayacaktır.

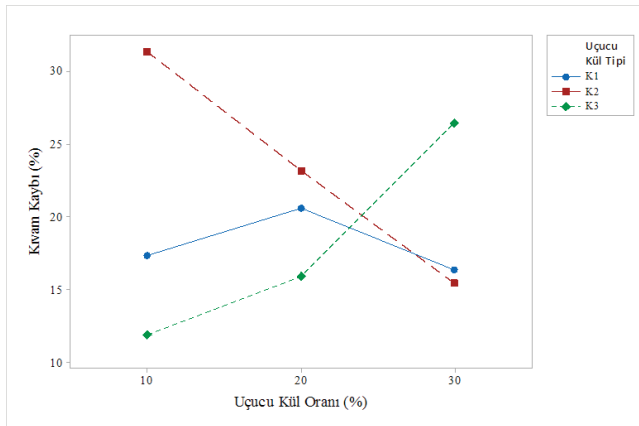
Uçucu kül oranının %20 olması halinde harçların taze hal özellikleri (Şekil 5) iyileşmektedir. Ancak %10 ve 30 oranında uçucu kül kullanımı da harçların işlenebilirliği açısından benzer özellikler göstermektedir. %10,20 ve 30 oranlarında uçucu kül kullanıldığı takdirde 60 dakika sonundaki kıvam kaybı yaklaşık %20 olarak ölçülmüş ve harçların işlenebilirliği açısından %20 oranında uçucu kül kullanımı daha olumlu sonuçlar sağladığı görülmüştür. Şekil 6'da uçucu kül özelliklerinin kıvam kaybı üzerindeki etkileri verilmiştir.

K1 uçucu külünün %10 ve 30 oranında kullanılması durumunda ve K2 külünün de kullanım oranı arttıkça harçların kıvam kaybı azalmaktadır. Özellikle %30 oranında K2 külünün kullanılması durumunda kıvam kaybı yaklaşık %15 olmakta ve K3 külündeki artış ile birlikte harçların kıvam

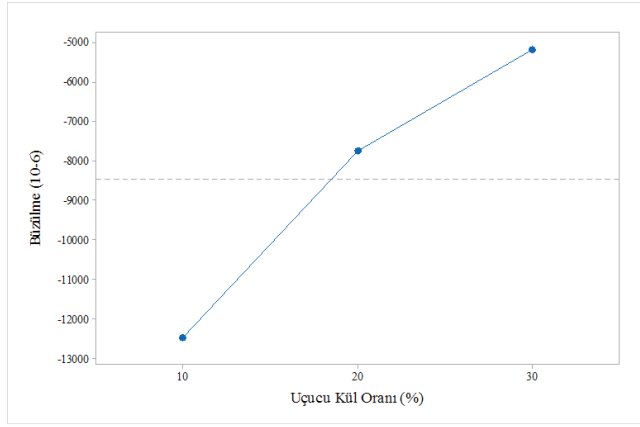
kayıpları da artmaktadır. Kıvam kaybının azaltılması için K3 külünün %10 oranında kullanılması daha uygun olmaktadır. Ancak K3 külünün işlenebilirlik açısından yeterli olmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 5. Uçucu kül oranının taze harç özelliklerine etkisi



Şekil 6. Uçucu kül özelliklerinin kıvam kaybı üzerindeki etkileri



Şekil 7. Uçucu kül oranının boyutsal kararlılık üzerindeki etkileri

Uçucu kül oranının harçların 35. günündeki boyutsal kararlılığı üzerindeki etkisi Şekil 7'de verilmiştir. Uçucu kül oranındaki artış ile birlikte harçların büzülme değerleri azalmaktadır. Özellikle uçucu kül oranının %30 olması halinde büzülme değerleri yaklaşık -5000×10^{-6} olmaktadır. Uçucu kül oranının %10 olması halinde büzülme değerleri ise yaklaşık -12500×10^{-6} olmaktadır. Bu yüzden K2 külünün %30 oranında kullanılması harçların büzülme davranışlarını iyileştirmektedir. Ancak K2 külünün %30 oranında kullanılması durumunda diğer harç karışımlarına göre daha düşük basınç dayanımları elde edilmektedir.

4. SONUÇLAR

Orman endüstri atık küllerinin kullanıldığı bu çalışmada;

- Erken yaş dayanımları açısından K2 külünün basınç dayanımları düşük olmasına rağmen nihai yaş dayanımlarını arttırmaktadır. Ancak harçların mekanik özellikleri açısından K1 külünün kullanılması daha uygundur.
- Yapılan çalışmada; orman endüstrisinden çıkan atık malzemeler kullanılarak 70 MPa ve üstü dayanıma sahip çimento esaslı kompozitlerin üretilebileceği görülmüştür.

- K1 külü işlenebilirlik açısından diğer kül tiplerine göre daha yüksek performans göstermiştir. Ancak K1 külü üretilen harçların daha çok büzülme özelliği gösterdiği belirlenmiştir ve K2 külü ile üretilen harçların da büzülme özellikleri diğer kül tiplerine göre daha olumlu sonuçlar ortaya çıkarmıştır.
- %10 oranında uçucu kül kullanımı basınç dayanımlarını arttırmaktadır. Ancak ekolojik nedenlerden dolayı %20 ve 30 oranında uçucu kül kullanımı da mümkün olmaktadır. Literatürde yer aldığı gibi orman endüstrisi atıklarının en uygun kullanım oranı %10 olarak belirlenirken, benzer sonuçlar bu çalışmada da elde edilmiştir.
- %20 oranında uçucu kül kullanımı harçların işlenebilirliğine olumlu katkı sağlamaktadır. %30 oranında uçucu kül kullanımı ise işlenebilirlik açısından %10 uçucu kül kullanımı ile aynı özellikleri göstermektedir. K2 külünün kullanım oranının arttıkça kıvam kaybı azalmaktadır. Ancak K3 külünün kullanım oranı arttığında kıvam kaybı değerleri artış göstermektedir.
- Uçucu kül oranındaki artış harçların büzülme özelliklerini iyileştirmektedir. Bu olayın nedeni, çimento miktarının azalması ile açıklanmaktadır.
- Taze, sertleşmiş harç özellikleri ve boyutsal kararlık davranışları dikkate alındığında K1 külünün %10 oranında kullanılması daha uygundur. Ancak orman endüstrisinden elde edilen uçucu küllerin durabilite ve mikroyapı özellikleri detaylı bir şekilde ele alınmalıdır.

Bu çalışma verileri dikkate alınarak, orman endüstrisi atıkları kullanılarak yüksek dayanıma sahip ve uygun işlenebilirlikte çimento esaslı kompozitlerin üretilebileceği ve olumlu katkılar sağlayabileceği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Kemal ÖZTÜRK. Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri. G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi Cilt 22, Sayı 1 (2002) 47-65
- [2] Scrivener KL, Kirkpatrick RJ. Innovation in use and research on cementitious material. Cem Concr Res 2008;38(2):128–36.
- [3] Zampini D. Future developments of concrete in the construction materials industry. In: Forde M, editor. ICE manual of construction materials, vol. 1. Thomas Telford; 2009. p. 251–8 (Chapter 21).
- [4] Swaptik Chowdhury, Mihir Mishra, Om Suganya. The incorporation of wood waste ash as a partial cement replacement material for making structural grade concrete: An overview. Ain Shams Engineering Journal (2015) 6, 429–437
- [5] Cheah Chee Ban, Mahyuddin Ramli. The implementation of wood waste ash as a partial cement replacement material in the production of structural grade concrete and mortar: An overview. Resources, Conservation and Recycling 55 (2011) 669–685
- [6] Humphreys K, Mahasen M. Substudy 8: climate change—toward a sustainable cement industry. An independent study commissioned by the world business council for sustainable development (WBCSD); 2002.
- [7] Rafat Siddique. Utilization of wood ash in concrete manufacturing. Resources, Conservation and Recycling 67 (2012) 27– 33
- [8] Udoeyo FF, Dashibil PU. Sawdust ash as concrete material. J Mater Civ Eng 2002;14(2):173–6.
- [9] Etiegni L, Campbell AG. Physical and chemical characteristics of wood ash. Bioresource Technol 1991;37(2):173–8.
- [10] ASTM C230/C230M–14, Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement.
- [11] ASTM C596–09 (2017) Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement.
- [12] ASTM C109/C109M-16a Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars.

CAM TOZU KATKILI BETONUN YARMADA ÇEKME DAYANIMINA DONMA ÇÖZÜLMENİN ETKİSİ

Yüksel ESEN

Doç.Dr.

Fırat Üniversitesi

Elazığ, Merkez

Murat ŞAHİN

İnşaat Mühendisi

Fırat Üniversitesi

Elazığ, Merkez

Eyyüp ORHAN

Öğretim Görevlisi

Bozok Üniversitesi

Yozgat, Sorgun

ÖZET

Bu çalışmada, öğütülmüş atık cam tozu katkı maddesi olarak ilave edilmesiyle üretilen betonun yarmada çekme dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliğine donma-çözülmenin etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan öğütülmüş atık cam tozu betona, %0, %5, %10, %15, %20, oranlarında, çimento ile yer değiştirilerek ilave edilmiştir. Deneyleri için 100×100×100 mm ölçülerinde küp numuneler 20±2 °C' de 7, 28, 90 gün standart su küründe bekletilmişlerdir. TS EN 15177'ya göre donma çözölmeye maruz bırakılan numunelere, ultrasonik ses geçirgenliği hızı ve yarmada çekme dayanım deneyleri yapılmıştır. Cam tozu katkısının pozolanik aktivitesinden dolayı ileriki yaşlarda betonun donma-çözölme etkisine karşı, kontrol betonuna göre yarmada çekme dayanımında artış göstermiştir. Optimum cam tozu kullanım değeri %10 ve %15 oranında olduğu görölmüştür.

Anahtar Kelimeler: Donma-Çözölme, Basınç Dayanımı, Beton

THE EFFECT OF FREEZING AND THAWING ON THE SPLITTING TENSILE STRENGTH OF GLASS POWDER ADDED CONCRETE

ABSTRACT

In this study, the effect of freezing-thawing on the tensile strength and ultrasound sound permeability of concrete produced by adding grinded waste glass as an additive substance was experimentally investigated. The ground waste glass used in the experiments was %0, %5, %10, %15, %20, by cement. For the experiments, cube samples were stored at $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ for 7, 28, 90 days in standard water cure at 100x100x100 mm. Ultrasonic sound permeability speed and tensile strength tests on the surface of the specimens subjected to freezing and thawing according to TS EN 15177 have been carried out. Due to the pozzolanic activity of the glass dust additive, at the later ages, the tensile strength of the concrete against the freeze-thaw effect of the concrete increased compared to the control concrete. Optimum glass dust usage value was found to be %10 and %15.

.

Keywords: *Freezing-Thawing, Compressive Strength, Concrete*

GİRİŞ

Nüfus artışı, toplumun tüketim alışkanlıkları, endüstriyel tesislerin çoğalması ve bu gelişmelere paralel olarak endüstriyel atıkların çeşitli çevre sorunlarını meydana getirdiği bilinmektedir. Bu sorunların çözümü için atık malzemelerin depolanması, imha edilmesi veya yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir [1]. Günümüzde, kaliteli ve ekonomik yapı malzemelerine olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bu nedenle, bazı endüstriyel atıkların yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi gerek ekonomik gerek çevre sorunlarını çözme bakımından büyük önem taşımaktadır.

Camlar günlük hayatta, şişe camı, pencere camı, dekoratif camlar, ampül camı, ışın tüpleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır [2]. Bu camlar atıl malzeme olduktan sonra çimento üretiminde, cam agrega veya filler malzeme olarak ve çimento yerine puzolanik katkı olarak geri dönüştürülmesi sağlanabilmektedir. Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde katı atıklar sosyal, ekonomik ve çevresel sorunların en büyüğünü oluşturmaktadır. Atıkların denetim, kontrol altına alınması, çimento ve beton üretimine geri kazandırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır (3-17). Çalışmalara göre camın %18.46'sı geri kazanılabilir olduğu görülmektedir. Birçok yerleşim yeri için çok büyük problem teşkil eden katı atıkların önemli bir miktarını oluşturan cam atıklar, bazı durumlarda kaynağından özel olarak ayrılırken, bir miktarı da çöplüklerden ayırt edilerek yeniden değerlendirme için toplanmaktadır. Bu atıkların önemli bir bölümü cam eşya üretiminde kullanılmaktadır.

Bağlayıcı malzemesi çimento olan yapı malzemeleri servis ömrü boyunca fiziksel, kimyasal ve biyolojik ortamlar ile hasara uğrayabilir [18-20]. Bu etkiler betonun dayanım ve durabilitesinin zamanla azalmasına yol açabilir. Tekrarlı donma-çözülme etkisi, fiziksel etkilerden bir tanesidir. Donma-çözülme çevrimlerinin şiddeti betonun bulunduğu ortama, oluşan sıcaklık farklarına, betonun nem durumuna, suyun donma hızı gibi etkenlere bağlı olarak değişir. Sürekli tekrarlayan donma-çözülme ile birlikte betonda hasar oluşmaya başlar. Betondaki hasar oluşumu betonun çatlaması veya yüzeyde oluşan soyulma ve dökülmeler olarak görülür. Beton yollar, kaplamalar veya beton duvarlar büyük oranlarda Donma-çözülme etkisi ile yüzey hasarlarına uğrayabilirler. Betonun donma-çözülme dayanımı ve yüzeylerde oluşabilecek soyulma, dökülme miktarlarını belirleyebilmek için değişik deney yöntemleri ve değerlendirme teknikleri vardır [21-23]. Betonun taze halde iken don olayının

gerçekleşmesi durumunda dayanım kayıpları olabilir. Gerçekte tam priz başlangıcında don olayı tehlikelidir, bu nedenle soğuk havalarda beton dökülürken gerekli önlemler alınmalıdır.[24] Atık camlar beton içerisinde direkt olarak kullanılamamaktadır. Yıkayıp yabancı maddelerinden arındırıldıktan sonra, öğütme işlemine tabi tutulur. Öğütme işleminden sonra elenerek tane büyüklüğüne göre sınıflara ayrılır. İri malzemeler betonda agrega yerine, toz malzemeler ise çimento yerine veya filler malzeme olarak kullanılır (25).

Literatür araştırmalarında; Shao ve diğ., 38 μm 'den daha küçük tane çaplı cam tozunun beton içerisinde puzzolanik etki yaptığını bulmuşlardır. Shayan ve Xu, atık cam tozunun beton durabilitesine katkıda bulunduğunu göstermiştir. Shi ve diğ., atık cam tozu kullanılarak üretilmiş harçlar üzerinde yapmış oldukları testler neticesinde alkali-silika reaksiyonunun azaldığını bulmuşlardır. Cornialdesi ve diğ., 100 μm 'den daha küçük tane çaplı cam tozu ile yapılan harç ve betonlarda alkali-silika reaksiyonlarının hiç oluşmadığını göstermişlerdir. Topcu ve Canbaz ise atık camların betonda iri agrega olarak kullanılması durumunda, betonun işlenebilirlik ve basınç dayanımını bir miktar düşürdüğünü belirtmişlerdir (26-29).

AMAÇ

Camlar atıl malzeme olduktan sonra çimento üretiminde, cam agrega veya filler malzeme olarak ve çimento yerine puzolanik katkı olarak geri dönüştürülmesi sağlanabilmektedir. Bu çalışmada ise atık camlar öğütülerek betonda çimento yerine puzolanik katkı olarak kullanılmıştır. Atık cam katkılı betonların donma çözülme etkisine maruz kaldıktan sonra yarmada çekme dayanımındaki değişimler deneysel olarak incelenmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneylerde, TS EN 197-1'de CEM I 42,5 R olarak tanımlanan çimento kullanılmıştır [30]. Mineral katkı olarak atık pencere camlarının 50 μm tane büyüklüğüne kadar öğütülmesi sonucu elde edilen cam tozu kullanılmıştır. Kimyasal katkı olarak üçüncü nesil süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcının özellikleri Tablo 1'de, Çimentonun ve Cam tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri ise Tablo 2'de, verilmiştir.

Görünüm / Renk	Açık kahverengi sıvı
Kimyasal Yapı	Modifiye polikarboksilat esaslı polimer
Yoğunluk	1.07 – 1.11 kg/l (20 °C’de)
pH Değeri	3 - 7
Donma Noktası	-9
Suda Çözünebilir Klorür Yüzdesi	En fazla % 0.1, Klorür içermez.

Tablo 1. Akışkanlaştırıcı katkının kimyasal ve fiziksel özellikleri [32]

Bileşenler (%)	Portland Çimentosu	Atık Cam Tozu
SiO ₂	21.12	73.90
Al ₂ O ₃	5.62	1.69
Fe ₂ O ₃	3.24	0.98
CaO	62.94	9.89
SO ₃	2.30	1.72
MgO	2.73	2.96
Na ₂ O	-	7.86
Kızdırma Kaybı	1.78	-
Özgül Yüzey (cm ² /gr) (Blaine)	3430	-
Özgül Ağırlık	3.10	2.6

Tablo 2. Çimentonun ve Atık cam tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri [31]

Karışım Oranları ve Detayları

Bu çalışmada mineral katkı olarak kullanılan atık cam tozu kullanılan betonların yarmada çekme dayanımına donma çözülme etkisini belirlemek amacıyla 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri için beş farklı beton serisi hazırlanmıştır. Bu seriler; kontrol betonları (Control), %5 cam tozu katkılı betonlar (CGP5), %10 cam tozu katkılı betonlar (CGP10), %15 cam tozu katkılı betonlar (CGP15) ve %20 cam tozu katkılı betonlardan (CGP20) oluşmaktadır. Yarmada çekme dayanımı, ultrasonik ses geçirgenliği ve donma çözülme deneyleri için 100×100×100 mm ölçülerinde küp numune kalıpları kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar, Her defasında 25'er kez şişlenerek 3 aşamada kalıplara yerleştirilmiştir. Bir gün kalıplarda bekletilen numuneler sökülerek 7, 28 ve 90 gün 20±2 °C'de su kürüne tabi tutulmuşlardır. Hazırlanan beton numunelerin karışım oranları Tablo 3'de verilmiştir.

Karışım	Çimento (kg/m ³)	Su/Toz	SA* (kg/m ³)	GP** (kg/m ³)	Agrega (kg/m ³)		
					0-4	4-8	8-16
CONTROL	400	0.53	4	0	600	515	598
CGP5	380	0.53	4	20	599	513	597
CGP10	360	0.53	4	40	597	511	594
CGP15	340	0.53	4	60	595	508	593
CGP20	320	0.53	4	80	594	506	592
*Süper Akışkanlaştırıcı							
**Öğütülmüş Cam Tozu (Glass Powder)							

Tablo 3. Beton karışım oranları

Yarmada çekme dayanımı deneyi için 100x100x100 ebadında mm küp numuneler kullanılmıştır. Numunelerin yarmada çekme dayanımı deneyi TS EN 12390-6 standardındaki hususlar dikkate alınarak uygulanmıştır [33].

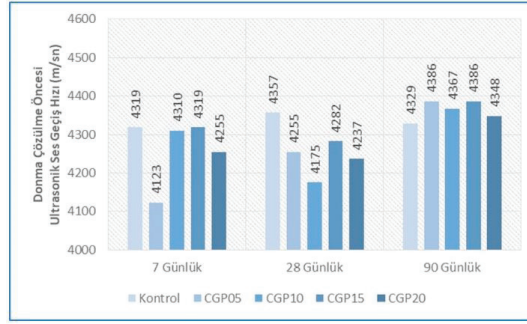
Ultrasonik Ses Geçirgenlik Deneyinde betonun içerisine gönderilen ses üstü dalgaların betonun bir yüzeyinden diğer yüzeyine geçme süresi ölçülüp, dalga hızı hesaplanmaktadır. Bulunan bu ses üstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki elde edilmektedir [34].

Donma Çözülme Deneyi için 100×100×100 mm boyutlarında beton numuneleri üretildikten sonra 20±2 °C’ deki su kürüne bırakılmıştır. Belirlenen 7, 28 ve 90 gün kür süreleri tamamlanmasından sonra suda çıkarılan numuneler 105±5 °C’ de kurutulmuştur. Kurutulan numuneler TS EN 15177 standardına göre donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılmıştır. Çözme işlemi suda, dondurma işlemi hava ortamında yapılmıştır. Donma-çözülme deneyinde 56 çevrim gerçekleştirilmiştir.

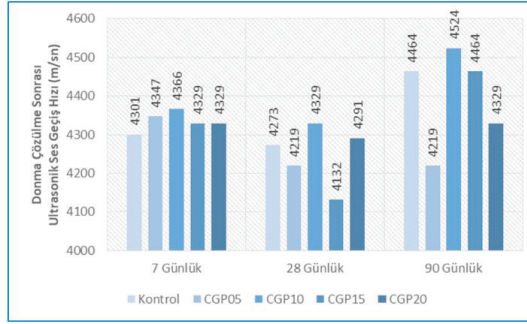
SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Betonun tekrarlı donma-çözülme etkisinde kalması fiziksel etkilerden bir tanesidir. Betonarme elemanlarda beton kalıcılığının karşısındaki en büyük tehditlerden birisi donma-çözülme olayıdır. Donma-çözülme olayı beton taze veya sertleşmiş haldeyken meydana gelebilmektedir [36-38] Ultrasonik ses geçiş hızı ve yarmada çekme dayanımı sonuçları Şekil 1-4’ de verilmiştir.

Ultrasonik ses geçirgenliği hızı grafiği incelendiğinde ise sonuçların, yarmada çekme dayanımları ile uyumluluk gösterdiği görülmektedir. Ultrasonik ses geçiş hızı yöntemiyle, herhangi bir betonun yarmada çekme dayanımı hakkında fikir edinmek zordur. Bununla birlikte, herhangi bir beton içerisinden geçen ses üstü dalganın hızı, o betonun içerdiği boşluk miktarı ile orantılı olduğu için, elde edilen ses üstü hız ile betonun kalitesi hakkında genel bir ilişki kurulabilmek mümkündür. Bir başka deyişle, betonun içerisindeki boşluk miktarı azaldıkça, ses üstü dalga hızı artmaktadır [39].

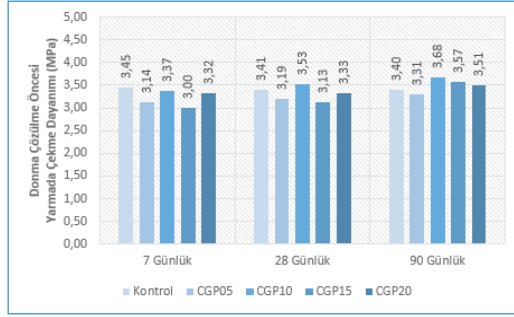


Şekil 1. Donma çözülme öncesi beton numunesinin ultrasonik ses geçiş hızı (m/sn)

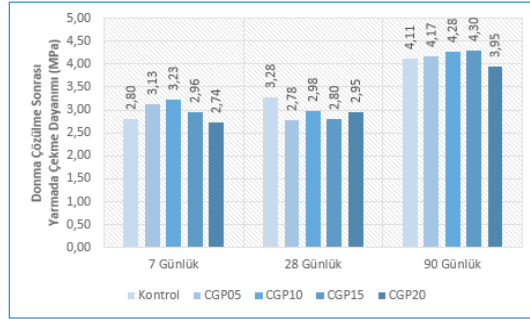


Şekil 2. Donma çözülme sonrası beton numunesinin ultrasonik ses geçiş hızı (m/sn)

Ultrasonik ses geçirgenlik hızı boşluksuz yapılarda büyük, boşluklu yapılarda küçük sayısal değer alır. Numune içerisindeki bağların yapısından dolayı cam tozu puzolanik etkisini tam olarak gösterdiği 90 günlük sonuçlar donma çözülmeden sonra artış göstermiştir. Van der Waals bağları ve dondurma esnasında betonun içerisinde hidrojen bağlarının kuvvetlenmesi sonucu yarmada çekme dayanımında artış olmuştur.



Şekil 3. Donma çözülme öncesi beton numunesinin yarmada çekme dayanımı (MPa)



Şekil 4. Donma çözülme sonrası beton numunesinin yarmada çekme dayanımı (MPa)

SONUÇLAR

- Kontrol betonuyla kıyaslama yapıldığı zaman cam tozu katkılı betonun ileriki yaşlarda yarmada çekme dayanımında artış olmuştur. Bu artış cam tozu katkısının pozolanik özelliğinden dolayı olduğu düşünülmektedir.
- Ultrasonik ses geçiş hızı grafiklerinde görüldüğü üzere boşluk oranı az olan numunelerin donma çözülmeden daha az etkilendiği görülmüştür
- Donma esnasında betonun içerisindeki bağların birbirine yaklaşmasından ve kuvvetlerinin artmasından dolayı 90 günlük numunelerde yarmada çekme dayanımı artmıştır.

- Cam tozunun optimum kullanım oranının %10 ve 15 olduğu görölmüştür.
- Cam tozu kullanılarak hem dayanımı artırmak hem de çimento kullanımını azaltarak çimento fabrikalarından dolayı oluşacak çevre kirliliğini azaltmanın mümkün olabileceği görölmüştür.
- Bu çalışmada; atıl malzeme olan kırık camların öğütölüp betonda çimento yerine kullanılarak geri dönüşümünün mümkün olabileceği görölmüştür.

KAYNAKLAR

- [1]. Kılıçoğlu, C., (2013). Cam atıklarının betonda agrega ve çimento yerine kullanımı, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [2]. Özkan, Ö., (2007). Atık cam ve yüksek fırın cürufu katkıli harçların özellikleri, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 22(1), 87-94.
- [3]. Shayan, A., and Xu, A., (2006). Performance of glass powder as a pozzolanic material in concrete: A field trial on concrete slabs, Cement and Concrete Research, 33, 457-468.
- [4]. Matos, A.M., and Sousa-Coutinho, J., (2012). Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement, Construction and Building Materials, 36, 205-215.
- [5]. Taha, B., and Nounu, G., (2007). Using lithium nitrate and pozzolanic glass powder in concrete as ASR suppressors, Cement & Concrete Composites, 30, 497-505.
- [6]. Tuan, B.L.A., Hwang, C.H., Lin, K.L., Chen, Y.Y., and Young, M.P., (2013). Development of lightweight aggregate from sewage sludge and waste glass powder for concrete, Construction and Building Materials, 47, 334-339.
- [7]. Shi, C., Wu, Y., Riefler, C., and Wang, H., (2005). Characteristics and pozzolanic reactivity of glass powders, Cement and Concrete Research, 35, 987-993.
- [8]. Romero, S., James, J., Mora, R., and Hays, C.D., (2013). Study on the mechanical and environmental properties of concrete containing cathode ray tube glass aggregate, Waste Management, 33, 1659-1666.
- [9]. Cota, F.P., Melo, C.C.D., Panzera, T.H., Araujo, A.G., Borges, P.H.R., and Scarpa, F., (2015). Mechanical properties and ASR evaluation of concrete tiles with waste glass aggregate, Sustainable Cities and Society, 16, 40-56.
- [10]. Buanis, G., Bajare, D., Locs, J., and Korjakins, A., (2013). Alkali-silica reactivity of foam glass granules in structure of lightweight concrete, Construction and Building Materials, 47, 274-281.
- [11]. Lee, G., Poon, C.S., Wong, Y.L., and Ling, T.C., (2013). Effects of recycled fine glass aggregates on the properties of dry-mixed concrete blocks, Construction and Building Materials, 38, 638-643.
- [12]. Wang, H.Y., Zeng, H.H., and Wu, J.Y., (2014). A study on the macro and micro properties of concrete with LCD glass, Construction and Building Materials, 50, 664-670.
- [13]. Zhao, H., Poon, C.S., and Ling, T.C., (2013). Utilizing recycled cathode ray tube funnel glass sand as river sand replacement in the high-density concrete, Journal of Cleaner Production, 51, 184-190.

- [14]. Khatib, J.M., Negim, E.M., Sohl, H.S., and Chileshe, N., (2012). Glass powder utilisation in concrete production, *European Journal of Applied Sciences* 4(4), 173-176.
- [15]. Kim, Jihwan., Moon, J.H., Shim, J.W., Sim, J., Lee, H.G., and Zi, G., (2014). Durability properties of a concrete with waste glass sludge exposed to freeze-and-thaw condition and de-icing salt, *Construction and Building Materials*, 66, 398-402.
- [16]. Jain, J.A., and Neithalath, N., (2010). Chloride transport in fly ash and glass powder modified concretes – Influence of test methods on microstructure, *Cement & Concrete Composites*, 32, 148-156.
- [17]. Liu, M., (2011). Incorporating ground glass in self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, 25, 919-925.
- [18]. Binici H., Kaplan H., Yılmaz S. 2007. Influence of Marble and Limestone Dusts As Additives on Some Mechanical Properties of Concrete, *Scientific Research and Essay*, 2 (9): 372-379.
- [19]. Gürü M., Akyüz Y., Akın E. 2005. Mermer Tozu/Polyester Kompozitlerde Dolgu Oranının Mekanik Özelliklere Etkileri, *Politeknik Dergisi*, 8 (3): 271-274.
- [20]. Kristulovic P., Kamenic N., Popovic K. 1994. A New Approach in Evaluation of Filler Effect in Cement, *Cement and Concrete Research*, 24 (4): 721-727.
- [21]. Sun W., Zhang Y.M., Yan H.D., Mu R. 1999. Damage and Damage Resistance of High Strength Concrete Under The Action of Load and Freeze-Thaw Cycles, *Cement and Concrete Research*, 29 (9): 1519-1523.
- [22]. Ünal O., Uygunoğlu T. 2004. Afyon Mermer Tozu ve Soma Uçucu Kül Katkılı Betonların Donma-Çözülme Özellikleri ve Ekonomik Değerlendirilmesi, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 83-88, İzmir.
- [23]. Ünal O., Uygunoğlu T. 2003. Atık Mermer Tozu Katkılı Betonların Donma Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, 147-157, Afyon.
- [24]. Erdem R.E., Öztürk A.U., 2012. Mermer Tozu Katkısının Çimento Harcı Donma-Çözülme Özellikleri Üzerine Etkisi, *Beü Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 85-91,
- [25]. Baradan B., (2003). İnşaat Mühendisleri İçin Malzeme Bilgisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, Yayın No: 307, İzmir.
- [26]. Shao,Y., Lefort, T., Moras, S., and Rodriguez, D. (2000). Studies on concrete containing ground waste glass, *Cement and Concrete Research*, 30(1), 91–100.
- [27]. Shayan, A., and Xu, A., (2004) Value-added utilization of waste glass in concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(1), 81–89.
- [28]. Corinaldesi, G.G., Moriconi, G., and Montenero, A. (2005) Characteristic and puzzolanic reactivity of glass powders. *Waste Management*, 25(2), 197–201.

- [29]. Topcu, I.B., and Canbaz, M., (2004). Properties of concrete containing waste glass, Cement and Concrete Research, 34(1), 267–274.
- [30]. TS EN 197–1, (2002). Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [31]. Orhan, E., Şahin, M., Effect Of High Temperature To Compressive Strength Of Concrete With Ground Waste Glass Powder Additive, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 5(1), 61-70, Şubat 2016
- [32]. Orhan, E., 2012. Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Katkı Oranları Değişiminin Betonun Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- [33]. TS EN 12390-6, 2003. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deney Numunelerinde Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.
- [34]. Erdoğan, T. Y., (2003) Beton, ODTÜ Geliştirme vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.).
- [35]. ASTM C 597, (1994). Standard Test Method For Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- [36]. Ataş, Z., 2013. Investigation of Mechanical Behavior of Cement Mortars Containing Air-entraining and Fiber Additives under Freezing and Thawing Conditions, Gümüşhane University, Gümüşhane
- [37]. Baradan, B., and Aydın, S., 2012, Concrete Durability (Durability, Retention), Dokuz Eylül University, İzmir.
- [38]. Çavdar, A., 2014. Investigation of Freeze-Thaw Effects on Mechanical Properties of Fibre Reinforced Cement Mortars, Composites Part B: Engineering (ISI), Volume 58, March, Pages 463-472.
- [39]. Tanyıldızı, H., Şahin, M., Koran, K., Çimento Dozajının Betonun Karbonatlaşma Derinliğine Etkisinin İncelenmesi, 9. Ulusal Beton Kongresi, 83-92, 2015.

POSTER SUNUM

POSTER PRESENTATION

THE FLUIDITY BEHAVIOURS OF CEMENT SYSTEMS SUPERPLASTICIZED WITH POLYMERS

S. Gamze ERZENGIN

Asst.Prof.Dr.

Süleyman Demirel University

Isparta, Turkey

Kübra KAYA

M.Sc.

Süleyman Demirel University

Isparta, Turkey

Sabriye PERÇİN ÖZKORUCUKLU

Assoc.Prof.Dr.

İstanbul University

İstanbul, Turkey

Gizem YILDIRIM

Ph.D.

İstanbul University

İstanbul, Turkey

ABSTRACT

Polycarboxylate and sulfonate-carboxylate based superplasticizers were synthesized, characterized and their dispersive effects in cement systems were investigated by means of spread tests. Maleic anhydride (MLA) and methoxy polyethyleneglycol acrylate (mPEGA) were the monomers for synthesis of polycarboxylate, on the other hand, 2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid (AMPS) and mPEGA were used for sulfonate-carboxylate based polymer production. Free radical copolymerization reactions were carried out at 75°C with purging nitrogen gas. The structural characterization of polymers were achieved by Fourier Transform Infrared Spectroscopy. The spread test results of pastes and mortars showed that, the copolymers of mPEGA-co-MLA provide more flowable mixture than mPEGA-co-AMPS copolymers but, the fluidity retention of mixtures are better when mPEGA-co-AMPS is added to the system. Besides these, the fluidity performances of synthesized superplasticizers were evaluated comparing with a lignosulfonate-type superplasticizer. Finally, it was also determined that, molecular design of polymer is a significant parameter for improving the performances of cement systems.

Keywords : polycarboxylate, sulfonate-carboxylate, characterization, fluidity, cement

INTRODUCTION

Superplasticizer (SP) is a significant constituent of the commercial ready-mixed concrete and, novel SPs are developed at the present time to produce concrete with desirable properties. SPs or high-range water reducers increase the fluidity of cement based systems and also strengthen the material by reducing the water requirement of the mixture.

Chemical additives basically interact physically with cement so, the hydration rate can be changed. Their effects are explained with different mechanisms like flocculation, change of ion concentration, agglomeration or dispersion [1]. Conventional water reducers (lignosulfonate, melamine and naphthalene sulfonates) affect with SO_3^- groups in their structure by covering the surface of cement with negative electrical charge, eventually, electrostatic repulsion forces formed can disperse the cement particles.

Polycarboxylate-type superplasticizers or new-generation water reducers have an additional functionality compared to SPs possessing electrostatic forces, which is steric effect. This effect is a dominant power and perform with side chains like brush bristles after the main chain of polycarboxylate is adsorbed onto the cement surface. Side chains of polycarboxylates prevent the agglomeration of cement particles and form effective dispersion in suspension. Conventional water reducers decrease the water requirements of concrete by about 10–15%, whereas superplasticizers are capable of reducing the water requirements by about 30–40% [1].

The brush-type polyethylene glycol (PEG) grafted polycarboxylate ethers were developed as a cement SP at first in the 1990s in Japan. These polymers had a structural characteristic that provided more fluid concrete, which was more resistant to segregation and bleeding than any prepared

concrete with the SPs known previously [2,3]. The other important point is that, polycarboxylates have special properties among the other cement SPs, such as the easiness of molecular structure change, the various properties by controlling the molecular weight and the structure, the excellent dispersion ability and stability and the small dosage to fit dispersibility in cement paste [4,5].

AIM OF THE STUDY

The aim of this study is the synthesis of new SPs with different molecular structures, characterization of these polymers and the comparative evaluation of their dispersion abilities in cement systems. For this purpose, one polycarboxylate-based SP and one sulfonate-carboxylate based SP were synthesized, were characterized and their dispersive effects in cement paste and mortar were determined.

EXPERIMENTAL

Materials

Maleic anhydride (MLA), 2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid (AMPS) and methoxy polyethyleneglycol acrylate (mPEGA) were used for polymer synthesis. Ammonium persulfate (APS) was selected as a chemical initiator. CEM I 42.5 R Portland cement (Table 1) and CEN Standard Sand [6] are the other materials used in cementitious mixtures.

Table 1

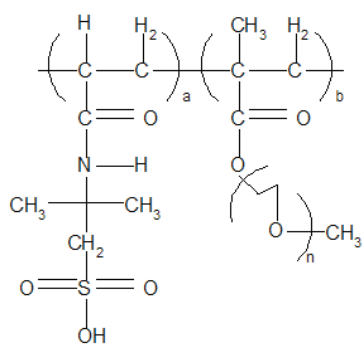
Compound composition, chemical and physical properties of CEM I 42.5 R

Compound composition	wt.%	Chemical composition	wt.%	Physical properties
C ₃ S	61.34	SiO ₂	20.26	Density (g/cm ³)
C ₂ S	10.66	Al ₂ O ₃	4.27	3.14
C ₃ A	5.60	Fe ₂ O ₃	3.37	Blaine fineness (cm ² /g)
C ₄ AF	10.25	CaO	63.05	3480
		MgO	1.53	Initial setting time (min.)
		SO ₃	3.01	150
		Na ₂ O	0.10	Final setting time (min.)
		K ₂ O	0.59	195
		Ignition loss	2.85	

Methods

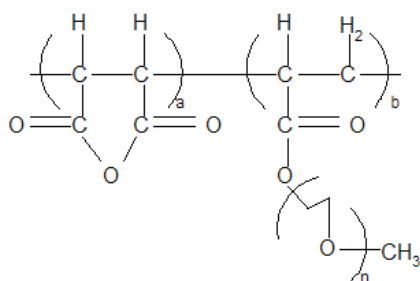
Polycarboxylate and Sulfonate-carboxylate Syntheses

Polycarboxylate-based copolymer (mPEGA-co-MLA) and sulfonate-carboxylate based copolymer (mPEGA-co-AMPS) were synthesized from monomers (MLA, AMPS and mPEGA) through free-radical polymerization. After monomers were dissolved in distilled water, pH was set to 8 and polymerization reaction was started with APS. The temperature of 75 °C, the reaction time of 4 hour and N₂ gas purging are the polymerization conditions. Both SP solutions were used without further purification. The chemical structure of synthesized SPs are shown in Fig. 1 and Fig. 2. Table 2 presents the properties of SPs tested in this study.



[a: AMPS ; b: mPEGA]

Fig. 1. The chemical structure of copolymer of mPEGA-co-AMPS.



[a: MLA ; b: mPEGA]

Fig. 2. The chemical structure of copolymer of mPEGA-co-MLA.

Table 2
The properties of superplasticizers

Superplasticizer	Production info.	Side chain PEGA-(M _n)
mPEGA-co-AMPS	synthesized	480
mPEGA-co-MLA	synthesized	480
lignosulfonate (LS)	commercial	-

Fluidity Tests of Cement Systems

Cement paste fluidity was determined with “spread test” using Kantro mini slump cone [7]. Spread tests of cement pastes were continued throughout 2h time by collecting data at every 30 min. The dimensions of mini slump cone are; 36 mm top inner diameter, 64 mm bottom inner diameter and 60 mm height. Additionally, the workability tests of cement mortars were achieved according to TS EN 1015-3 [8].

RESULTS

Characterization of Copolymers

The structural characterization of mPEGA-co-AMPS and mPEGA-co-MLA copolymers were achieved by Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). FTIR spectra of dried samples of copolymer microparticles were recorded with a Spectrum BX (Perkin Elmer) spectrometer in the region of 400-4000 cm⁻¹. The KBr pellet technique was used to prepare the samples for recording of the IR spectra.

FTIR spectrum of the mPEGA showed typical absorption bands at 2871 cm^{-1} (alkane C-H stretching), 1457 cm^{-1} (alkane C-H bending), 951 cm^{-1} and 853 cm^{-1} (alkene C-H bending, two bands), 1723 cm^{-1} (ester C=O stretching), 1296 cm^{-1} and 1196 cm^{-1} (ester C-O stretching, two bands), 1636 cm^{-1} (C=C stretching) and 1109 cm^{-1} (C-O stretching). These bands observed in the FTIR spectrum are consistent with the structure characteristic of the mPEGA [9].

In Fig. 3, FTIR spectrum of mPEGA-co-AMPS copolymer is shown. FTIR spectrum of the mPEGA-co-AMPS displayed an O-H stretching band overlapped with a N-H stretching band at 3434 cm^{-1} , C-H stretching band at 2976 cm^{-1} , C=O stretching band at 1654 cm^{-1} , N-H bending band at 1560 cm^{-1} , C-H bending band at 1458 cm^{-1} , S=O stretching band at 1186 cm^{-1} , C-O stretching band at 1044 cm^{-1} and S-O stretching band at 627 cm^{-1} . As a result, the disappearance of alkene C-H bands in mPEGA FTIR spectrum and the appearance of N-H, S-O and S=O stretching bands in mPEGA-co-AMPS FTIR spectrum clearly indicate formation of copolymer structure [9].

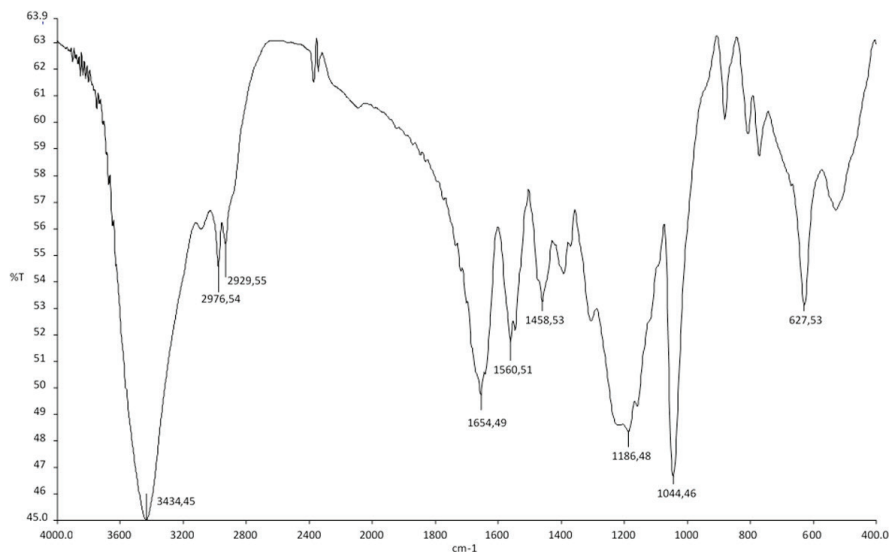


Fig. 3. The FTIR spectrum of the copolymer of mPEGA-co-AMPS [9].

The FTIR spectrum of the copolymer of mPEGA-co-MLA is shown in Fig. 4. In this spectrum, mPEGA-co-MLA showed O-H and C-H stretching bands at 3446 cm^{-1} and at 2929 cm^{-1} respectively. The peak at 1637 cm^{-1} is assigned to the overlapping of C=O in MLA repeating units and the macromonomer mPEGA units. Additionally, at 1457 cm^{-1} the peak of the C-H bending band and at 1100 cm^{-1} the characteristic band of mPEGA for ether (C-O-C) group were observed.

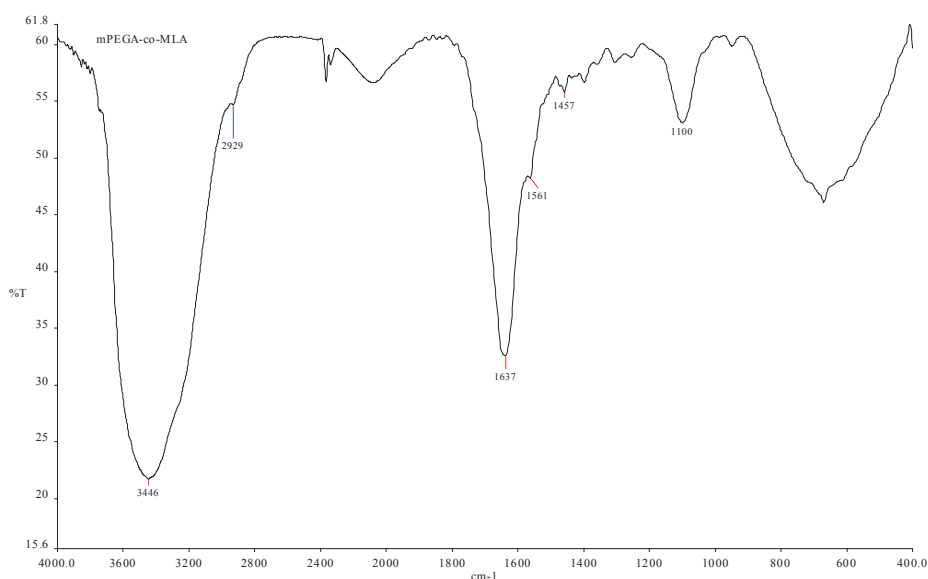


Fig. 4. The FTIR spectrum of the copolymer of mPEGA-co-MLA.

Fluidity and Fluidity-retention of Cement Pastes

Cement pastes were prepared with mPEGA-co-AMPS, mPEGA-co-MLA and commercial lignosulfonate-type superplasticizer (0.3 % solid polymer weight/ cement weight) at water/cement (w/c) = 0.35. The dispersion effects of synthesized and commercial SPs throughout 2 hour time were determined for cement pastes. Fig. 5 shows the “spread test results” of pastes. In this figure, cement

paste superplasticized with mPEGA-co-MLA have the highest fluidity than other samples. The fluidity of cement paste including mPEGA-co-AMPS exceeded the results of paste prepared with LS and reference (without SP) paste.

Both polycarboxylate-based SP (mPEGA-co-MLA) and sulfonate-carboxylate based SP (mPEGA-co-AMPS) have steric effects related to side chains in their polymeric structure but, the main polymeric chains of them carry different functional groups. These groups have important roles in the adsorption of SPs onto cement surface namely, SO_3^- groups of mPEGA-co-AMPS and COO^- groups of mPEGA-co-MLA interact with the positively charged (Ca^{2+}) cement particles. The dispersion mechanisms of cement particles can be explained with both electrostatic effect and steric hindrance, but steric effect acts dominantly in cement suspension. On the other hand, the lack of side chains in the molecular structure of LS polymer causes less fluidity to cement pastes compared to synthesized SPs. It was determined that, fluidity-retention of cement paste including mPEGA-co-AMPS was better than other pastes. Finally, molecular design of SP is a significant parameter for improving the performances of cement systems.

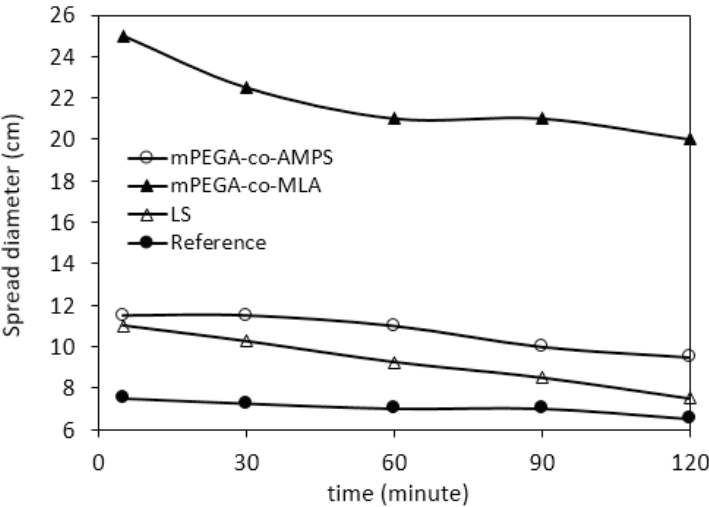


Fig. 5. Fluidity and fluidity-retention of pastes according to Kantro mini-slump test.

Performances of Cement Mortars

According to TS EN 1015-3 cement mortars were prepared at $w/c = 0.50$ with SPs (0.3 % solid polymer weight/ cement weight). In Fig. 6 the spread values of cement mortars are shown. Similar to the cement paste fluidity results, mortar including mPEGA-co-MLA has the highest workability than other mortars. The sequence of workability did not change in mortar samples. As a result it can be said that, the fluidity and workability performances of cement systems should be considered as valuable outcomes when designing the molecular structure of new SPs.

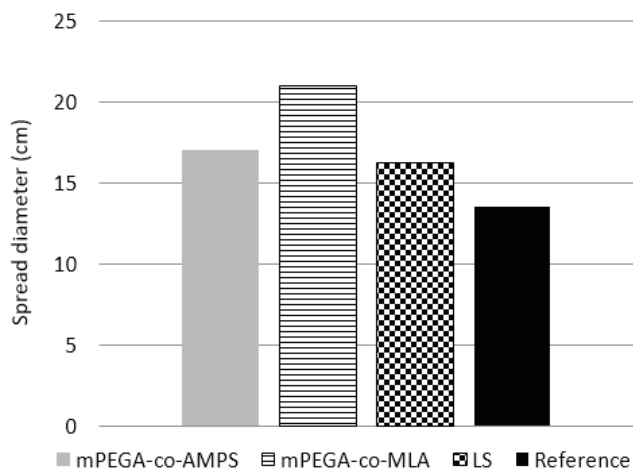


Fig. 6. The workability test results of cement mortars.

CONCLUSIONS

From this study, the conclusions below were obtained:

- 1) mPEGA-co-AMPS and mPEGA-co-MLA based SPs were synthesized and characterized.
- 2) According to the dispersive effects of these SPs, cement paste including mPEGA-co-MLA showed better fluidity than its counterparts. On the other hand, the fluidity-retention of cement paste prepared with mPEGA-co-AMPS was better than other pastes.
- 3) The test results of cement mortars also gave similar results with cement pastes' results. The workability performances of superplasticized cement mortars were in the same sequence like: mPEGA-co-MLA > mPEGA-co-AMPS > LS > reference.
- 4) Finally, the fluidity and workability behaviours of cement systems are valuable outcomes for designing new SPs with different molecular structures.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) for financial support of this study within the project 213M373.

REFERENCES

1. Ramachandran, V.S., Malhotra, M., Concrete Admixtures Handbook-Part 7: Superplasticizers, Noyes Publications, 1984.
2. Puertas, F., Santos, H., Palacios, M., Martínez-Ramírez, S., "Polycarboxylate Superplasticiser Admixtures: Effect on Hydration, Microstructure and Rheological Behaviour in Cement Pastes," Adv. Cem. Res., 17 (2), 2005, pp 77 – 89.
3. Büyükyavaş, A., Tuzcu, G., Aras, L., "Synthesis of Copolymers of Methoxy Polyethylene Glycol Acrylate and 2-Acrylamido-2-Methyl-1-Propanesulfonic Acid: Its Characterization and Application as Superplasticizer in Concrete," Cem. Concr. Res., 39, 2009, pp 629 – 635.
4. Yamada, K., Ogawa, S., Hanehara, S., "Controlling of the Adsorption and Dispersing Force of Polycarboxylate-type Superplasticizer by Sulfate Ion Concentration in Aqueous Phase," Cem. Concr. Res., 31, 2001, pp 375 – 383.
5. Yamada, K., Takahashi, T., Hanehara, S., Matsuhisa, M., "Effects of the Chemical Structure on the Properties of Polycarboxylate-type Superplasticizer," Cem. Concr. Res., 30, 2000, pp 197 – 207.
6. Turkish Standards, Methods of Testing Cement- Part 1: Determination of Strength (TS EN 196-1), Turkish Standards Institution, 2009.
7. Kantro, D.L., "Influence of Water Reducing Admixtures on Properties of Cement Pastes—A Miniature Slump Test," Cem. Concr. Aggreg., 2, 1980, pp 56 – 67.
8. Turkish Standards, Methods of Test for Mortar for Masonry- Part 3: Determination of Consistence of Fresh Mortar (by flow table) (TS EN 1015-3), Turkish Standards Institution, 2000.
9. Erzengin, S.G., Bodur, A., Perçin Özkorucuklu, S., Yıldırım, G., Coban, Ö., "Applications of Sulfonate-carboxylate Copolymers in Cement," Adv. Cem. Res., 28 (10), 2016, pp 630 – 642.

KATKI YAZILARI

CONTRIBUTION ARTICLES

CONTRIBUTION OF AN ORGANIC CORROSION-INHIBITING ADMIXTURE TO ENHANCE DURABILITY ON REINFORCED CONCRETE: 22 YEARS OF FIELD EXPERIENCE

D.G. Taylor
EFCA
Zurich, Switzerland

M. Bakalli
EFCA
Zurich, Switzerland

ÖZET

Betonarme yapılarda korozyon engelleyici ve geciktirici kimyasal katkıları yapı kimyasalları pazarında uzun bir süredir yer almaktadır. Bu katkılarla ilgili laboratuvar ölçekli birçok çalışma olmasına rağmen iyi dokümente edilmiş ve uzun süreli gözlem içeren çalışma sayısı çok azdır. Bu çalışma alkonolamin içeren korozyon inhibitörünün, betonarme yapıların dürabilitesinin arttırılması ve söz konusu bilgi eksikliğinin giderilmesi amacıyla 22 yıldan uzun süreli saha performansını içeren periyodik bir güncellemesidir. İsviçre Alpleri'nde bir otoyolda 1995'ten bu yana klorür içeren buz çözücü solüsyona maruz bırakılmış 3 adet betonarme eleman üzerinde test yapılmıştır. 22 yıldan beri galvanik akım ölçümleri, gerilim haritalaması ve elektriksel direnç ölçümleri yapılarak betonarme elemanların klorür profili belirlenmektedir. Aynı betonarme elemanların imalatından 18 yıl sonra yapılan detaylı analiz raporunda referans betonda yaklaşık 9 yıl sonra 15 mm paspayı derinliğinde korozyonun başlamış olmasına rağmen korozyon inhibitörü içeren betonarme donatısında aynı paspayı derinliğinde 18 yıl sonunda esasen korozyon gözlemlenmediği bildirilmiştir. Bu çalışmada yapılan incelemelerde betonarme elemanlarda aynı pas payı derinliğinde halen korozyon görülmemiş ve klorür ağırlık konsantrasyonu %0,10 – 0,15 aralığında ölçülmüştür. Referans betonarme elemanda aynı derinlikte yapılan incelemelerde ise donatının korozyona uğradığı ve beton yüzeyde kabuk atmaların olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada belirtilen şartlar altında 22 yıldan sonra korozyon inhibitörü betonarme donatısının korozyona başlama süresini yaklaşık 3 katına çıkarmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, klorür, korozyon inhibitörü, uzun süreli performans, dürabilite.

ABSTRACT

Corrosion inhibitors for both prevention and delay of corrosion initiation in reinforced concrete structures have been on the market for a long time. Numerous research reports and papers have been published for investigations on laboratory scale conditions; however long-term, well documented field tests with organic corrosion-inhibiting admixtures for reinforced concrete are scarce. This paper is a periodical update for an organic corrosion-inhibiting admixture contributing to enhance durability of reinforced concrete and closes a gap in knowledge by reporting 22 years of field performance for the corrosion-inhibiting admixture containing alkanolamines. Three reinforced concrete elements exposed since 1995 to chloride-bearing splash water on a road in the Swiss Alps was surveyed again in September 2017. Since 22 years periodical chloride profiles were measured and the three concrete elements monitored by galvanic current measurements, potential mapping, and electrical concrete resistance measurements. A more detailed analysis of the mechanisms was reported after 18 years [19] and concluded the corrosion initiation on a reference concrete started approximately 8–9 years at a cover depth of 15 mm; while the reinforcing steel in the concrete with inhibitor was essentially free. After 22 years inhibitor is a still essentially free from corrosion at a cover depth of 15 mm where the chloride mass concentration in the concrete has been recorded between 0.10 – 0.15%. Whereas the reinforcement at a similar depth in reference is corroding and concrete is spalling. Under conditions of the present work after 18 years exposure, the corrosion inhibitor increased the time to initiation of chloride-induced reinforcing steel corrosion by a factor of nearly 3.

Keywords: Reinforced concrete, chloride, corrosion inhibitor, long-term performance, durability.

1. INTRODUCTION

Corrosion-inhibiting concrete admixtures are a potential preventive means for the protection of reinforcement steel from corrosion and a variety of types of inhibitors for reinforced concrete are known [1, 2, 3, 4]. Organic inhibitor formulations are often based on amines and alkanolamines (sometimes referred to as “AMA”). Numerous laboratory studies [5, 6, 7, 8, 9, 10] have shown that these type of corrosion inhibitors can delay the initiation of chloride-induced corrosion, raise the chloride threshold value, and reduce corrosion rates. Most investigations with organic inhibitors have been performed in controlled laboratory setups, often in aqueous solutions simulating chloride-contaminated concrete or in mortar exposed to accelerated chloride ingress. Experience under field conditions has been reported, however for limited exposure times such as 5 years [11], 7.6 years[12], and 10 years[13, 14]. The experiences made in these studies are not consistent. Recent reviews [3, 4] on corrosion inhibitors for reinforced concrete have highlighted that there is a lack of long-term field data, in particular for organic corrosion inhibitors. Concerns have been raised [6] specifically with respect to the fact that components of organic inhibitors may evaporate through the concrete pore system and lead to a considerable decrease in inhibitor concentration at the steel surface over time.

This study updates the results [19] for the field performance of an admixed corrosion inhibitor in reinforced concrete after 22 years of exposure to chloride-bearing splash water. The corrosion-inhibiting admixture under investigation is a corrosion inhibiting concrete admixture, which is an organic formulation based on alkanolamines. This product has been available for more than 25 years in relatively unchanged composition.

2. THE EXPERIMENT

In September 1995, three L-shaped concrete elements (E1, E2 and E3) were cast under controlled conditions and transferred to the exposure site located at an Alpine highway in Switzerland (Fig. 1). The highway forms part of the Alpine crossing “San Bernardino” which is passed by almost 200’000 heavy good vehicles each year (plus cars) [15]. The elements are aligned almost parallel to the road

and stand right behind the guardrail. They are thus directly exposed to the chloride-bearing splash water of a road in Alpine environment.

2.1 Specimens

The geometry of the concrete elements is shown in Fig. 2. The three elements are reinforced with two layers of reinforcing steel mesh ($\varnothing 12$ mm, spacing 200 mm in both directions). The cover depth of the side facing the road is 15 mm; the cover depth at the rear side is 30 mm.

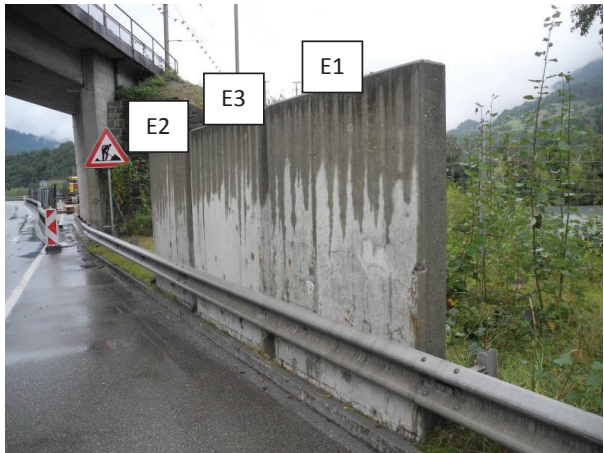
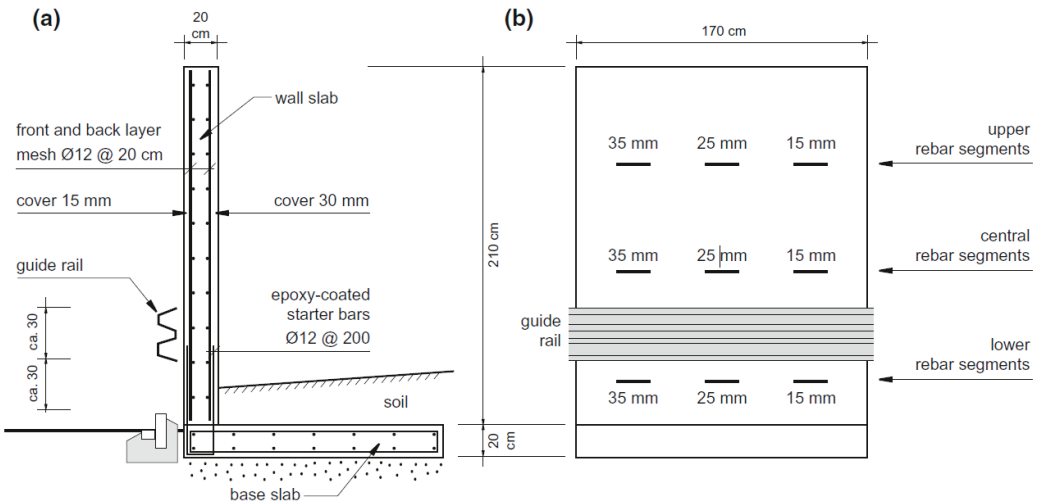


Fig. 1: Photograph of three concrete elements exposed in the Swiss Alps, seen from the road.

The L-shaped elements were assembled from 2 cast slabs in a horizontal position (two individual batches). For the wall, the lower side during casting finally became the face exposed to the road. The starter bars connecting the base to the wall are epoxy-coated in order to avoid a metallic connection between the reinforcement in the base and the reinforcement in the wall. This was designed to ensure reinforcement in the base does not affect the corrosion potentials later measured in the wall. It was also to make sure there was no electrical contact between the front and back layers of reinforcing steel mesh.

In addition to the reinforcement mats, each element also contains 9 short rebars ($\varnothing 12$ mm, length 16 cm) that were, by means of plastic spacers, positioned at three different cover depths (15, 25, 35 mm) on the side facing the road. Three of these rebars were embedded in an upper part of the wall, three were embedded roughly in the center and three were embedded at the lower end. They had no electrical contact to each other or to the reinforcing steel meshes after manufacturing the specimens. For measurement purposes connections were made by soldering cables to all rebars and to the two layers of reinforcing steel mesh. The soldering joints were locally sealed with an epoxy coating. The cables lead to a junction box fixed at the rear side of the concrete element, where connections can be easily made to the individual steel electrodes for measuring purposes.

Fig. 2: Schematic illustration of L-shaped concrete elements; a cross section, b front view with approximate positions of the nine rebar segments embedded at different cover depths 15, 25, and 35 mm



All described steel electrodes were normally electrically connected to each other through the junction box and only disconnected for and during certain measurements. Also the two reinforcing steel meshes in the wall element, viz. the one at the front side and the one at the rear side, were normally

connected through cables and only temporarily disconnected for measurements. The reason for this was to provide realistic conditions of reinforcement that is usually electrically coupled in practice.

The concrete mix proportions are given in Table 1. The denomination of the elements is E1 for the reference concrete element (containing a superplasticizer and an air-entraining agent, but no corrosion inhibitor) and E2 for the concrete element containing 12 kg/m3 admixed with the corrosion inhibiting concrete admixture. There was a slight difference in w/c ratio between the concrete mixes of elements E1 and E2. We consider this as negligible. A third concrete element E3 was produced (Fig. 1) with a concrete containing mineral admixtures, which, however, is not in the scope of the present paper and thus no results are reported.

Table 1. Concrete mix proportions for elements E1 and E2.

	E1	E2
	Reference concrete	Concrete with inhibitor
Portland cement (CEM I 42.5) (kg/m ³)	325	325
Air-entraining agent (% by cem wt)	0.6	0.6
Superplasticizer (% by cem wt)	0.8	0.8
Corrosion Inhibitor(kg/m ³)	–	12
Aggregates (0–32 mm) (kg/m ³)	2050	2050
w/c ratio	0.46	0.45

2.2 Measurements

At time intervals of ~3-4 years, the field test was followed up by means of the following measurements:

- Potential mapping [16, 17] of the surface exposed to the road. During potential mapping, all embedded reinforcing steels were kept electrically connected. The grid for potential mapping was 15 cm x 15 cm, with the exception of the last measurements performed after 18 and 22 years of exposure, where a grid of 100 mm x 100 mm was used.
- The galvanic current flowing between the front layer and the back layer of the reinforcing steel mats. Additionally, for each of the nine rebar segments (Fig. 2) the galvanic current flowing between the segment under test and the two reinforcing steel meshes (the latter short-circuited) was recorded.
- By means of a two-point alternating current resistance measurement, the spreading resistance of each of the 9 rebar segments was measured with a commercial earth resistance meter (operating at approx. 40 V AC and a frequency of approx. 100 Hz). For this type of measurement, the rebar under test was temporarily disconnected from all the other reinforcing steel bars, and the two reinforcing steel meshes (front and back layer in the wall element) were together used as counter electrode. Due to the geometry of this chosen setup, the spreading resistance is primarily depending on the electrical conductivity of the concrete (porosity, moisture state, pore solution chemistry) in close proximity of the rebar segment under consideration. Thus, this type of measurement provides relatively local information about the concrete resistivity.
- After 9 years of exposure onwards, chloride profiles were regularly determined. For this purpose, holes were drilled into the elements and the concrete powder collected from individual depth intervals (usually 10 mm) down to ca. 50 mm. Normally, two locations of sampling were used per element, viz. one right below the guide rail and one ca. 0.5 m above the guide rail (Fig. 2). At each sampling location, 5–6 holes were drilled within an area of ca. 10 cm x 10 cm with a drill of diameter 10 mm leading to a sampling volume in agreement with European standard EN 14629. The chloride content in the concrete powder was also analysed according to EN 14629.

- At 18 years [19] a selected localised area of concrete on the reference wall E1 was removed for inspection. In 2017, there was no removal of concrete to expose any of the reinforcement bars for inspection.

3.RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Electrochemical measurements

3.1.1 Galvanic currents

Figure 3 shows the galvanic current measured between the two layers of the reinforcing steel mesh over time.



Fig. 3: Galvanic current between front and back layer of reinforcing steel mesh over time. A positive current sign indicates that current is leaving the front layer (facing the road) of the reinforcing steel mesh.

Galvanic currents measured during the first 7 years of exposure were always below the measurement accuracy (a few uA) and are thus not displayed in Fig. 3. A first measurable increase in galvanic current appeared in the reference concrete (E1) after approx. 8 years, followed by a considerable

increase after approx. 16 years of exposure. The positive sign of the measured current indicates in the reference concrete (E1) that the front reinforcing steel mesh, on the road side, acted as anode while the reinforcement at the rear side acted as cathode. In contrast the galvanic current between these two mats of reinforcing steel has always stayed on a low level for the concrete with inhibitor (E2). This indicates the absence of significant galvanic corrosion in element E2 for 22 years. The reading measured after 22 years in the reference concrete (decrease of galvanic current) is attributed to the environmental conditions. Results of corrosion rate measurements on site depend on daily and seasonal changes of the corrosion rate with temperature and concrete humidity making the evaluation of the corrosion inhibitor action difficult. However, compared to the galvanic current flowing in element E2 (with corrosion inhibitor) the present reading is still a factor of 10 to 15 higher.

3.1.2 Potential measurements

The results after 22 years of potential measurements (potential mapping) verify and agree well with the results after 18 years [19]. It indicates the reference concrete is still corroding even more intensively, while the concrete containing corrosion inhibitor does not show any significant corrosion activities.

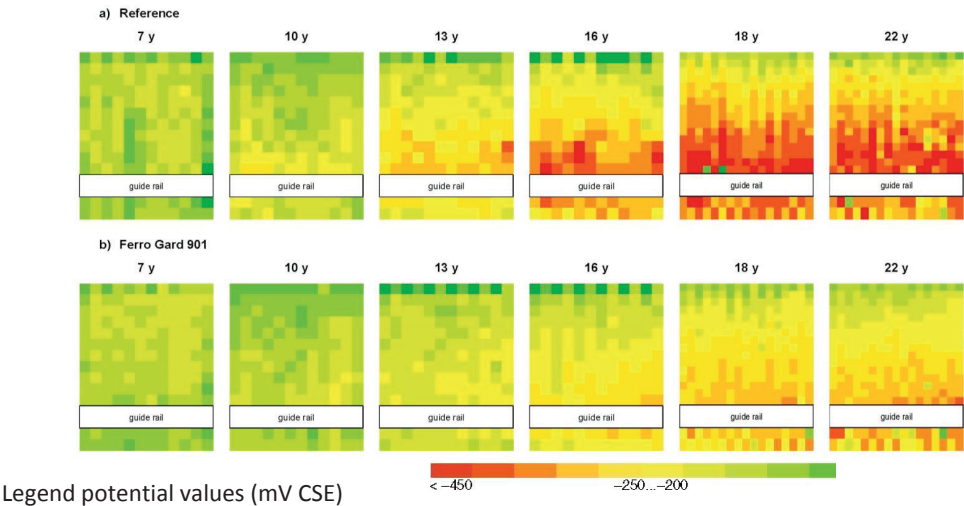


Fig. 4: Potential maps over time for a: element E1 (reference concrete) and b element E2

Fig. 4 (continued): (concrete with inhibitor). Step width of colour legend = 50 mV. Cracking, spalling, and rust staining is documented only after 18 years of exposure; the black rectangles indicate the locations of subsequent visual assessment of the reinforcement after local concrete removal.

3.1.3 Spreading resistances

Fig. 5 represents the mean values of the spreading resistances of the rebar segments dependent on location of the rebar in the element (left side diagram) and on concrete depth (right side diagram). It can be seen that the resistance slightly tends to decrease towards the bottom. Possible explanations for this are: a) the higher humidity, and b) the higher chlorine content in the element footer range, as expected from the exposure. The spreading resistances of the rebar segments were in the range 1.3–1.8 kΩ for the reference concrete and 2.2–3.1 kΩ for the inhibitor containing concrete (measured after 22 years). Concerning the time evolution, apart from the first 2 years, the spreading resistance had always been systematically higher in the concrete with inhibitor than in the reference concrete. Over the past 22 years, these figures have more than doubled. Especially in case of slab E2 with corrosion inhibitor this effect is by far the most significant.

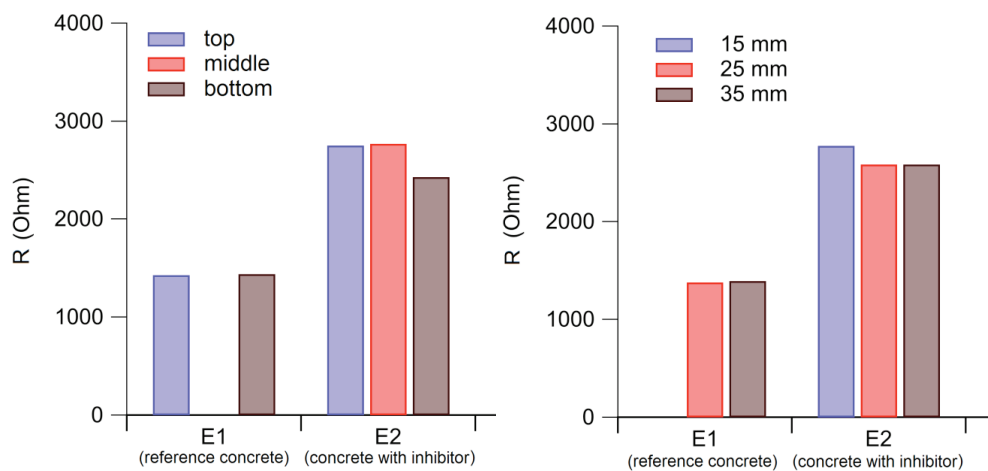


Fig. 5. Average values of the spreading resistance dependent on the height position in the element (left) and on concrete coverage (right) after 22 years of testing (measured on September 2017).

3.2 Chloride penetration into concrete

Figure 6 shows the chloride profiles after different exposure times in the two concrete elements, E1 and E2. Each profile is the average of two measurements in the concrete, one above and one below the guide rail. There is a chloride content abnormality in element E1 above the guardrail between 0 – 10mm which is less than between 10 – 20 mm below the guardrail.

As expected, the chloride concentration in the concrete decreased with increasing depth from the exposed concrete surface (Fig. 6). The general trend at 10 – 15 mm penetration depth is between 0.10 – 0.15% chlorides by weight of concrete. As reported in 2013 [19] there is not always a continuous increase of chloride concentrations with time. It is known that material in-homogeneities (e.g., the presence of coarse aggregates in the cover concrete) and exposure in-homogeneities cause variability in chloride penetration, thus leading to an uneven chloride front [18]. Additionally, seasonal variations in exposure conditions may also have caused non-continuous chloride ingress. The combination of these effects and possible limitations of the measurement precision [18] are considered the likely explanation for the absence of a systematic increase in chloride content over time.

As reported [19] it can be concluded that the chloride profiles shown in Fig. 6 are realistic and reveal no dramatic differences between the two concrete elements. Thus, based on the presently available results, chloride ingress occurred similarly in the elements E1 and E2.

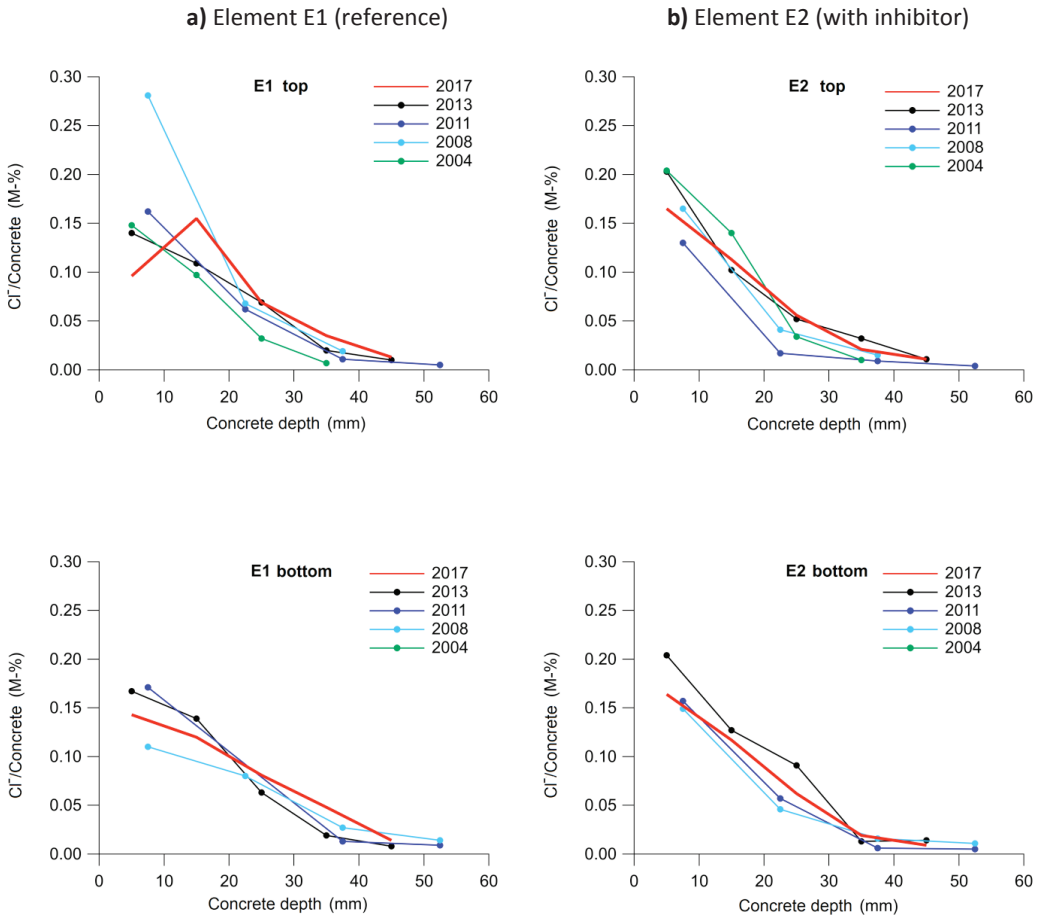


Fig. 6 Chloride profiles (mass concentration of chlorides in relation to the concrete) above and below the guardrail at different exposure times for element **a** E1 (reference concrete) and **b** E2 (concrete with inhibitor). Each profile is an average of two profiles measured in the concrete element.

3.3 Visual inspections after 22 years of field exposure

After 22 years there are clearly more cracking, spalling, and rust staining in the reference concrete (E1) front surface compared to element E2 containing the corrosion inhibitor. This is apparent from the red areas in Fig. 4.

On the right hand edge of element E1 (reference), the stage of corrosion and spalling appears to be at a more advanced stage than other parts of the front face. This is also the leading edge from the direction of the traffic flow and may be attributed to the immediate exposure to oncoming spray from vehicles. Additionally, other root causes of concrete damage, such as freeze and thaw process, may now be attributing the faster deterioration of the cracked and spalling concrete.



Fig. 7 Visual aspect of element E1 (reference) after 22 years exposure. Visually more cracks and process of de-bonding (spalling) over the reinforcement bars in significant corrosion areas



Fig. 8 Visual aspect of element E2 after 22 years exposure. Generally, still without any significant damages. Some minor cracks attributed to how the walls were cast.

Element E2 containing corrosion inhibitor has fared much better than the reference after 22 years. There are no significant damages to the front face and the some small isolated damages, as highlighted after 18 years [19] are attributed to the way the L-shaped wall elements were produced.

3.4 Discussion

The electrochemical measurements continue to indicate the front reinforcement in the reference concrete (E1) are continuing to corrode. In contrast, the reinforcement applied with inhibitor (E2) appears to be largely in passive condition. These conclusions are also in agreement with visual assessment.

In the present work, similar to that presented in literature [19] no clear difference in chloride ingress between the concrete with inhibitor and the reference concrete was observed (Fig. 6). The measured spreading resistances of the rebar segments, on the other hand, were during the past 22 years always approx. 50 % higher in the inhibitor containing concrete than in the reference concrete. Nevertheless, since the resistance measurement was performed only at one frequency (and also at a relatively low

frequency in the range of 100 Hz), a final answer cannot be given to whether the difference in resistance between the concretes is due to effects at the steel/concrete interface (e.g., electrode partially shielded in the presence of the inhibitor, capacitive effects, etc.) or whether it is indeed the result of a higher bulk concrete resistivity (e.g., due to a pore blocking effect).

It was previously concluded [19], based on measurements of galvanic currents and steel potentials, the time of corrosion initiation in the reference concrete was approximately 8–9 years of exposure. Concerning the inhibitor containing concrete, the electrochemical measurements and visual inspections still indicate the absence of large corroding zones. We may therefore consider after 22 years of exposure the studied corrosion inhibitor delayed corrosion initiation by a factor of nearly 3.

4 CONCLUSIONS

Reinforced concrete elements were exposed to de-icing-salt-bearing splash water during 22 years. One concrete element was produced containing corrosion inhibiting concrete admixture at a dosage of 12 kg/m³; another concrete element was produced without the inhibiting admixture (reference concrete).

From the results of this long-term investigation, the following major conclusions are drawn:

- In a reference concrete in field conditions the corrosion initiation process started after approximately 8–9 years at a cover depth of 15 mm.
- Corrosion inhibiting concrete admixture has delayed corrosion for 22 years under field exposure conditions and still has a pronounced durable effect on the electrochemical behaviour of the reinforcing steel.
- Under field conditions the corrosion inhibitor increased the time to corrosion initiation by a factor of nearly 3.
- Remarkably, even after 22 years of field exposure, corrosion inhibitor is still having a corrosion inhibiting effect particularly concerning the doubts that have been raised in literature [6] with respect to the fact that certain components of the inhibitor may disappear from the steel surface over time.

Acknowledgments to Messers U. M. Angst (&). M. Büchler Swiss Society for Corrosion Protection (SGK), J. Schlumpf & B. Marazzani of Sika allowing this paper to be published again; to the “Tiefbauamt Kanton Graubünden” for providing the exposure site.

REFERENCES

1. Faustino P, Bras A, Ripper T(2015)The effect of corrosion inhibitors on the modelling of design lifetime of RC structures. *Mater. Struct.* 48:1303–1319
2. McCarthy MJ, Giannakou A, Jones MR (2004) Comparative performance of chloride attenuating and corrosion inhibiting systems for reinforced concrete. *Mater. Struct.* 37:671–679
3. Page CL, Ngala VT, Page MM (2000) Corrosion inhibitors in concrete repair systems. *Mag. Concr. Res.* 52:25–37
4. Söylev TA, Richardson MG (2008) Corrosion inhibitors for steel in concrete: state-of-the-art report. *Constr. Build. Mater.* 22:609–622
5. Benzina Mechmeche L, Dhouibi L, Ben Oueddou M, Triki E, Zucchi F (2008) Investigation of the early effectiveness of an amino-alcohol based corrosion inhibitor using simulated pore solutions and mortar specimens. *Cem. Concr. Compos.* 30:167–173
6. Elsener B, Büchler M, Stalder F, Bohni H(1999) Migrating corrosion inhibitor blend for reinforced concrete: part 1— prevention of corrosion. *Corrosion* 55:1155–1163
7. Jamil HE, Montemor MF, Boulif R, Shrir A, Ferreira MGS (2003) An electrochemical and analytical approach to the inhibition mechanism of an amino-alcohol-based corrosion inhibitor for reinforced concrete. *Electrochim Acta* 48: 3509–3518
8. Jamil HE, Shrir A, Boulif R, Bastos C, Montemor MF, Ferreira MGS (2004) Electrochemical behaviour of amino alcohol-based inhibitors used to control corrosion of rein-forcing steel. *Electrochim Acta* 49:2753–2760
9. Ormellese M, Berra M, Bolzoni F, Pastore T (2006) Corrosion inhibitors for chlorides induced corrosion in reinforced concrete structures. *Cem Concr Res* 36:536–547
10. Vyrides I, Rakanta E, Zafeiropoulou T, Batis G (2013) efficiency of amino alcohols as corrosion inhibitors in reinforced concrete. *Open J Civ Eng* 3:1–8
11. Pereira EV, Figueira RB, Salta MM, Fonseca ITE (2010) Long-term efficiency of two organic corrosion inhibitors for reinforced concrete. *Mater. Sci. Forum* 636–637:1059–1064
12. Kessler RJ, Powers RG, Paredes MA, Sagues AA, Virmani YP (2007) Corrosion inhibitors in concrete results of a ten year study. In: NACE Corrosion Paper No. 07293
13. Cusson D, Qian S (2007) Corrosion inhibiting systems for concrete bridges—10 years of field performance evaluation. In: Fifth international conference on concrete under severe conditions environment and loading (CONSEC’07), Tours, France, pp 1–10
14. Qian S, Cusson D(2004) Electrochemical evaluation of the performance of corrosion-inhibiting systems in concrete bridges. *Cem. Concr. Compos* 26:217–233
15. Schreyer C (2013) Freight traffic and transport crossing the Swiss Alps 2012. Swiss Federal Office of Transport FOT, Berne
16. ASTM (2009) Standard C876: standard test method for corrosion potentials of uncoated reinforcing steel in concrete. American Society for Testing and Materials

17. Elsener B, Andrade C, Gulikers J, Polder R, Raupach M (2003) Half-cell potential measurements—potential mapping on reinforced concrete structures (RILEM TC 154-EMC recommendation). *Mater. Struct.* 36:461–471
18. Angst UM, Polder R(2014) Spatial variability of chloride in concrete within homogeneously exposed areas. *Cem. Concr. Res* 56:40–51
19. Angst UM, Büchler M, Schlumpf J, Marazzani B and Bakalli M (2016), `Long-term field performance of an organic corrosion inhibitor for reinforced concrete`, *Materials Performance* 55: pp. 36–40

Institut für Werkstoffedes Bauwesens Fakultät für Bauingenieur-
und Vermessungswesen
Dr.-Ing. Andrea Kustermann Baustoffkunde FHM
Betonzusatzstoffe Betonzusatzmittel
Wintersemester 2008/ 2009 Universität-München

Çeviri: Ömer İÇEMER, Kimya Mühendisi

1 Beton Katkıları

1.1 Tanımlar

Kimyasal beton katkıları ile mineral beton katkıları arasında ayırım, ilave edilen katkının miktarı ile yapılır. Kimyasal beton katkıları, 1m^3 lük beton karışımı tasarımımda karışıma giren malzemenin hacimca hesaplamasında göz ardı edilir.

Mineral beton katkıları ise malzemenin hacimca hesaplamasında dikkate alınmalıdır.

İlave Miktarı

Kimyasal beton katkıları < 50 gr/kg Çimento < Mineral beton katkıları

Plastikleştiriciler, Akışkanlaştırıcılar Puzolanlar, örneğin;

Geciktiriciler, Priz hızlandırıcılar

Uçucu kül,

Stabilizatörler, Sızdırmazlık sağlayanlar Silika tozu

Harç katkıları (Şişme gidericiler) Taş unu

Hava sürükleyiciler Çimento boyaları

Plastik/ katkıları

**Malzeme hacim
hesaplamasında göz ardı
edilmelidir.**

**Malzeme hacim
hesaplamasında dikkate
alınmalıdır.**

Resim-1 Beton Kimyasal ve Mineral katkıları

1.2 Kimyasal Beton Katkıları

Kimyasal Beton Katkıları, DIN EN 934 standardı kapsamındadır. Kimyasal katkılar; taze beton üretimi esnasında 1 m³ betonda kullanılan çimento veya [çimento + (mineral katkı x mineral katkı bağlayıcılık katsayısı)]nın toplamından oluşan bağlayıcı miktarının kimyasal katkının kullanımında öngörülen % sinin çarpımı kadar beton karma suyuna ilave edilir. Sıvı veya toz/ pulverize halde bulunan beton katkıları taze ve sertleşmiş beton özelliklerini kimyasal ve/veya fiziksel olarak olumlu değiştirmek için kullanılırlar. Katkı maddesinin etkisi, çok yönlüdür.

Bu elektrokimyasal işlemler sürecinde organik olarak söz edilen genellikle pozitif yüklü iyonlar; (Örneğin, hava sürükleyici katkılarda su itici (hidrofobik) veya beton plastikleştiricilerde su tutucu (hidrofil) hareket tabanlı etki eder.

[Hidrofil; Suyu seven, suda çözünen yapı anlamındadır. - OH, -SO₃H, -COOH ve -NH₂ gibi gruplar hidrofil gruplardır. Yapısında bu gruplardan bulunduran bileşikler suda çözünürler.

Hidrofob; Suyu sevmeyen suda çözünmeyen anlamındadır. Bütün hidrokarbonlar]

-CH₃, -C₂H₅ gibi gruplar hidrofobdur. Bütün Hidrokarbonlar hidrofob yapıdadır.

Beton akışkanlaştırıcı katkıları sadece küçük miktarlarda betona ilave oldukları için, [her kg çimento başına ≤ 50 g veya ≤ 50 cm³ lük katkı miktarı] malzeme hacim hesaplarında dikkate alınmamalıdır.

DIN EN 934 standardında çeşitli beton katkılarına ait, kısa gösterim şekli, renk işareti/kodu ve etki biçimi Tablo 1'de verilmiştir. Standartlaştırılmış beton katkıları yanı sıra Genel Yapı onayında kabul görmüş olan katkı etki grupları da mevcut olup bunlar, DIN EN 934 kapsamında düzenlenmiş değildir. (Tablo-2)

Parantez içindeki etki grubu işaretleri ile yeniden düzenlenen beton akışkanlaştırıcı katkıların kısaltılmış isimlendirmeleri, katkı maddesinin öngörülen etkisi dışında (Grup BV, LP, DM, VZ, BE, EH, ST) veya bu katkılarla üretilen beton için farklı bir özelliği taahhüt etmemelidir.

Beton katkılarının kullanılması aşamasında, aşağıdaki örneklerde verildiği gibi olumsuz etkilerin olabileceği düşünülmelidir. Bunlar;

- **Aşırı Hava Girişi;** Örneğin, Beton plastikleştiricilerin (BV) özellikle uzun süreli karıştırma işlemlerinde rastlanır.

- **Aniden Değişme Etkisi;** Çimentoların her ilave miktarına bağlı olarak katılma davranışı üzerinde, aniden ters bir değişim etkisi olması (özellikle VZ ve BE olarak bilinen katkılarda)

- **Betonun Kurumasındaki Büzülme Artışı;** (Özellikle BV, LP, DM ve VZ katkılarında rastlanır)

- **Erken Büzülmenin Çatlama Eğilimini Teşvik Etmesi;** (Özellikle VZ katkılarında rastlanır. BV katkılarında ise az rastlanır.)

- **Nihai Dayanım Ve Dayanım Gelişmesinin Bozulması;** (Özellikle LP, DM ve BE katkılarında rastlanır)

- **Artan Sünme,**

- **Kötü Beton Yüzey Görünüşü - Leke Oluşması-** (VZ katkısında olduğu bilinir.)

- **Kimyasal Agresif Su ve Toprak/Zemin Karşısında Dayanımın Azalması,**

- **Dolaylı Olarak Korozyon/Aşındırıcı Etki.**

DIN EN 934'E GÖRE BETON KATKILARININ ETKİ GRUPLARI VE ALMAN UYGULAMA KURALLARI

Tablo- 1

Etki Grupları	Kısa Gösterilişi, İşaretleme	Renk Kodu	Etkisi
Beton Plastikleştiriciler	BV	Sarı	Su ihtiyacını azaltır ve/veya işlenebilirliği iyileştirir.
Akışkanlaştırıcılar	FM	Gri	Beton plastikleştirici katkılardaki gibi(Ama daha güçlü)betonun daha akışkan kıvamda üretimini sağlar
Geciktiriciler/ Akışkanlaştırıcılar	FM	Gri	Birleşik /kombine etkisi FM(Asıl etkisi) veya etkisi (VZ)
Stabilisatörler	ST	Viyolet	Karma suyu ayrışmasını (kanamayı azaltır) Terlemeyi önleyerek su kaybını azaltır.
Hava Sürükleyici Katkılar	LP	Mavi	Don ve buzlanma koşullarında eşit olarak dağıtılmış küçük hava gözenekleri oluşturarak çözülmeye karşı direnci arttırmak
Priz Hızlandırıcılar	BE	Yeşil	Plastik halden Katı hale geçişi hızlandırır
Sertleşmeyi Hızlandırıcılar	BE	Yeşil	Başlangıç dayanımını artırır.
Geciktiriciler	VZ	Kırmızı	Plastik halden katı hale geçişi zamanını uzatır,(Priz alma süresini uzatır)
Sızdırmazlık/ Geçirimsizlik Sağlayan Katkılar	DM	Kahverengi	Sertleşmiş betonun kapılar-kılcal su emilimini azaltır
Harçta Şişme/Kabarma Etkisini Azaltmak Üzere Kullanılan Katkılar(DIN EN 934-4)	EH	Beyaz	Akışkanlığı iyileştirmek,su ihtiyacını azaltmak ve harçların uygulama/ yerleştirilmesi esnasında oluşan şişme/Kabarma etkisini azaltır.Boşluklarda ortaya çıkan güçlü şişme etkisini tam doldurma yoluyla gidermek amacıyla harç veya betona ilave edilir.

Bunun dışında Beton katkıları,sağlamlık, katılaşma, don direnci, su emme ve su sızdırmazlığını etkileyebilir. Bazen bir özellik, uygulamadakikatının mal oluş fiyatınınüzzerinde aranan özelliği sağlayabilir. Bu nedenle katkılarda daima uygunluk testi yapılması gerekir.

Tablo-2Genellikle Yapı Onayı ile Kabul Edilen Beton Katkıları Etki Grupları

Etki Grupları	Kısa Gösterilişi İşaretleme	Renk Kodu	Etkisi
Kromat azaltıcı	CR	Pembe	Krom(VI)'i Krom (III)' e indirger
Yıkama suyu için geriye dönüştürme yardımı	RH	Siyah	Karıştırma araçları,mikserlerin vb. donanımın temizlenmesi sırasında elde edilen yıkama suyunun tekrar kullanımının sağlamaası
Atık betonun geriye dönüştürme yardımı	RB	Siyah	Şantiyeden geri gelen Atık beton bileşenlerinin tekrar kullanımını sağlama
Köpük oluşturuu	FM	Gri	Hava sürükleme (köpükbeton)

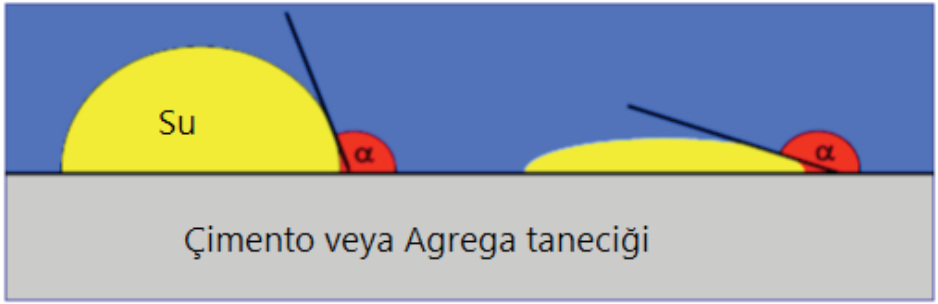
1.2.1 Akışkanlaştırıcı ve Beton Plastikleştirici Katkılar

Beton plastikleştirici katkılar, akışkanlaştırıcı etki sağlama yanında kıvamı ve işlenebilirliğini de düzenler.

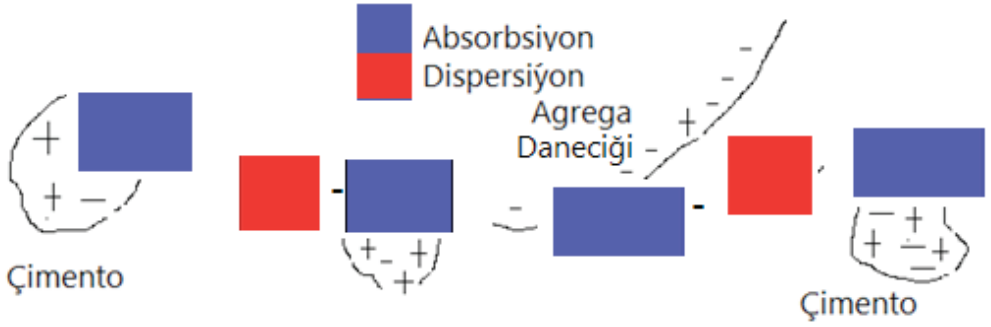
Plastikleştirici etkiye, yüzey-aktif maddeler ya da dağıtıcı maddeler (disperse) yardımıyla ulaşır. Yüzey aktif maddeler, suyun yüzey gerilimini ortadan kaldırır ve bu sayede bağlayıcı çimento vb. bileşenler ile ve agregaya ait taneciklerin daha çok ıslanmasıarttırılır. (Resim- 2)
Böylece ıslanmış tanecikyüzeyinin nemlendirilmesi için daha az su gerekli olduğundan, su miktarıihtiyacı azaltılabilir.

Dağıtıcı maddeler,kendi molekül yapısı içinde moleküler yapı kutuplaşmaları (polarizasyon) ile işlevini yerine getirir. Agregata tanecikleri ve duruma göre çimento moleküllerinin katılma reaksiyonundan (adsorpsiyon) sonra,polarize molekül gruplarındapartiküllerin birbirini itme durumu(dispersiyon) ortaya çıkar. (Şekil -3)

BV (beton plastikleştirici katkılar) ve FM(Süper akışkanlaştırıcı katkılar) için gerekli olan kimyasal etken malzemeleri tanımlanan işleyiş biçimi ve özelliklerini vurgulayan düzenlemeler Tablo-3 'de gösterilmiştir.



Resim-2 Yüzey Aktif Maddelerin Aktivasyon Modu



Resim-3 Disperse olan malzemelerin Etkileme Biçimi

Tablo-3Plastikleştirici(BV)/Akışkanlaştırıcı(FM) Katkılar İçin Etken Maddeler veÖzellikleri

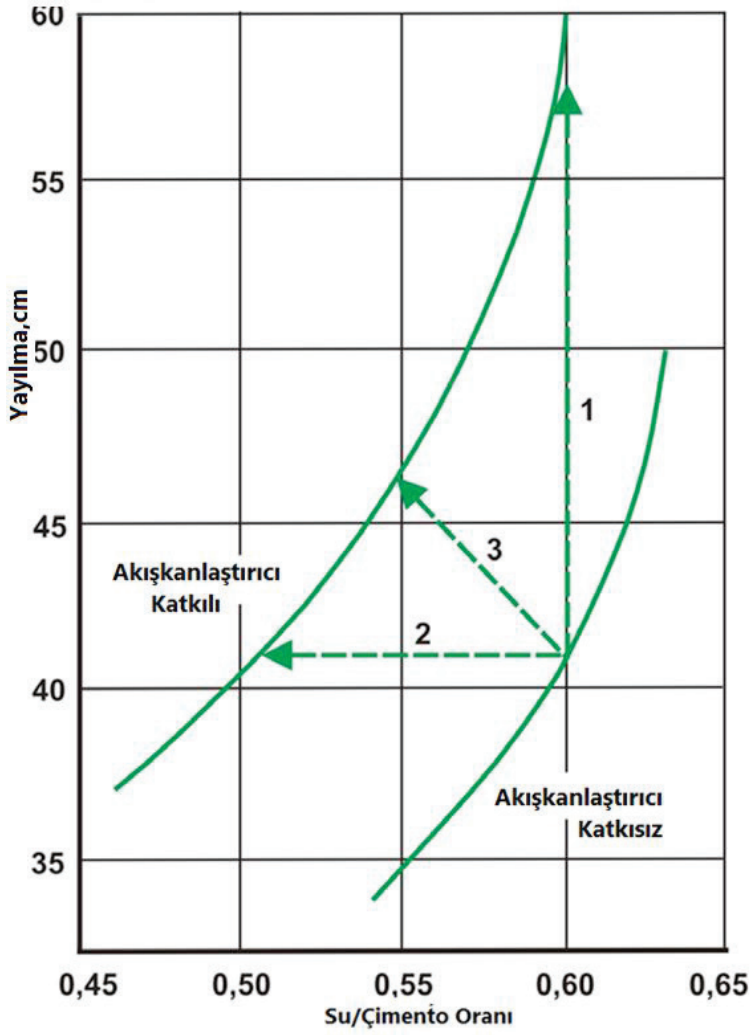
	Etken Madde	Özellikler	Kullanıldığı Yerler
Yüzey Aktif Maddeler	Naftalin Sülfonat	Priz geciktirici olabilir	
		Çok iyi plastikleştirici	
		Hava/gözenek oluşmasına eğilimli	BV/FM
		Ticari olarakçok ilginç	
		Selüloz endüstrisi yan ürünü	
Lignosülfonat		Sentetik olarak üretilir	BV
		Ucuz kalitedeki ürünler hava oluşturma eğilimindedir.	
		İyi plastikleştirici, ama doz miktarı daha yüksek olmalıdır	
Dağıtıcı, dissosiye Tepki veren Maddeler	Melamin Reçineleri	Geciktirme yapmaz	BV/FM
		Yapışma etkilidir	
		Özellikle Hava sürüklenen betonlar(LP) için uygulanır.	
		Bazan kullanım dozuçok az miktarlardaçok iyi plastikleştirici	
	Polikarboksilatlar/ Polikarboksilateter	Plastikliğini çok uzun süre koruyabilme özelliğinde	BV/FM
		Beton karışımını ayırışmadan bir arada tutabilme	

Örneğin; 400mm yayılma yapabilen bir plastik beton, akışkanlaştırıcı ve plastikleştiricikatkılarla,yumuşak bir betona dönüşebilir.

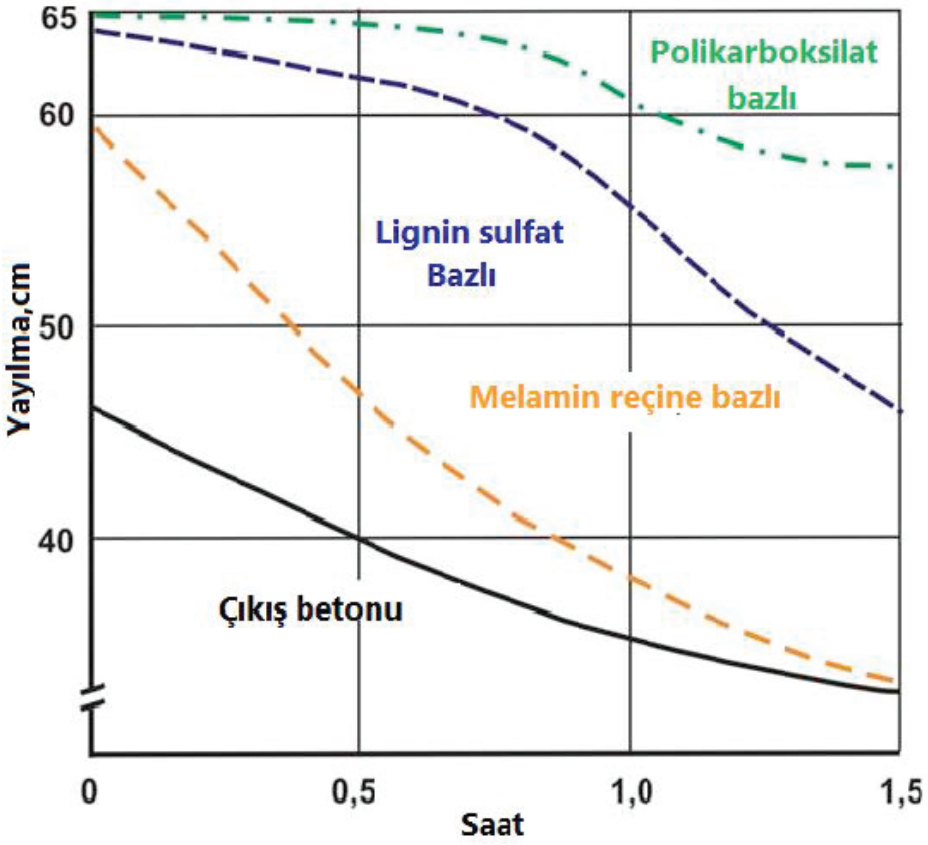
Öte yandan eşit kıvamda beton plastikleştirici(BV) veya beton akışkanlaştırıcı(FM) katkıları kullanılması ile su oranı düşürülerek beton özellikleri üzerinde olumlu bir etki sağlanmasıdamümkündür.(Resim-4)

BV ve FM katkılarının etki süreleri sınırlıdır.(Resim-5)

Bu durum, her iki katkı türünün, beton tedariki esnasında dozu ayarlandıktan sonra manuel olarak mikser araçları içine konabileceği sonucunu ortaya çıkarmaktadır.



Resim- 4(BV)ve (FM) Katkılarına aitAkışkanlaştırıcı EtkisininMümkün olan Kullanımı



Resim-5AkışkanlaştırıcıKatkının İlave Edilmesiyle Birlikte Etki Süresi [Lit.6]

Betonda;
320 kg/m³ CEM I Çimentosu kullanılmıştır.
S/Ç:0,56
T:20°C

Sonuç:

Uzun süreli İnşaat işi gerektiren şantiyelerde “Akışkanlaştırıcı Katkılar” kullanılmalıdır.

1.2.2. Hava Sürükleyiciler

Yüzey aktif maddeler(Deterjanlar)hava sürükleyici (LP)maddelerdir. Bunlar bir hidrofilik birde hidrofobikuklara sahiptirler. Bu durum böylece onların kendi kendine hava / suara yüzünde uyumunu sağlarlar.Karıştırma enerjisi vasıtasıyla su ya da sulubir matris içindegirişi sağlananhava,gözenek/boşluk oluşturur ve hava sürükleyici katkılar aracılığıyla bu boşluklar sabit kalır.

Hava sürükleyici katkıların oluşturduğu gözeneklerinişlenebilirliğıiyleştirmesi "bilye etkisi/efekti taşıyan" geometrik etkisi sayesinde olur. Bu nedenle bu hava boşluklarıkısmenkarışımındaki eksik taşınu/filler malzeme yerine kullanılması da mümkündür.Hava sürükleyiciler, beton içinde<0,3 mm çapındave birbirine<0,2 mm mesafedeki mikro hava boşluklarından oluşan ince vehomojen dağılmışbir sistemoluşturulmalıdır.

Bu mikro hava boşluklarıkılcal/kapılarboşluklardan oluşmuş çatlakların önünü keserek betonun donma direncini sağlar.

Tablo-4Hava Sürükleyen Etken Maddeler ve Özellikleri

	Etken Madde	Özellik
Doğal	Kök reçinesi, Ağaç reçinesi	• Yaklaşık %50 bölümü mikro boşluk • Boşluk yapısı kolayca kırılabilen • Sınırlı kullanılabilirlik
Sentetik	Sentetik yüzey aktif	• Yaklaşık % 80 bölümü mikro boşluk • Stabil boşluk yapısı • İyi kullanılabilirlik

1.2.3 Priz Geciktiriciler

Priz geciktirici katkılarla(VZ) hidrasyon gelişmesi, büyük ölçüde genel hidrasyon gelişmesine karşılık gelir. Priz geciktirici katkılar, hidrasyon gelişmesiniyavaşlatarak matrisin uzun bir sürede priz almasına neden olur. Mekanizması tam olarak anlaşılmış değildir.

Aşağıda bu davranışları açıklayan hipotezler mevcuttur.

- Reaktif yüzeylerde geciktiricinin (VZ)adsorpsiyonu,
- Yüzeyde veya geciktirici(VZ) üzerindereaksiyon ürünlerinin adsorpsiyonu
- Geciktiricilerin(VZ)Kalsiyum iyonları ilekompleks/bütünlükoluşturması.

Organik ve anorganik etken maddelerpriz geciktirici olarakkullanılabilir. (Tablo 5)

Tablo 5 Beton Priz Geciktirici Katkıların Etken Madde Grupları

	Türü	Özellik
A n o r g a n i k	Fosfatlar	• Çok iyi etkili • Geciktirme süresi>24 saat için uygulanır • Plastikleştirici etkisi yoktur • Dozlama ile etki artışı sürekli,orta seviyede • Gecikmeli ZTV-K-betonu için öngörülür
O r g a n i k	Sakkaroz (Şeker)	• Çok iyi Etkili • Aniden değişmeye/bozunmaya eğilimli • Geciktirme süresi>24 saat için uygulanır • En çok harç kullanım alanlarında tercih edilir
	Hidroksicarbonik asit (örneğin,Sitrik asit)	• İyi Etkili • Aynı zamanda plastikleştirici etkili • Geciktirme süresi kısa (birkaçsaat) olan uygulamalar için • ZTV-K-(Yol betonu) için izin verilmez
	Lignosufonat	• Aynı zamanda plastikleştirici etkilidir • Düşük etkili

1.3Mineral Beton Katkıları

Mineral beton katkıları ince tane boyutunda mineral malzemeler olup beton içine mevcut özelliklerini etkilemek için ilave edilir.Bu özellikler öncelikle taze betonun işleneabilirliği ile sertleşmiş betonun sızdırmazlığı, geçirimsizliğidir.

Mineral katkıları kullanılırken beton kimyasal katkılarından daha büyük oranlarda taze betona ilave edilmeleri nedeniyle beton karışım hesabında 1m³ malzeme hacminde kullanılan mineral katkı hacmi dikkate alınmalıdır. Mineral katkı maddeleri betonun sertleşmesini ve direncini olumsuz etkilememeli,donatının korozyon koruması için tehlike oluşturmamalıdır.

Mineral beton katkılarına ait sınıflandırma Resim- 6 dan alınmıştır.

Anorganik Mineral Maddeler

Reaksiyon Yeteneğine Göre Sınıflandırma

İnert MaddelerPuzolanikve Gizli Hidrolik Bağlayıcı Maddeler

DIN 1045-2'ye göre

Tip I Mineral Katkısı

Örneğin;

-Taş Unu- Yüksek Fırın Cürufu

-Bentonit-Uçucu Kül

-Çimento Pigmentleri- Mikro Silika

-Tras

DIN 1045-2 ' ye göre

Tip II Mineral Katkısı

Örneğin;

Organik Maddeler

Örneğin;

Özellikle tamir harcı için

Plastikler, Kauçuk, Bitümler

Resim-6 Beton Katkı Maddeleri- Sınıflandırması[Lit6]

1.3.1Anorganik Mineral Malzemeler

Bunlar tahıl unu tane büyüklüğünde kullanılmaktadır.En önemli temsilcileri olarak taş unu, uçucu kül ve silika tozlarıdır.Silika tozu,Silisyum ve ferrosilisyum alaşımı üretiminde buharlaştırılmış silisin yoğunlaştırılmasıyla oluşan bir yan üründür.

Anorganik Mineral Malzemeler DIN 1045-2 standardında iki tipe ayrılmıştır.

- **İnert Katkı Maddeleri(Tip I),**Taşunu,Bentonit,Boyar maddeler,Çimento boyları bunlardan bazıları olarak sayılabilir.
- **Puzolanik ve Gizli Hidrolik Bağlayıcı Maddeler(Tip II),**Tras,uçucu kül, camsı granüle yüksek fırın cürufubunlardan bazılarıdır.
Puzolanlar;
 - Aynı su oranında işlene bilirliği iyileştirebilir,
 - Betondaki kanamayı(beton suyunun ayrışmasını) azaltabilir,
 - Hacımca genleşip şişerek su sızdırmazlığını artırabilir,
 - Hidratasyonı, büzülme ve bunun sonucunda çatlak oluşumu eğilimini azaltabilir,
 - Kimyasal dayanıklılığı/direnci arttırabilir.
 - Ca(OH)_2 oluşturma vasıtası ile çiçeklenmenin ortaya çıkmasını azaltabilir.

Çimento boyaları; anorganik pigmentler olup metal oksit ve metal tuzlarından oluşur. Organik boyar maddeler uygun değildir. Onlar bürüt beton, yol cadde yapılarındaki siyah boyama işlerinde veya beyaz renkli bordürler ile yol şeritlerinin boyamasında kullanılır.

Seçilen metal oksitler, şunlardır.

Örneğin;

- Kırmızı, sarı, kahverengi, siyah renge boyama için demir oksitler,
- Beyaz renge boyama için titanyum dioksit,
- Yeşil renge boyama için krom oksit yeşili

Beton karışım oranları tespit edilirken, tip II beton katkı maddeleri miktarı su/çimento oranı ve minimum çimento içeriği üzerinden hesaplanır.

Malzeme hacim hesaplamasında mineral katkı maddeleri için belirlenmiş olan k-değeri katsayısı kullanılarak "su/çimento oranı" kavramı yerine "eşdeğer su/çimento oranı" kavramı değiştirilerek uygulanmalıdır.

Kullanılabilir k-değeri, her mineral katkı türüne bağlı olarak farklı değerlerde beyan edilir. (Bak Tablo-6) Ek olarak, puzolan reaksiyonu için $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tüketimini sınırlamak veya yeterli alkalilik aracılığı ile gözeneklerin çözülmesini güvenilir bir şekilde koruyarak karbonatlaşmayı sağlamak için, mineral katkı maddelerine ait maksimum kullanım miktarı sınırlandırılmıştır.

[Lit 4] e göre hesaplamalarda aşağıdaki kullanım koşulları göz önüne alınmalıdır.

Tablo- 6

Tip II Mineral Katkılarının Kabul Edilen Maksimum İlave Miktarları (f, z ve s ; $[\text{kg}/\text{m}^3]$)

	Uçucu küller, f	Silika tozu, s	Uçucu kül ve Silika tozu
Gözenek çözülmesinin alkalinitesi ni emniyetle sağlamak için maksimum katkı maddesi içeriği	Sınırlanmamıştır ¹⁾	$s/z \leq 0,11$	$s/z \leq 0,11$ $f/z \leq 3 \cdot (0,22 - s/z)^{7)}$ $f/z \leq 3 \cdot (0,15 - s/z)$
Eşdeğer su-çimento oranı için uygulanabilecek katkı maddesi içeriği	$f/z \leq 0,33$ ²⁾ $f/z \leq 0,25$ ³⁾ $f/z \leq 0,15$ ¹⁾	$s/z \leq 0,11$	$f/z \leq 0,33$ $s/z \leq 0,11$
K değeri	$k_f = 0,4$	$k_s = 1,0$	$k_f = 0,4$ $k_s = 1,0$
Eşdeğer su-çimento oran (w/z) _{eq}	$w/(z + k_f \cdot f)$	$w/(z + k_s \cdot s)^{6)}$	$w/(z + k_f \cdot f + k_s \cdot s)^{6)}$
Azaltılmış asgari çimento içeriği $Z_{\min}$	$z + f \geq Z_{\min}$	$z + f \geq Z_{\min}$	$z + f + s \geq Z_{\min}^{6)}$
	CEM I CEM II/A-D CEM II/A-S veya CEM II/B-S	CEM I CEM II/A-S veya CEM II/B-S CEM II/A-P	CEM I CEM II/A-S veya CEM II/B-S CEM II/A-T veya

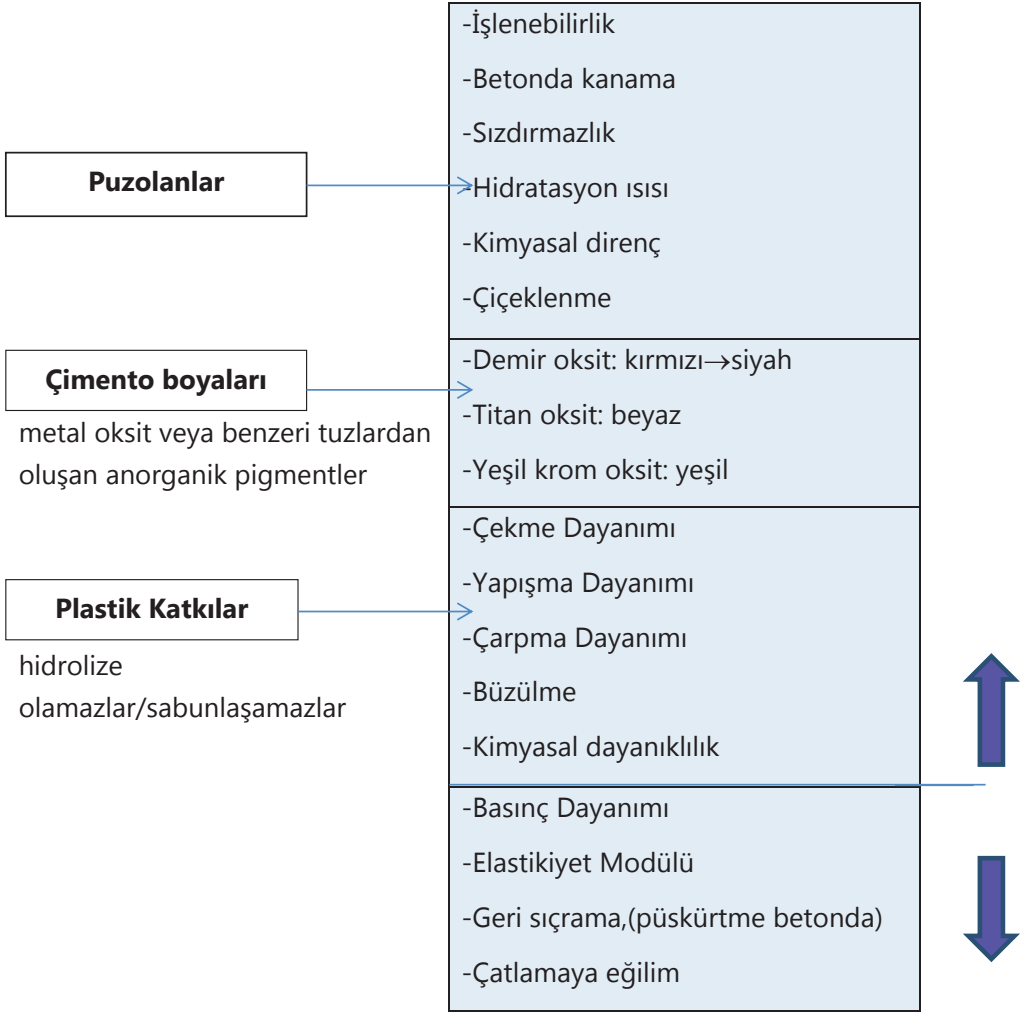
Kabul Edilen Çimento Türleri	CEM II/A-T veya CEM II/B-T CEM II/A-LL CEM II/A-P CEM II/A-V ⁴⁾ CEM II/A-M (S, D, P, V, T, LL) ⁵⁾ CEM II/B-M ((S-D), (S-T), (D-T)) ⁵⁾ CEM III/A ⁴⁾ CEM III/B ($S_{max} \leq 70 \text{ M-\%}$) ⁶⁾	CEM II/B-P CEM II/A-V CEM II/A-T veya CEM II/B-T CEM II/A-LL CEM II/A-M (S, P, V, T, LL) ⁵⁾ CEM II/B-M ((ST), S-V) ⁵⁾ CEM III/A CEM III/B	CEM II/B-T CEM II/A-LL CEM II/A-M ((S-T), (S-LL), (T-LL)) CEM II/B-M (S-T) CEM III/A
------------------------------------	--	---	---

¹⁾ $f/z \leq 0,15$ için D(silis dumanı) Anabileşenli çimentolar için
²⁾ P(Doğal puzolan), V(silissi uçucu kül) ve D(silis dumanı) anabileşensiz çimentolar için
³⁾ P veya V Anabileşenli, D Anabileşensiz çimentolar için
⁴⁾ Çevre etki sınıfı XF4 olup DIN 1045-2/A2, Tablo F.3,1 dikkate alınmalıdır.
⁵⁾ Çevre etki sınıfı için DIN 1045-2/A2, Tablo F.3.2 dikkate alınmalıdır
⁶⁾ XF2 ve XF4 dışındaki tüm Çevre etki sınıfı için
⁷⁾ CEM I çimentoları için
 Su altında dökülen betonlarda kullanılan uçucu kül için geçerlidir.
 $(z + f) \geq 350 \text{ kg/m}^3$; $(w/z)_{eq} = w/(z + 0,7 \cdot f) \leq 0,60$

1.3.2 Organik Katkı Maddeleri

Organik katkı maddeleri,(plastik, lastik/kauçuk, bitümler, yapay reçine dispersiyonları)ince tabakalar halinde ek bir nem kürü olmaksızınertleşmeyi sağlayıp yapışma, gerilme mukavemeti ve sıklığı iyileştirmek içintamir harçlarındakullanılmaktadır.

Özellikleplastik/sentetik katkı maddeleri alkali ortamda hidrolize olmayıp sabunlaşmayabilir.



Resim-7 Mineral Beton Katkı Maddeleri [Lit 6]

2 Literatür

Lit 1: ÇimentoYapı Danışmanlığı: Filmler

Lit 2: Alman Betonarme Komitesi: DafstbDirektifi-Kendiliğinden Yerleşen Beton

Lit3: DIN Teknik Rapor 100 "Beton"2006,

Lit4: DIN 1045-2 / A2: 07-2007: Betonarme ve Ön Gerilmeli Beton Yapılar,
Bölüm 2: Beton - Şartname, Özellikleri, Üretim ve Uygunluk; Uygulama

Kuralları EN 206-1 DIN; Değişiklikler A2 2007

Lit5: Heidelberg Çimento,Beton Teknik Verileri, Ocak 2004 Tarihli Sayısı

Lit 6: Schiessl, P. Temel Malzeme Bilimi Dersleri İçinBeton Notları. MünihTeknik
Üniversitesi, 2006

Dr.-Ing. Andrea KustermannYapı Malzemeleri Bilimi FHM Beton Katkıları, Mineral Katkı Maddeleri Kış
Dönemi Münih Üniversitesi2008/2009