

EXPERIMENTAL

Metis type crust leathers were used for the application of two thermochromic pigment dispersions (TMC Hallcrest, England) providing color change at 15°C and 31°C. They were applied at the base coat of the finishing process by the addition of a commercial UV absorber and crosslinker in the finishing process. Thermochromic pigments were microencapsulated in the form of water-based dispersion with the following features: solid content 48±2%, granule size 97% <6µm, pH 5.0-5.5, 1-2 light fastness [1,7].

Prior to finishing applications, crust leathers were dyed with a suitable base colors (yellow and red) to ensure the transition from one color to another. After drying and mechanical processing, finishing processes with thermochromic pigments were applied to leathers.

Thermochromic and conventional pigment proportions were selected as 2:1 for the finishing applications [1,7] and 40 units UV absorbent was used along with the pigment application at the base coat. At the top coat of the finishing procedure, four different proportions (15, 20, 50 and 70 units) were used with and without crosslinker application.

Sampling and conditioning were performed in accordance with according to the standards of ISO 2418 and ISO 2419 respectively [8,9].

The accelerated ageing tests were performed under two different conditions (only heat; 24h at 60°C and the combination of heat and moisture; 24h at 50°C and 90% humidity) in accordance with TS EN ISO 17228 [10]. The color measurements and color change of the thermochromic leathers were determined by a Minolta CM-3600d spectrophotometer prior and subsequent to ageing.

The color change effect acquired on the leathers was determined by spectrophotometric measurements performed by Minolta CM-3600A (Konica, Japan). Measurements were performed according to the CIE Lab color system. These measurements were carried out separately for cold and touch activity leathers in duplicates and were given as mean value ± standard deviation.

RESULTS AND DISCUSSION

The color change of thermochromic leathers aged artificially under the conditions of 24h at 60°C (6A) were evaluated according to L*a*b coordinates and the results are shown in Table 1 and 3 (gives the results when thermochromic leathers are inactive) and Table 2 and 4 (gives the results when thermochromic leathers are active)

Table 1. The color values of touch activity leathers in the inactive form under the ageing conditions of 6A

Trials	6A	L	a	b	dE
	Ageing				
B1	Before	73.27±0.41	-2.93±0.48	66.59±1.08	72.21±0.57
	After	73.35±0.33	-2.57±0.15	66.78±0.21	71.86±0.10
B1.C	Before	73.27±0.54	-2.56±0.35	66.41±1.10	72.03±0.88
	After	73.52±0.40	-2.42±0.06	67.31±0.43	72.30±0.30
B2	Before	72.33±1.71	-3.01±0.92	59.05±1.84	65.16±1.00
	After	71.27±1.21	-3.09±0.40	58.38±1.82	64.99±1.14
B2.C	Before	73.09±0.10	-2.58±0.55	59.89±0.25	65.57±0.23
	After	69.81±0.87	-2.18±0.62	56.56±0.78	63.95±0.40
B3	Before	71.11±0.84	-3.29±0.67	56.90±2.60	63.74±1.95
	After	71.73±0.66	-3.67±0.16	57.59±1.11	64.09±1.19
B3.C	Before	71.24±1.15	-3.28±0.09	56.88±1.46	63.65±1.14
	After	71.46±0.65	-3.20±0.30	57.90±1.06	64.47±0.94
15	Before	72.5±0.58	-3.75±0.30	56.92±1.45	63.16±1.32

	After	71.58±0.66	-2.84±0.66	57.96±0.98	64.45±0.59
15.C	Before	71.37±0.32	-3.32±0.91	56.28±1.48	63.04±1.31
	After	70.78±0.62	-3.25±0.73	55.95±0.48	63.01±0.31
20	Before	72.19±0.38	-3.39±0.36	57.13±0.83	63.46±0.63
	After	71.89±0.24	-2.77±0.61	57.91±0.62	64.27±0.53
20.C	Before	70.92±0.93	-3.13±0.42	55.77±1.07	62.79±0.61
	After	71.51±0.32	-3.25±0.30	56.81±0.45	63.46±0.42
50	Before	71.79±0.42	-2.97±0.83	57.15±1.67	63.64±1.50
	After	71.66±0.33	-2.85±0.52	56.68±1.76	63.27±1.47
50.C	Before	71.13±0.69	-3.26±0.71	55.97±2.27	62.89±1.93
	After	71.87±0.44	-3.93±0.62	57.32±2.14	63.81±1.72
70	Before	71.46±0.46	-3.50±0.64	56.88±1.19	63.57±0.94
	After	71.63±0.30	-2.93±1.46	58.02±0.94	64.49±0.88
70.C	Before	71.52±0.32	-3.66±0.39	56.61±2.35	63.30±2.12
	After	71.40±0.90	-3.69±0.77	56.74±2.29	63.47±2.29

Touch activity leathers were maintained the thermochromic characteristics after the ageing performed under only heat effect and this effect was still reversible.

Table 2. The color values of touch activity leathers in the active form under the ageing conditions of 6A

Trials	6A Ageing	L	a	b	dE
B1	Before	73.27±0.41	-2.93±0.48	66.59±1.08	72.21±0.57
	After	73.35±0.33	-2.57±0.15	66.78±0.21	71.86±0.10
B1.C	Before	73.27±0.54	-2.56±0.35	66.41±1.10	72.03±0.88
	After	73.52±0.40	-2.42±0.06	67.31±0.43	72.30±0.30
B2	Before	55.44±0.26	24.26±1.44	34.90±0.46	61.06±0.49
	After	55.36±1.32	23.02±2.44	35.20±2.07	60.90±0.71
B2.C	Before	55.54±0.55	24.57±0.66	34.71±0.40	61.00±0.34
	After	55.04±0.56	22.17±0.73	34.85±1.08	60.54±0.48
B3	Before	58.29±0.48	20.31±0.71	38.38±0.84	59.74±0.80
	After	58.54±1.10	19.21±1.27	38.31±0.56	59.18±1.06
B3.C	Before	58.08±1.43	19.98±0.86	37.42±0.76	59.16±0.79
	After	58.21±1.60	19.41±2.38	38.47±1.40	59.61±0.93
15	Before	59.79±0.8	17.87±1.70	39.34±0.38	58.58±0.88
	After	57.90±1.35	20.60±0.71	37.87±1.84	59.82±0.13
15.C	Before	58.04±0.78	19.58±1.77	36.85±0.34	58.69±1.29
	After	58.36±0.25	18.10±0.60	37.93±0.60	58.69±0.33
20	Before	59.06±0.62	18.98±1.01	38.36±0.40	58.77±0.49
	After	58.29±1.25	20.36±1.27	38.14±1.27	59.64±0.54
20.C	Before	58.62±0.58	18.28±0.78	38.07±0.46	58.64±0.48
	After	65.61±7.08	7.20±12.35	48.14±9.89	61.10±2.52
50	Before	58.80±1.12	19.05±1.80	38.39±0.28	58.99±1.48
	After	59.60±0.41	18.29±1.11	39.09±1.34	58.67±1.16
50.C	Before	58.23±1.02	18.46±2.37	38.00±0.38	58.96±1.46
	After	59.01±0.35	18.65±1.29	38.64±1.42	58.89±1.22
70	Before	58.45±1.26	18.60±2.40	38.53±1.02	59.21±1.04
	After	58.49±1.12	19.74±0.97	38.97±1.79	59.84±0.81
70.C	Before	58.04±2.21	18.69±3.65	37.96±1.20	59.20±1.92
	After	59.10±2.25	17.81±2.86	38.82±1.10	58.73±2.24

Similarly, in active and inactive forms of cold activity leathers the lightness, redness and blueness values of the leathers were found close which was the significance of no change before and after heat ageing.

Table 3. The color values of cold activity leathers in the inactive form under the ageing conditions of 6A

Trials	6A Ageing	L	a	b	dE
B1	Before	35.72±0.71	39.58±1.90	14.13±0.54	75.84±0.41
	After	35.92±0.19	39.72±0.46	14.57±0.61	76.05±0.55
B1.C	Before	35.85±0.41	38.72±0.71	13.58±0.69	75.15±0.52
	After	35.86±0.26	38.69±0.46	13.98±0.25	75.46±0.20
B2	Before	38.42±0.42	40.25±0.40	11.07±0.86	73.40±0.58
	After	37.98±0.67	40.17±0.85	11.89±0.15	74.11±0.21
B2.C	Before	38.20±0.56	39.49±0.79	10.88±0.72	73.13±0.63
	After	38.02±0.27	39.42±0.47	11.46±0.41	73.59±0.27
B3	Before	38.97±0.65	38.51±0.63	9.31±1.44	71.71±1.31
	After	39.16±1.55	38.39±0.14	9.82±1.06	71.85±1.37
B3.C	Before	38.99±0.41	38.49±1.78	9.37±1.49	71.71±1.16
	After	38.39±0.14	38.18±1.40	10.27±0.87	72.46±0.76
15	Before	38.48±1.05	38.24±0.64	9.46±1.26	72.00±1.31
	After	38.76±0.38	38.78±0.46	10.15±0.44	72.45±0.41
15.C	Before	38.28±0.52	36.82±1.29	8.97±1.13	71.35±0.87
	After	38.30±0.36	37.78±0.46	9.91±0.14	72.26±0.13
20	Before	39.20±0.92	38.21±0.97	8.49±0.43	71.25±0.20
	After	39.61±0.61	39.23±0.77	9.91±0.55	71.95±0.12
20.C	Before	38.73±0.58	37.84±1.11	9.02±1.28	71.51±1.00
	After	38.92±0.43	38.47±0.14	9.39±0.43	72.04±0.45
50	Before	37.76±1.08	36.70±1.01	8.92±0.53	71.72±0.62
	After	39.59±2.01	36.76±0.48	8.95±0.62	70.52±1.92
50.C	Before	38.52±0.29	37.90±0.66	9.23±0.79	71.75±0.71
	After	38.13±0.65	38.09±1.20	10.23±0.39	72.62±0.29
70	Before	38.2±0.36	38.00±1.08	9.57±1.42	72.12±1.29
	After	38.51±0.96	38.95±0.22	10.51±0.80	72.79±0.82
70.C	Before	37.86±0.50	37.14±1.26	9.65±0.98	71.96±1.02
	After	38.60±0.18	38.60±1.17	10.33±0.57	72.50±0.78

Table 4. The color values of cold activity leathers in the active form under the ageing conditions of 6A

Trials	6A Ageing	L	a	b	dE
B1	Before	35.72±0.71	39.58±1.90	14.13±0.54	75.84±0.41
	After	35.92±0.19	39.72±0.46	14.57±0.61	76.05±0.55
B1.C	Before	35.85±0.41	38.72±0.71	13.58±0.69	75.15±0.52
	After	35.86±0.26	38.69±0.46	13.98±0.25	75.46±0.20
B2	Before	29.77±0.65	19.89±2.22	-1.22±0.29	72.04±0.09
	After	29.17±1.01	19.52±2.09	-1.34±0.43	72.55±0.48
B2.C	Before	30.14±0.99	19.96±1.44	-0.80±0.86	71.70±0.54
	After	29.73±0.81	18.49±3.34	-1.26±0.32	71.77±0.31
B3	Before	30.59±0.95	20.54±1.74	-1.92±0.60	71.46±0.42
	After	31.28±2.35	21.06±2.63	-1.83±0.72	71.00±1.37
B3.C	Before	30.85±0.43	21.06±0.71	-1.69±0.13	71.33±0.32
	After	29.95±0.61	19.47±1.24	-2.15±0.39	71.77±0.29

15	Before	29.25±0.54	20.78±3.57	-2.35±0.57	72.85±1.39
	After	30.47±0.42	20.25±0.74	-2.03±1.09	71.49±0.36
15.C	Before	30.50±0.52	19.75±1.90	-1.71±0.45	71.31±0.62
	After	30.16±0.37	18.96±0.70	-2.08±0.37	71.44±0.26
20	Before	31.12±0.37	22.14±0.93	-2.89±0.34	71.43±0.46
	After	32.44±1.92	25.20±4.05	-0.30±2.79	71.34±0.44
20.C	Before	31.13±0.60	20.85±2.05	-1.78±0.38	71.03±0.30
	After	30.38±0.51	21.09±2.00	-2.87±0.28	71.86±0.65
50	Before	30.23±0.97	20.79±1.39	-1.93±0.35	71.86±0.54
	After	32.36±3.28	23.87±3.49	-0.25±2.01	70.92±2.03
50.C	Before	30.56±0.45	20.65±1.25	-2.08±0.29	71.50±0.27
	After	29.18±0.69	18.40±1.40	-1.58±0.29	72.22±0.43
70	Before	30.36±1.11	20.34±3.04	-2.43±0.26	71.66±0.29
	After	29.52±1.53	19.04±2.95	-2.36±0.23	72.13±0.62
70.C	Before	30.12±0.58	19.06±0.86	-1.85±0.57	71.47±0.48
	After	29.09±1.19	18.18±1.96	-2.24±0.36	72.28±0.84

The color change of thermochromic leathers aged artificially under the conditions of 24h at 50°C and 90% humidity (7A) were evaluated according to L*a*b coordinates and the results are shown in Table 5 and 7 (gives the results when thermochromic leathers are inactive) and Table 6 and 8 (gives the results when thermochromic leathers are active)

Table 5. The color values of touch activity leathers in the inactive form under the ageing conditions of 7A

Trial	6A Ageing	L	a	b	dE
B1	Before	73.27±0.41	-2.93±0.48	66.59±1.08	72.21±0.57
	After	73.77±0.23	-2.23±0.05	67.49±0.40	72.38±0.32
B1.C	Before	73.27±0.54	-2.56±0.35	66.41±1.10	72.03±0.88
	After	73.28±0.76	-1.88±0.46	66.59±1.24	71.71±0.96
B2	Before	72.33±1.71	-3.01±0.92	59.05±1.84	65.16±1.00
	After	71.72±0.74	-3.12±0.20	58.15±1.63	64.60±1.14
B2.C	Before	73.09±0.10	-2.58±0.55	59.89±0.25	65.57±0.23
	After	70.38±1.35	-2.24±0.63	57.81±1.76	64.85±0.97
B3	Before	71.11±0.84	-3.29±0.67	56.90±2.60	63.74±1.95
	After	72.19±0.88	-3.72±0.18	58.47±0.34	64.72±0.32
B3.C	Before	71.24±1.15	-3.28±0.09	56.88±1.46	63.65±1.14
	After	71.68±0.72	-3.47±0.05	57.82±0.60	64.32±0.68
15	Before	72.5±0.58	-3.75±0.30	56.92±1.45	63.16±1.32
	After	71.35±0.78	-2.47±0.26	57.50±1.02	64.13±0.62
15.C	Before	71.37±0.32	-3.32±0.91	56.28±1.48	63.04±1.31
	After	70.99±0.67	-3.45±0.64	55.95±0.79	62.95±0.76
20	Before	72.19±0.38	-3.39±0.36	57.13±0.83	63.46±0.63
	After	71.84±0.71	-3.62±0.27	57.27±1.09	63.77±0.77
20.C	Before	70.92±0.93	-3.13±0.42	55.77±1.07	62.79±0.61
	After	71.71±0.13	-3.09±0.30	57.07±0.51	63.61±0.51
50	Before	71.79±0.42	-2.97±0.83	57.15±1.67	63.64±1.50
	After	71.19±0.90	-2.87±0.74	56.86±1.87	63.65±1.43
50.C	Before	71.13±0.69	-3.26±0.71	55.97±2.27	62.89±1.93
	After	71.77±0.42	-3.84±0.56	57.03±2.37	63.61±1.98
70	Before	71.46±0.46	-3.50±0.64	56.88±1.19	63.57±0.94
	After	71.56±0.42	-3.13±1.29	57.72±1.44	64.28±1.45

70.C	Before	71.52±0.32	-3.66±0.39	56.61±2.35	63.30±2.12
	After	70.90±0.89	-3.63±0.58	56.67±2.53	63.64±2.47

The touch activity leathers in the inactive form protected their thermochromic effect after the ageing performed under heat and humidity however the similar results couldn't be determined for the touch activity leathers in their active forms.

Table 6. The color values of touch activity leathers in the active form under the ageing conditions of 7A

Trials	6A Ageing	L	a	b	dE
B1	Before	73.27±0.41	-2.93±0.48	66.59±1.08	72.21±0.57
	After	73.77±0.23	-2.23±0.05	67.49±0.40	72.38±0.32
B1.C	Before	73.27±0.54	-2.56±0.35	66.41±1.10	72.03±0.88
	After	73.28±0.76	-1.88±0.46	66.59±1.24	71.71±0.96
B2	Before	55.44±0.26	24.26±1.44	34.90±0.46	61.06±0.49
	After	61.73±1.46	14.73±3.06	43.34±1.79	59.40±0.40
B2.C	Before	55.54±0.55	24.57±0.66	34.71±0.40	61.00±0.34
	After	61.62±2.26	13.51±4.55	44.46±3.46	60.15±0.43
B3	Before	58.29±0.48	20.31±0.71	38.38±0.84	59.74±0.80
	After	62.38±0.90	14.19±2.49	43.96±2.25	59.32±0.65
B3.C	Before	58.08±1.43	19.98±0.86	37.42±0.76	59.16±0.79
	After	62.82±1.81	12.75±2.55	44.82±1.48	59.34±0.55
15	Before	59.79±0.8	17.87±1.70	39.34±0.38	58.58±0.88
	After	61.96±1.59	14.58±1.11	43.51±2.15	59.30±0.38
15.C	Before	58.04±0.78	19.58±1.77	36.85±0.34	58.69±1.29
	After	62.85±0.93	11.61±1.31	44.02±2.26	58.44±1.07
20	Before	59.06±0.62	18.98±1.01	38.36±0.40	58.77±0.49
	After	61.43±1.61	15.46±2.00	42.08±1.95	58.82±0.42
20.C	Before	58.62±0.58	18.28±0.78	38.07±0.46	58.64±0.48
	After	63.87±1.89	11.44±3.39	45.43±2.73	58.97±0.57
50	Before	58.80±1.12	19.05±1.80	38.39±0.28	58.99±1.48
	After	61.76±0.56	14.36±1.82	42.93±0.97	58.91±1.20
50.C	Before	58.23±1.02	18.46±2.37	38.00±0.38	58.96±1.46
	After	62.40±0.68	12.99±2.33	43.56±0.75	58.66±1.44
70	Before	58.45±1.26	18.60±2.40	38.53±1.02	59.21±1.04
	After	60.66±0.75	16.26±0.62	41.87±1.70	59.34±1.15
70.C	Before	58.04±2.21	18.69±3.65	37.96±1.20	59.20±1.92
	After	60.30±2.02	15.54±3.13	41.38±1.64	59.09±1.94

The cold activity leathers in their inactive form had color change effect after the ageing performed under heat and humidity however no similar results were found for their active forms.

Table 7. The color values of cold activity leathers in the inactive form under the ageing conditions of 7A

Trials	6A Ageing	L	a	b	dE
B1	Before	35.72±0.71	39.58±1.90	14.13±0.54	75.84±0.41
	After	36.19±0.20	40.01±0.36	14.49±0.70	75.93±0.45
B1.C	Before	35.85±0.41	38.72±0.71	13.58±0.69	75.15±0.52
	After	36.16±0.17	39.44±0.34	14.08±0.10	75.57±0.13
B2	Before	38.42±0.42	40.25±0.40	11.07±0.86	73.40±0.58
	After	38.20±0.48	39.68±0.61	11.57±0.27	73.56±0.13
B2.C	Before	38.20±0.56	39.49±0.79	10.88±0.72	73.13±0.63
	After	37.78±0.55	38.89±1.00	11.28±0.22	73.44±0.19

B3	Before	38.97±0.65	38.51±0.63	9.31±1.44	71.71±1.31
	After	38.03±0.85	37.26±0.63	9.71±0.44	72.15±0.61
B3.C	Before	38.99±0.41	38.49±1.78	9.37±1.49	71.71±1.16
	After	37.91±0.72	37.17±0.80	9.52±0.43	72.18±0.56
15	Before	38.48±1.05	38.24±0.64	9.46±1.26	72.00±1.31
	After	37.83±0.51	37.37±0.91	9.82±0.46	72.40±0.35
15.C	Before	38.28±0.52	36.82±1.29	8.97±1.13	71.35±0.87
	After	38.35±0.62	37.55±0.38	9.38±0.34	71.98±0.49
20	Before	39.20±0.92	38.21±0.97	8.49±0.43	71.25±0.20
	After	39.40±0.57	38.21±0.34	9.27±0.36	71.43±0.37
20.C	Before	38.73±0.58	37.84±1.11	9.02±1.28	71.51±1.00
	After	38.41±0.46	37.75±0.60	9.20±0.25	72.01±0.12
50	Before	37.76±1.08	36.70±1.01	8.92±0.53	71.72±0.62
	After	39.24±0.67	37.04±0.67	9.41±0.40	70.97±0.72
50.C	Before	38.52±0.29	37.90±0.66	9.23±0.79	71.75±0.71
	After	37.93±0.57	37.82±0.78	10.06±0.34	72.58±0.37
70	Before	38.2±0.36	38.00±1.08	9.57±1.42	72.12±1.29
	After	38.07±1.06	37.81±1.77	10.23±0.14	72.49±0.20
70.C	Before	37.86±0.50	37.14±1.26	9.65±0.98	71.96±1.02
	After	37.62±0.45	37.23±1.28	10.06±0.80	72.53±1.08

Table 8. The color values of cold activity leathers in the active form under the ageing conditions of 7A

Trials	6A Ageing	L	a	b	dE
B1	Before	35.72±0.71	39.58±1.90	14.13±0.54	75.84±0.41
	After	36.19±0.20	40.01±0.36	14.49±0.70	75.93±0.45
B1.C	Before	35.85±0.41	38.72±0.71	13.58±0.69	75.15±0.52
	After	36.16±0.17	39.44±0.34	14.08±0.10	75.57±0.13
B2	Before	38.42±0.42	40.25±0.40	11.07±0.86	73.40±0.58
	After	30.51±0.26	21.29±0.48	-0.07±0.26	71.68±0.27
B2.C	Before	38.20±0.56	39.49±0.79	10.88±0.72	73.13±0.63
	After	30.33±0.37	20.10±1.01	-0.03±0.19	71.51±0.18
B3	Before	38.97±0.65	38.51±0.63	9.31±1.44	71.71±1.31
	After	30.69±0.88	20.62±0.37	-1.28±0.62	71.32±0.82
B3.C	Before	38.99±0.41	38.49±1.78	9.37±1.49	71.71±1.16
	After	29.78±0.61	19.30±1.38	-1.78±0.33	71.84±0.52
15	Before	38.48±1.05	38.24±0.64	9.46±1.26	72.00±1.31
	After	30.43±0.16	20.03±0.91	-1.42±0.54	71.41±0.29
15.C	Before	38.28±0.52	36.82±1.29	8.97±1.13	71.35±0.87
	After	30.80±0.84	20.54±1.64	-1.70±0.53	71.21±0.36
20	Before	39.20±0.92	38.21±0.97	8.49±0.43	71.25±0.20
	After	33.48±2.05	26.51±4.43	0.48±2.94	70.82±0.26
20.C	Before	38.73±0.58	37.84±1.11	9.02±1.28	71.51±1.00
	After	30.54±0.31	20.80±1.24	-2.40±0.24	71.54±0.10
50	Before	37.76±1.08	36.70±1.01	8.92±0.53	71.72±0.62
	After	33.03±2.27	25.30±4.14	1.07±3.20	70.80±0.66
50.C	Before	38.52±0.29	37.90±0.66	9.23±0.79	71.75±0.71
	After	29.41±0.75	19.67±1.53	-1.89±0.10	72.30±0.93
70	Before	38.2±0.36	38.00±1.08	9.57±1.42	72.12±1.29
	After	29.94±0.97	19.12±2.80	-1.64±0.35	71.67±0.21
70.C	Before	37.86±0.50	37.14±1.26	9.65±0.98	71.96±1.02
	After	29.74±1.05	18.61±0.25	-1.62±0.30	71.68±0.99

CONCLUSION

In this study, the accelerated ageing properties of thermochromic leathers were investigated performed under two different ageing conditions. As a result of the color measurements, no negative effect was found on touch and cold activity thermochromic leathers under the 6A ageing conditions and the thermochromic effect was still found. However, lower color measurements were determined from some control groups including thermochromic pigments but with the addition of UV absorbent and crosslinker no significant difference were found in color values after the heat ageing (6A). The best result was found by the use of 50 units UV absorbent in the top coat of the finishing process. The color measurements performed after the ageing 7A showed that thermochromic effect had a slight decrease. But these results were based on the numerical data and when these thermochromic leathers were evaluated subjectively it can be clearly seen that thermochromic effect was still existed.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank to TUBITAK under the project number 212M031 and Turkey Prime Ministry State Planning Organization for the supply of equipment (Project no: 2007 DPT 001). In addition, we thank to Stahl Company for supplying leather finishing products.

REFERENCES

- [1] Şeren, A., Adıgüzel Zengin, A. C. and Bitlisli, B. O., Thermo-chromic Pigments in Leather Finishing, *XXXII Congress of IULTCS*, 29-31 May 2013, İstanbul, Turkey, 34.
- [2] Christie, RM., Robertson S., and Taylor, S., *Color: Design and Creativity*, 2007, **1(1)**, 5, 1.
- [3] Christie, RM., and Bryant, ID., *Color. Technol.*, 2005, **121**, 187.
- [4] Kulcar, R., Friskovec, M., Hauptman, N., Vesel A., and Gunde, MK., *Dyes Pigments*, 2010, **86**, 271.
- [5] Bamfield, P. and Hutchings, M., *Chromic Phenomena Technological Applications of Colour Chemistry*, 2nd ed. Royal Society of Chemistry, Cambridge, Great Britain, (2010) 562.
- [6] Chowdhury, M. A., Butola, B. S. and Joshi, M., *Color. Technol.*, 2013, **129**, 232.
- [7] Chowdhury, M. A., Joshi, M. and Butola, B. S., *J. Eng. Fiber Fabr.*, 2014, **9**, 107.
- [8] Salom A., Adiguzel Zengin A.C., Bitlisli B.O., *JSLTC*, **100 (6)**, 314-320.
- [9] ISO 2418:2002, Leather -- Chemical, physical and mechanical and fastness tests -- Sampling location, International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- [10] ISO 2419:2012, Leather — Physical and mechanical tests — Sample preparation and conditioning, International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland.
- [11] TS EN ISO 17228:2009, Leather - Tests for colour fastness - Change in colour with accelerated ageing, Turkish Standard Institute, Ankara, Turkey.

Rubbing Fastness Values of the Automotive Steering Wheel Leathers

KARAVANA, H A ^{1*}, IŞIK, N O², YALÇIN, F¹ ve AKPOLAT F¹

1Ege University, Engineering Faculty, Leather Engineering Department, 35100, Bornova, Izmir, TURKEY

2Namik Kemal University, Çorlu Vocational School, Leather Technology Programme, Çorlu, Tekirdag, TURKEY

E-mail adresi: fakpolat_35@hotmail.com

ABSTRACT

In leather industry; upholstery leather types are used in different areas such as seat upholstery, automobile upholstery, aircraft upholstery, yacht upholstery and steering wheel upholstery. According to the environmental conditions where the leathers are used, these leathers should provide some strength and fastness values. In this research, increasing the fastness values of automotive steering wheel's leathers was aimed. For this purpose, six pieces chrome tanned split crust steering wheel leathers without applied finishing process were used. Different formulations were applied to the leathers by changing the chemicals and their proportions in the finishing formulations using for increasing the fastness values. After that, to-and-fro rubbing tests with dry, wet, seawater, glass cleaner agent, isopropyl alcohol/deionized water were done according to TS EN ISO 11640 method for the determination of the colour fastness of leathers with applied finishing process. Then, colour measurements were taken by spectrophotometer from finished leathers before and after rubbing test. According to findings; it was detected that colour fastness values of the leathers produced by using F1 finishing recipe better than values of the leathers produced by using F2 and F3 finishing recipes.

INTRODUCTION

Upholstery leather is generally used for covering furniture and decoration products. In the leather sector, various upholstery leather types are produced which are used in different areas such as furniture, automobiles, airplanes, yachts and steering wheel. When this leather is used as final products, they should be able to meet some durability and fastness values according to the conditions of the environment.

In order to meet these desires that will enhance the quality of life of the users, the leather producers and researchers conduct various studies and make efforts to preserve these properties during the lifetime of the leather.

The leather produced as automotive upholstery can be classified as wet-white, chrome, vegetal, semi vegetal and combinations of these in terms of their processing. Since the automobiles in which these types of leathers are used are durable consumer goods, it is desired that the upholstery leather used in these automobiles maintain their long lifetime and desired properties during the lifetime (Karavana et al., 2012).

The leather used in the automotive sector can be classified as automotive upholstery and steering upholstery. In addition to the comfort and luxury features of the upholstery leather used for covering the steering wheel, they are expected to provide the necessary safety during the use of the vehicle.

Looking at the production of steering wheel, the metal frame of the steering wheel is covered with a polymer material, and the steering wheel upholstery leather is coated on this polymer material. If the friction between the polymer material and the leather falls below a certain value, or if any physical change occurs, this affects the use and reduces safety.

Considering the deformation experienced in the steering wheel upholstery leather, prominent features are the features such as perspiration fastness feature to eliminate the perspiration that occurs as a result

of long contact with the hand, good grip on the steering wheel to provide life term and driving safety, minimum stretching feature to ensure no gaps, physical durability requirements and rubbing fastness feature to prevent deformations that may occur due to friction.

In addition, during the use of upholstery leather in automobiles, the leather is extensively exposed to external factors such as temperature, sunlight, sweat and humidity. It is not desired to have any adverse effects on the leather due to these types of factors that develop over time. In order to prevent automotive upholstery leather from being affected by adverse conditions and maintain necessary features, a high level of production quality is required.

In this research, different finishing formulations were applied to the upholstery leather produced to use as automobile steering wheel leather, and some changes in fastness values were tried to be detected.

EXPERIMENTAL

Material

In the research, we have used as the research material a total of 3 split crust, chrome tanned calf leather (semi-finished product- tanned, dyed but not finished) intended to use as automobile steering wheel leather which were supplied from Sesa Industry and Trade Limited Company which operates in the Organized Leather Industry Zone in Menemen district of Izmir province.

Method

Before the automobile steering wheel leather used in the research was subjected to finishing, according to Beck and Rowlands (1970), since two half leathers obtained after being cut in parallel to the ridgeline of a leather showed bilateral symmetry, they were divided into 2 equal parts parallel to the ridgeline. 2 leathers were randomly selected from the half leathers and 3 groups were formed and each of the half leathers was numbered separately.

Finishing Process of Leathers

Three different finishing recipes given in Table 1, 2 and 3 were applied to the research materials, i.e. split crust steering automobile wheel leathers (semi-finished product- tanned, dyed but not finished) and the leather was made ready-to-use finished leather.

Table 1. F1 Coded Finishing Recipe Applied to Automobile Wheel Leathers

PRODUCT	MIXTURE RATIO				APPLICATION	
	A	B	C	D		
Founder 1930	1000					
Water	100					
Reticolante 1360	20				A	Impregnation:
						Gemata 21 SS roller
						10 g/sqft
Neofilm LE 1990		600				Sandblast 120°C
Isocryl HR 1905		200				
Isocryl HR 1893		100				
Ceranyl D 1188		10				
Pigments mix		150			B	Base Coat:
Reticolante 1904		25				Gemata 21 G x 2
Hydrofix matt 1725			850	850		
Hydrofix 1900			150	150		
Ceranyl D 1188			10	15		
Reticolante 1904			40	100		
Pigments mix			50	30	C	Pigment Coat: 1 x

AZ				10		Emboss Federica 130°C
					D	Top Coat:
						1 x with 30 pp Pigments
						1 x clear

Table 2. F2 Coded Finishing Recipe Applied to Automobile Wheel Leathers

PRODUCT	MIXTURE RATIO				APPLICATION	
	A	B	C	D		
Founder 1930	1000					
Water	100					
Reticolante 1360	20				A	Impregnation:
						Gemata 21 SS roller
						10 g/sqft
Neofilm LE 1990		600				Sandblast 120°C
Isocryl HR 1905		200				
Isocryl HR 1893		100				
Ceranil D 1188		10				
Pigments mix		150			B	Base Coat:
Reticolante 1904		25				Gemata 21 G x 2
Hydrofix matt 1725			850	850		
Hydrofix 1900			150	125		
Ceranil D 1188			10	15		
Reticolante 1904			40	80		
Pigments mix			50	30	C	Pigment Coat: 1 x
AZ				8		Emboss Federica 130°C
					D	Top Coat:
						1 x with 30 pp Pigments
						1 x clear

Table 3. F3 Coded Finishing Recipe Applied to Automobile Wheel Leathers

PRODUCT	MIXTURE RATIO				APPLICATION	
	A	B	C	D		
Founder 1930	1000					
Water	100					
Reticolante 1360	20				A	Impregnation:
						Gemata 21 SS roller
						10 g/sqft
Neofilm LE 1990		600				Sandblast 120°C
Isocryl HR 1905		200				
Isocryl HR 1893		100				
Ceranil D 1188		10				
Pigments mix		150			B	Base Coat:
Reticolante 1904		25				Gemata 21 G x 2
Hydrofix matt 1725			850	850		
Hydrofix 1900			150	100		
Ceranil D 1188			10	15		
Reticolante 1904			40	60		

Pigments mix			50	30	C	Pigment Coat: 1 x
AZ				6		Emboss Federica 130°C
					D	Top Coat:
						1 x with 30 pp Pigments
						1 x clear

A rubbing test was carried out to obtain some fastness values of each finishing recipe and to determine the optimum automobile steering wheel leather finishing recipe.

Colour Measurement of Leathers

In order to determine the colour change in numbers after the rubbing processes, Konica Minolta CM 3600d spectrophotometer connected to the computer was used. D65 illuminant and 10° standard observer (CIE, 1986) were used in the measurements and L* (Brightness / Lightness), a* (red-green colour coordinate) and b* colour parameters (yellow-blue colour coordinate) were read directly (McLaren, 1987).

Before the measurement, the tool was calibrated with standard white and standard black. By means of a standard reading area with a diameter of 8 mm, 10 measurements were directly made from the surface of each of the leather, and the average of these measurements was taken.

Colour Fastness to Cycles of To and Fro Rubbing

The test piece cut in 150x80 mm dimensions according to TS EN ISO 11640 (2013) was attached to the moving sled part of the tool with the glass side facing upward and stretched. White wool felt of 5 mm thickness and 10 x 10 mm sizes was placed on the upper rubbing arm of the tool. With this felt, the test piece was subjected to back and forth rubbing under a weight of 1000 grams, and colour changes on the surface of the felt and the leather were observed.

Determination of Wet Rubbing fastness

It is used to determine the behavior of a leather surface against rubbing with wet felts. To do this, after the reference wool felt piece was moved back and forth on the leather surface under a certain pressure and at a certain number of times (25 times), the colour changes occurring in the leathers were evaluated using a spectrophotometer.

Determination of Rubbing fastness with Seawater

For this test, the felts used in the rubbing fastness test were exposed to seawater for 24 hours in a beherglass.

Determination of Rubbing fastness with Glass Cleaner Agent

For this test, the felts were soaked in a beherglass containing liquid glass cleaner agent of a non-ionic surfactant for 24 hours.

Determination of Rubbing fastness with Alcohol

For this test, the felts were soaked in a beherglass containing 50% v / v isopropyl alcohol / deionized water for 24 hours.

Determination of Rubbing fastness with Leather Cleaner Agent

For this test, the felts were soaked in a beherglass containing creamy leather cleaner agent for 24 hours.

RESULTS and DISCUSSION

In industry, in the production of all types of products that can come to your mind, colour is the most important parameter determining the quality of the final product obtained and the classification of these products; and the price of the product is determined according to its colour (Judd, 1959). Therefore, colour measurement and control in leather processes is becoming increasingly important for the economy (Randall, 1994).

One of the important parameters giving information about the quality of the finishing process applied to finished products is wet and dry rubbing fastness tests. This test is of great importance for finished products that will be subject to extreme friction during further use. Some of the issues that consumers pay attention to during the lifetime of the product are that the colour tones of the leather products should not change during use and that finishing film of the leather should not be worn as a result of rubbing.

Table 4. L* Values for the Results of Determination of Colour Fastness against To and Fro Rubbing Cycles

Finishing Recipe	Rubbing Fastness	n	Min.	Max.	Mean±S.D.
F1	Blank	15	24,10	24,18	24,13±0,009 ^a
	Pure Water	15	23,82	24,41	24,10±0,042^a
	Alcohol Mixture	15	23,18	24,15	23,59±0,077 ^b
	Seawater	15	23,64	24,18	23,89±0,039^{a,b}
	Glass Cleaner Agent	15	23,48	24,41	23,86±0,076 ^{a,b}
	Leather Cleaner Agent	15	23,37	25,93	24,12±0,217^a
F2	Blank	15	28,29	28,38	28,34±0,009 ^a
	Pure Water	15	28,00	28,42	28,20±0,037^{a,b}
	Alcohol Mixture	15	26,95	28,47	27,55±0,171 ^c
	Seawater	15	28,03	28,34	28,21±0,021^{a,b}
	Glass Cleaner Agent	15	27,91	28,84	28,15±0,062 ^{a,b}
	Leather Cleaner Agent	15	27,17	29,58	27,98±0,209^b
F3	Blank	15	27,54	27,59	27,57±0,005 ^b
	Pure Water	15	26,48	27,52	26,94±0,098^c
	Alcohol Mixture	15	23,83	27,85	25,59±0,430 ^d
	Seawater	15	27,26	28,15	27,52±0,075^{b,c}
	Glass Cleaner Agent	15	26,60	28,16	27,41±0,109 ^{b,c}
	Leather Cleaner Agent	15	27,45	29,16	28,30±0,139^a

a, b, c Different letters in the same column are statistically significant, one for each finishing recipe (p<0.05).

In the L* value of the colour parameters of the backward and forward rubbing cycles made with various chemicals on the leathers finished with F1 recipe from the finishing recipes prepared to increase the fastness values of automobiles steering wheel leathers, it was observed that only the rubbing cycle made with the alcohol mixture caused a statistically significant decrease (Table 4). It was also observed that the drop in the rubbing cycles made with other chemicals was not statistically significant (p> 0.05). In other words, only the rubbing cycle made with the alcohol mixture caused a decrease in the brightness of the surface of the steering wheel leathers.

As a result of the rubbing cycles made on the leather samples to which the F2 recipe had been applied, it was determined that the rubbing fastness tests made with a leather cleaner agent besides the alcohol mixture resulted in a decrease in the L* value of the F2 recipe applied leather and this decrease was found statistically significant ($p < 0.05$). That is, the rubbing cycles made with the alcohol mixture and the leather cleaner agent caused the surface brightness of the leathers to decrease while no statistically significant decrease or increase was determined on the surface of the leathers as a result of rubbing cycles made with pure water, seawater and glass cleaner agent (Table 4).

When Table 4 is examined, it is seen that the results of colour fastness determination tests against backward and forward rubbing cycles of automobile steering wheel leathers produced using F3 coded finishing recipe are much worse than the results of the steering wheel leathers on which F1 and F2 code finishing recipes were applied. While pure water, alcohol mixture, seawater and glass cleaner agent resulted in a decrease in the L* value of the colour parameters of the leathers on which F3 recipe was applied, leather cleaner agent resulted in an increase. In other words, after the rubbing process made with the leather cleaner agent, the surface brightness of the leathers on which F3 recipe was applied showed a statistically significant increase ($p < 0.05$).

Table 5. a* Values for the Results of Determination of Colour Fastness against To and Fo Rubbing Cycles

Finishing Recipe	Rubbing Fastness	n	Min.	Max.	Mean±S.D.
F1	Blank	15	-0,26	-0,10	-0,16±0,015 ^c
	Pure Water	15	-0,22	-0,09	-0,14±0,009^c
	Alcohol Mixture	15	-0,14	-0,05	-0,10±0,006 ^b
	Seawater	15	-0,12	-0,03	-0,07±0,007^a
	Glass Cleaner Agent	15	-0,15	-0,05	-0,10±0,007 ^b
	Leather Cleaner Agent	15	-0,20	0,06	-0,13±0,016^c
F2	Blank	15	0,11	0,16	0,14±0,004 ^a
	Pure Water	15	0,00	0,17	0,09±0,013^a
	Alcohol Mixture	15	0,07	0,21	0,15±0,009 ^a
	Seawater	15	0,12	2,35	0,34±0,149^a
	Glass Cleaner Agent	15	0,08	2,40	0,32±0,154 ^a
	Leather Cleaner Agent	15	-0,01	2,92	0,23±0,192^a
F3	Blank	15	0,06	0,11	0,08±0,005 ^a
	Pure Water	15	-0,11	0,12	0,07±0,015^a
	Alcohol Mixture	15	-0,03	0,26	0,07±0,017 ^a
	Seawater	15	0,06	0,13	0,10±0,006^a
	Glass Cleaner Agent	15	0,03	1,10	0,16±0,068 ^a
	Leather Cleaner Agent	15	-0,10	-0,02	-0,03±0,008^b

a, b, c Different letters in the same column are statistically significant, one for each finishing recipe ($p < 0.05$).

Table 6. b* Values for the Results of Determination of Colour Fastness against To and Fro Rubbing Cycles

Finishing Recipe	Rubbing Fastness	n	Min.	Max.	Mean±S.D.
F1	Blank	15	-0,86	-0,64	-0,79±0,021 ^a
	Pure Water	15	-1,01	-0,76	-0,89±0,017^{b,c}
	Alcohol Mixture	15	-1,09	-0,81	-0,97±0,020 ^c
	Seawater	15	-0,91	-0,75	-0,82±0,009^{a,b}
	Glass Cleaner Agent	15	-1,00	-0,79	-0,92±0,014 ^c
	Leather Cleaner Agent	15	-1,48	-0,72	-0,94±0,064^c
F2	Blank	15	-0,50	-0,44	-0,48±0,006 ^c
	Pure Water	15	-0,63	-0,37	-0,50±0,022^c
	Alcohol Mixture	15	-0,54	-0,32	-0,43±0,018 ^{b,c}
	Seawater	15	-0,43	-0,25	-0,36±0,011^a
	Glass Cleaner Agent	15	-0,58	-0,41	-0,48±0,011 ^c
	Leather Cleaner Agent	15	-0,65	0,09	-0,39±0,043^{a,b}
F3	Blank	15	-0,81	-0,67	-0,75±0,015 ^a
	Pure Water	15	-1,03	0,04	-0,75±0,072^a
	Alcohol Mixture	15	-1,80	-0,67	-1,19±0,099 ^c
	Seawater	15	-0,88	-0,71	-0,79±0,012^a
	Glass Cleaner Agent	15	-1,73	-0,71	-0,89±0,062 ^{a,b}
	Leather Cleaner Agent	15	-1,21	-0,74	-1,00±0,026^b

a, b, c Different letters in the same column are statistically significant, one for each finishing recipe (p<0.05).

During the colour fastness determination tests against backward and forward rubbing cycles performed on leather samples on which F1, F2 and F3 coded finishing recipes prepared to increase the fastness values of car steering wheel leathers were applied, it was understood that there was a significant decrease in the L* values of the leather products exposed to different chemical substances and the red values of the a* and b* colour parameters of these leathers did not change statistically and there was a significant decrease in the green values and there was a significant increase in the blue values i.e. the colour became darker (Table 5 and Table 6). In fact, by the subjective evaluations made, it has been determined that the colour of the leather was darkened.

CONCLUSIONS

Like all objects, there are some changes in the properties of leather material depending on the ambient conditions during daily use. Especially the car upholstery leather, steering wheel leather and gear knob leather from the upholstery leather group can be intensely exposed to environmental factors such as temperature, humidity and UV light that can change a lot during the day and chemical substances with solvent and abrasive effect such as cleaner agents, perfume, cologne, hand lotions and other cosmetic materials. Therefore, very high fastness values are expected from automotive upholstery leathers, especially from steering wheel leathers.

In order to be able to produce steering wheels in the fastness values desired by automotive manufacturers, L*, a* and b* colour parameters were measured before and after backward and forward rubbing cycles performed on leathers on which different finishing recipes were designed and produced. In the light of these parameters, it has been determined that the surface brightness of the leathers finished according to the F1, F2 and F3 finishing recipes decreased and the colour became darker.

In conclusion, from the finishing recipes applied in this study, the F1 finishing recipe gave the best results and it was determined that the colour change after rubbing fastness was much less than the F2 and F3 coded recipes. It has been determined that the F1 coded recipe suitable for the finishing process of steering wheel leathers and can be used in production.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank Ege University Scientific Research Project for the financial support (Project Number: 12 MUH 012) and the State Planning Organization (DPT) for the instrumental support (Project number 2007DPT001).

REFERENCES

- [1] Beck P J and Rowlands R J, *Journal of the American Leather Chemists Association* 1970, Physical properties and the degree of bilateral symmetry between matched sides of leather, **65 (5)**, 112-124.
- [2] Judd D B, *Science and Industry* 1959, Color Business, John Wiley&Sons, Inc., U.S.A., 401.
- [3] Karavana H A, Işık N O, Yalçın F, *Deri Bilim Dergisi* 2012, Otomotiv sektörünün döşemelik derilerden beklentileri, , Vol:6, No:1.
- [4] Randall D L, *The Journal of the American Leather Chemists Association* 1994, Color Measurement and Control in Leather, **89**, 309-319.
- [5] TS EN ISO 2418, *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)* 2006, Mamul Deriler - Kimyasal, Fiziksel, Mekanik Renk Haslığı Deneyi - Numune Alma Bölgesi, Ankara.
- [6] TS EN ISO 2419, *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)* 2012, Deri - Fiziksel ve Mekanik Deneyler - Numune Hazırlama ve Şartlandırma, Ankara.
- [7] TS EN ISO 11640, *Türk Standartları Enstitüsü (TSE)* 2013, Deri-Renk Haslığı Deneyleri-İleri Geri Sürtme Çevrimlerine Karşı Renk Haslığı, Ankara.

Corresponding author:

Hüseyin Ata KARAVANA

Ege University, Engineering Faculty, Leather Engineering Department

E-mail: huseyin.ata.karavana@ege.edu.tr

A new, alternative, subjective measurement-based antibacterial test method

Zeynep ÖMEROĞULLARI BAŞYİĞİT¹, Dilek KUT²

1Usak University, Textile Engineering Department, Usak, 1 Eylül Campus, Usak, Turkey

2Uludag University, Textile Engineering Department, Gorukle Campus, Bursa, Turkey

ABSTRACT

In this study, a new, subjective, low-cost, time-saving and a simple antibacterial test method has been improved, which allows the users to predict the antibacterial result before quantitative bacterial count process and helps eliminating the non-antibacterial samples. In order to determine the repeatability of this new test, textile samples including antibacterial treatments and untreated ones were tested and each test results were compared in both quantitative and subjective antibacterial test method. According to results, this new antibacterial method test results were validated and determined as compatible with each other. For the protection of this invention, patent application was made for Turkish Patent Institute (TPE), and an application number was registered in 2016.

INTRODUCTION

There are many test methods to test the antibacterial efficiency of the textile materials in the literature and test standardization publications. Generally, these tests are labor-intensive processes, inoculating suitable bacteria either gram positive or gram negative types under the necessary test conditions and determining the bacterial count after reproduction process on the textile material [1-10]. They are being carried out generally in microbiology laboratories and certain of time are needed to take the clear results of the test [1,2]. These kinds of test methods are not easy as some other performance tests and just getting the test apparatus or machines are not enough to get clear results, that's why grafting bacteria and bacteria count processes have been carried out by microbiology experts in order to follow out the bacterial process consciously under the safe test conditions. Therefore, textile manufacturers and the researchers studying on this area-antibacterial functionality, generally send the test samples in return of expensive fees and have to wait for a period of time to get the certain antibacterial test results.

So antibacterial test method fields need a new and reliable subjective-based antibacterial test method that is suitable for standardization and prevents the expensive costs for samples and above all, suggests or forecasts which of the samples have the antibacterial efficiency and/or eliminates the samples that have no antibacterial effect before sending the samples for counting bacteria processes in microbiology laboratories.

For all these reasons, a new, easy-use, an alternative, time-saving, subjective antibacterial method that helps eliminating among all the samples has been improved. It's also convenient for industrialization and can be used easily in R&D departments.

EXPERIMENTAL

The textile samples that have been requested to be tested are cut in a suitable size that match up with the bottom area of the jars and are put inside the transparent glass jars with the help of tweezers. After that, small amount of protein based solution that is enough for wetting the material on the bottom is put on the textile material and jar lid is closed tightly. All the jars are labelled on the top of lids and placed in the oven that has mild temperature inside. After all the jars are gotten out of oven, they are put on a table that all the testers can reach out easily. Each tester open the lids and smell each sample and give values starting from "no smell" to "strong smell" in both odour and intensity categories. After all the values are noted down, the evaluation of the values is carried out.

RESULTS and DISCUSSION

After testing the samples, selected sample group are sent to microbiology laboratories, to check the result for bacteria counting and to determine the reliability and repeatability of the subjective test methods. As a result, untreated samples and the samples that have no antibacterial procedure and the samples applied with antibacterial process have the got meaningful values on subjective antibacterial test method. While the sample got “no smell” has a result with %99,99 bacterial reduction, the sample valued with “strong smell”, has no antibacterial efficiency.

CONCLUSION

In this study, in order to eliminate the samples that has no antibacterial efficiency in the experimental sample group, a new, easy-use, low cost, alternative subjective based antibacterial test method has been improved. The untreated samples and the samples have antibacterial procedure are tested both in new developed test method as subjectively and are sent to microbiology laboratories to be tested in quantitative antibacterial test method. As a conclusion, it has been determined that subjective test method is compatible with bacteria counting test and it can be standardized and used both in industries and R&D departments. Therefore, for this invention, patent application was made for Turkish Patent Institute (TPE), and an application number was registered in 2016.

REFERENCES

- [1] Gao Yuan, Robin Cranston, *Textile Research Journal* 2008, **78**, 60-72.
- [2] Heliopoulos, N. S., Galeou, A., Papageorgiou, S. K., Favvas, E. P., Katsaros, F. K., Stamatakis, K., *Journal of Microbiological Methods* 2016, **121**, 1-4.
- [3] Jorgensen, J. H., & Turnidge, J. D., In *Manual of Clinical Microbiology*, Eleventh Edition, *American Society of Microbiology*. 2015, 1253-1273
- [4] Eloff, J. N., *Planta medica*, 1998, **64**, 711-713.
- [5] Turnidge, J. D., In *Manual of Clinical Microbiology*, Eleventh Edition, *American Society of Microbiology*, 2015, 1246-1252.
- [6] Valgas, C., Souza, S. M. D., Smânia, E. F., Smânia Jr, A., *Brazilian Journal of Microbiology*, 2007, **38**, 369-380.
- [7] Ncube, N. S., Afolayan, A. J., Okoh, A. I., *African journal of biotechnology*, 2008, **7**, 12.
- [8] Reller, L. B., Weinstein, M., Jorgensen, J. H., Ferraro, M. J., *Clinical infectious diseases*, 2009, **49**, 1749-1755.
- [9] Xue, C. H., Chen, J., Yin, W., Jia, S. T., Ma, J. Z., *Applied Surface Science*, 2012, **258**, 2468-2472.
- [10] Lee, H. J., Yeo, S. Y., Jeong, S. H., *Journal of Materials Science*, 2003, **38** , 2199-2204.

Corresponding author:

Dr. Zeynep ÖMEROĞULLARI BAŞYİĞİT

Usak University/Textile Engineering Department

E-mail:zeynepomeroglu@uludag.edu.tr

Tekstil Sektörü ve Sürdürülebilirlik

Pervin Anis¹ ve Tuba Toprak²

^{1,2}Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Görükle Kampüsü, Nilüfer, Bursa, Türkiye

E-mail adresi: pervin@uludag.edu.tr

ABSTRACT-ÖZET

This paper contributes to current definitions, knowledge and European Union's policies on cleaner production and sustainability in the textile industry. In addition, this paper highlights environmental effects of textiles and open up a discussion of opportunities for change that can be done in compliance with the law in textile processes. The public awareness of the and the growing perception of social cognizance about environment have forced the textile industry to produce environmentally friendly products. For this reason, nowadays many companies and organizations focus on the environmentally friendly way of production. In order to create a sustainable textile, the main change factors have been linked to eco-materials so less and harmless waste, reusing/recycling, lesser usage of energy and water and ethical issues in production.

GİRİŞ

Kalkınma mı Yoksa Çevre mi?

Son yıllarda küresel ekonominin olağanüstü büyümesi beraberinde tüketimde de patlamaya sebep olmuştur. Küresel tüketim harcamaları her geçen gün artmaktadır. Tüketimdeki bu büyümenin bir kısmı insanların yaşamını devam ettirmesi için gerekli iken (yiyecek, barınma, temiz su vb.) kalan kısmı zaruri değildir. Zenginlik gibi, tüketim de adil olmayan bir şekilde dağılım göstermektedir. Dünya nüfusunun en zengin beşte birlik kesimi, toplam özel tüketim harcamalarının % 86'sına, buna karşılık en yoksul yüzde beşlik pay ise % 1,3'üne sahiptir. Kuzey Amerika'daki bir kişinin Hindistan veya Çin'deki bir kişiden ortalama 20 kat, Bangladeş'teki bir kişiden 60-70 kat daha fazla tüketim yaptığı tahmin edilmektedir. Günümüzde, bir milyardan fazla insanın temel ihtiyaçlarını karşılamak için tüketimlerini, endüstriyel olarak gelişmiş ülkelerdeki 100 milyon insanın tüketimine karşılık gelecek şekilde arttırması gerekmektedir [23].

Artan tüketim taleplerini karşılamak için kullanılan gelişmiş üretim teknolojileri üretim faaliyetlerini çevre üzerinde önemli bir etken haline getirmiştir. Gelişen teknoloji çevre, hava ve su kirliliği, ozon tabakası incelmeye, yeşil alanların azalması gibi olumsuzlukları beraberinde getirmiştir. Buna karşılık, özellikle gelişmiş ülkelerde bu sorunlara karşı duyarlı bir kamuoyu oluşmaya başlamıştır. Hem sanayileşmeyi sürdürmek hem de çevreyi koruyabilmek için yeni tedbirler düşünülmeğe başlanmıştır. Yapılan araştırmalar kirlilikten sonra temizlemenin, kirlilikten önce alınacak tedbirlere göre daha maliyetli olduğunu ve ayrıca bozulan ekolojik dengenin tekrar eski haline getirilmesinin mümkün olmadığını göstermiştir. Bu da "kalkınma mı yoksa çevre mi daha önemlidir?" tartışmasının yerini, "çevre değerlerini koruyarak nasıl sanayileşebiliriz?" tartışmasına bırakmasına sebep olmuştur [3].

1960'lı yıllarda yerel hareketlerle çevre sorunlarına karşı başlayan tepkiler 1970'li yıllarda yerini çevre örgütlerine ve partilerine bırakarak daha somut bir hal almıştır. 1987 yılında ISO tarafından yayınlanan Kalite Standartları Sistemi (ISO 9000), sanayicileri konunun çevre yönünü düşünmeye zorlamış; hammaddeyi minimum düzeyde kullanma, süreçlerde enerji kullanımının azaltılması veya temiz enerji kaynaklarının aranması, zararlı olmayan paketleme malzemelerinin kullanılması ve kolay olarak yok edilmesi gibi sorunlara cevap aranmıştır. Dolayısıyla çevresel sorunlara çözüm olarak *temiz üretim* ve *sürdürülebilirlik* sunulmuştur. Bu durumların gelecekte yaratacağı olası daha büyük felaketleri önlemek adına Türkiye de dâhil olmak üzere pek çok devlette kullanılmakta olan "temiz üretim" kavramı son 7 yıl içinde "sürdürülebilir üretim" kavramına evrilmiştir. Sürdürülebilir üretim, pek çok kuruluş tarafından kullanılan temiz üretim kavramı ile birlikte yaygınlaşmaya başlamıştır [15].

Son yıllarda büyük ilgi gören temiz üretim kavramının tanımı UNEP tarafından 1989 yılında Paris'te "Bütünsel önleyici bir çevre stratejisinin ürün ve süreçlere sürekli olarak uygulanması ile insan sağlığı

ve çevre üzerindeki risklerin azalması” olarak tanımlanmıştır. O zamandan beri tanımın içeriği genişletilmiş ve sürdürülebilir gelişme yönelimi tanıma ilave edilmiştir. Örneğin 2004 yılında “.. daha iyi yönetim stratejileri, yöntemleri ve araçları kullanılarak” ifadesiyle tanıma ekonomik boyutun doğrudan katılımı sağlanmıştır [25]. Temiz üretim prosesler için; hammadde ve enerjiyi koruma, toksik hammaddeleri ortadan kaldırma ve tüm emisyon ve atıkların miktar ve toksisitesini azaltma, ürünler için; hammaddenin çıkarılmasından nihai bertarafına kadar bir ürünün yaşam döngüsü boyunca olumsuz etkilerini önleme/ azaltma, hizmetler için ise; tasarım ve dağıtım servislerinde çevresel kaygının dahil edilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Özet olarak temiz üretim; süreçlere, ürünlere ve hizmetlere entegre çevre koruma stratejisinin sürekli uygulanmasıdır [66].

Çevresel değerleri korumak adına günümüze kadar yoğun olarak kullanılan ilk yaklaşım kirliliklerin oluşuktan sonra arıtılarak bertarafıdır. “Boru-sonu yaklaşımı” olarak da ifade edilen “kirlilik kontrolü” üretim ve tasarım aşamalarını değişmez olarak benimseyip kirliliği de bunların kaçınılmaz sonucu olarak görmekte, dolayısıyla kirliliği daha iyi tanımlama ve bertaraf etme yollarına odaklanmaktadır. Ancak bu durum kuruluşlara önemli miktarda ek yatırım maliyeti çıkarmakta ve yüksek yatırım gereksinimi kişi ve kurumlarda çekinceyle karşılanmaktadır. Süreç içinde ortaya çıkan atık miktarlarının, arıtım maliyetlerinin, alıcı ortam deşarj standartlarının ve kamuoyundaki çevre bilincinin sürekli artması, ürün ve hizmet üreten sektörleri daha ucuz çözüm yolları bulmaya itmiş, basit önlemlerle üretim sonucunda faydalı ürün oluşturmayan ve atık haline gelen hammaddelerin daha etkin kullanımı ile bu kayıpların azalmasıyla birlikte atık üretiminin de azaltılabileceği görülmüştür. Bunu sektörlerde verimliliğin artırılması, hammaddelerin çevreye daha az zararlı olanlarla değiştirilmesi, üretim ve kullanım sürecinde su ve enerji ihtiyaçlarının azaltılması gibi yaklaşımlar takip etmiştir. Bunlar atık azaltılması, geri dönüşüm, yeniden kullanım, çevreye duyarlı ürün ve hizmet tasarımı vb. konularda yapılan çalışmalara ivme katarak “boru-sonu yaklaşımı”nın yerini “temiz üretim” yaklaşımının almasını sağlamıştır [60].

Temiz üretim kapsamındaki uygulamalar kaynağında atık azaltımı ve kaynak tüketiminin azaltılması, yeniden kullanım ve/veya geri dönüşüm, ürün modifikasyonları olarak üç ana başlık altında sınıflandırılabilir [62].

Atıkların Kaynağında Azaltılmasına Yönelik Uygulamalar:

1- Yönetmelik önlemler: Temiz üretimin en basit yöntemlerinden biri olup, herhangi bir yatırım maliyeti getirmemektedir. Örnek olarak su vanalarının kapalı tutulması, kimyasal madde dozajının optimizasyonu, ekipmanların boşa çalıştırılmaması, çalışanların yönetimlerine ve eğitimlerine odaklanmak verilebilir.

2-Daha iyi proses kontrolü: Prosesin kaynak tüketimi, üretimi ve atık oluşumu bakımından optimum düzeyde uygun olup olmamasının kontrol edilmesi, gerekli ise uygun şekilde düzenlenmesi bu başlığın içeriğidir. Yönetmelik önlemlere göre daha gelişmiş bir izleme ve yönetim gerektirmektedir.

3- Malzeme değişimi: Üretimin verimini maliyetten ve kaliteden ödün vermeden daha yüksek kalitede bir malzemenin kullanılması ile artırılması anlamına gelmektedir. Malzeme değişiminde var olan malzemelerin daha iyi çevresel özelliklere sahip olanlarla değişimi de mevcuttur.

4-Ekipman modifikasyonu: Mevcut ekipmanın daha az atık oluşturması ve daha verimli üretim prosesleri sağlaması yönünde geliştirilmesi bu kapsamdadır.

5-Proses değişikliği: Bu yöntem modern ve daha verimli teknik ve teknolojilerin kullanılmasını kapsadığından diğer yöntemlere göre daha yüksek bir ilk yatırım maliyeti gerektirmektedir. Bu tip uygulamalar ürün ve üretim kalitesinde de iyileşme sağlamaktadır [1, 6, 62].

Yeniden Kullanım/Geri Dönüşüm:

Bu yaklaşım ile oluşumu önlenemeyen atıklar firma içinde geri dönüştürülebilir veya yan ürün olarak satılabilir [1,6].

Ürün Modifikasyonu:

Ürünün modifiye edilmesi, ürünün ve gereksinimlerinin yeniden gözden geçirilmesini gerektirmektedir. Ürünlerin hafifletilmesi, et kalınlıklarının azaltılması, ürünün daha kolay geri dönüştürülebilir malzemeden yapılabilmesini sağlayan tasarımlar vb. bu yaklaşımın örnekleridir [62].

Temiz Üretim için Araç ve Yöntemler

Temiz üretim fırsatlarının uygulama alanlarına göre kullanılmasını tespit etmek için ortaya konulmuş olan araçlardan hangisinin seçileceği, işletmedeki soruna ve yapılmak istenen çalışmaya göre değişmektedir. Çalışmanın ve sorunun niteliğine göre araçlardan biri veya daha fazlası kullanılabilir [44].

Çevresel etki değerlendirme: Gerçekleştirilmesi planlanan projelerin çevreye olabilecek olumlu ve olumsuz etkilerinin belirlenmesinde, olumsuz yöndeki etkilerinin önlenmesi/azaltılması için alınacak önlemlerin değerlendirilmesini ve projelerin uygulanmasının izlenmesini ve kontrolünde sürdürülecek çalışmaları kapsar [67].

Yaşam döngüsü analizi: Ürünlerin ve hizmetlerin üretiminden kullanımına ve bertarafına kadar olan süreçte oluşan çevresel etkileri analiz ederek bu etkileri önleme veya azaltma amacıyla kullanılır. Bununla ürünün bütün yaşam döngüsü boyunca kullanılan kaynaklar ile hava, su ve toprağa emisyonlarının çevresel etkileri ve iyileştirme fırsatları sistematik olarak analiz edilebilmektedir [6].

Çevre yönetim sistemi: Birbirleriyle bağlantılı, çevresel etki yaratan ya da etki potansiyeline sahip aktivitelerin yönetimini amaçlar. Aşamaları; çevre politikası, planlama, uygulama ve işletme, kontrol ve düzeltme işlemi, yönetim teftişidir [74].

Çevre teknolojisi değerlendirme: Çeşitli tesis ve projelerin çevresel etki değerlendirmeleri, çeşitli teknolojilerin kullanılması sonucu oluşan deşarjların ve bu teknolojilerin insan sağlığı ve çevresel değerler üzerindeki risklerinin niteliksel ve niceliksel yöntemler kullanılarak belirlenmesini içerir. Özet olarak belirli teknolojinin insan sağlığı ile doğal sistemler ve kaynaklar üzerindeki etkilerini inceler [44].

Kimyasal değerlendirme: Üretim aşamalarında kullanılan kimyasal maddelerin toksik etkilerinin ve miktarlarının analiz edilmesini içerir [73].

Atık denetleme: Proseslerin girdi/çıkıtı envanterleri, oluşan atıkların kaynak, nitelik ve nicelikleri, mevcut prosesin verimliliği ve zayıf noktaları, temiz üretim için atıkları minimize etme hedefleri belirlenir. Böylece kayıpların azaltılarak/önlenerek proses verimliliğinin artırılması sağlanır [6].

Çevresel Denetleme: Amacı üretim süreci/hizmetlerden kaynaklanan atıkların miktarı ve karakterini belirleyip kirliliğin azaltılması için nelerin yapılması gerektiğine ilişkin kararların alınmasını sağlamaktır [44].

Eko-etiket/Çevresel etiketleme: Tüketicilere çevreye daha az zarar veren ürün ve hizmetleri seçmeleri konusunda yol gösterir. Gönüllü bir uygulama olup ülke ve sektöre özel olabilmektedir [68].

Endüstriyel simbiyoz: Endüstriyel simbiyoz tercihen birbirine fiziksel olarak yakın olan ancak normalde birbirlerinden bağımsız çalışan iki veya daha çok ekonomik işleyişin çevresel performanslarını ve rekabet güçlerini artıracak uzun süreli ortaklık kurarak birlikte çalışmasını ifade eder [60]. Kısaca bağımsız işletmeleri, daha sürdürülebilir ve yenilikçi bir kaynak kullanım yaklaşımı çerçevesinde bir araya getirmektedir [6].

Su ayak izi: Bir ürünü üretmek için kullanılan toplam su miktarıdır. Öte yandan kimi araştırmacılar “tüketilen su miktarının çevresel etkisi” olarak tanımlamaktadırlar [29].

Karbon ayak izi: İklim değişikliği ile gündeme gelen karbon ayak izi bir kurum, kişi, etkinlik ya da ürün tarafından salınan karbondioksit ve diğer sera gazlarının toplam miktarı olarak tanımlanır [63].

Risk değerlendirme: Belli bir etkinliğin insan sağlığı ve çevre üzerinde oluşturduğu riskler tanımlanarak bunlara ilişkin alınması gereken tedbirler belirlenir [6].

Temiz üretimin teşvik edilmesi amacıyla uygulanan politika araçları yasal mevzuatlar, gönüllü standartlar, ekonomik araçlar (vergi ve cezalar, devlet yardımı, finansal mekanizmalar vb.), bilgilendirme ve teknik yardım olarak sayılabilir.

Sürdürülebilirlik

Sürdürülebilirliğin en ünlü ve geçerli tanımı 1987 yılında Brundtland Komisyonu tarafından “gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yetenekleri ile uygunsuzluk oluşturmaksızın, bugünün ihtiyaçlarının karşılanması” olarak tanımlanmıştır [5]. Sürdürülebilir kalkınma, kaynakları tüketen, yenilenemez enerji kaynaklarını kullanan veya değerli doğal sermayeyi yok eden bir ekonomiye izin vermez [22]. Bu kapsamda sürdürülebilir kalkınma, insan ve çevre arasında denge kurarak, bugünün ve geleceğin yaşamını, kalkınmasını gelecek nesillerin ihtiyaçlarının karşılanmasına ve kalkınmasına olanak verecek şekilde programlamak olarak tanımlanabilir [18]. Sürdürülebilir kalkınmanın hedefi olan sürdürülebilirlik günümüzde birçok anlam taşımaktadır. Frankel (1998) ve Elkington (1997)’a göre sürdürülebilirlik ekonomi, çevre ve sosyal eşitlik arasındaki denge iken, Gilding (2000)’e göre sürdürülebilirlik bu üç elemente bağlı olarak düşünüldüğünde kompleksliğini kaybetmektedir. Suzuki ve Dressel (2002) sürdürülebilirliği bireysel düzeyde sürdürülebilir bir geleceğin gelişimiyle çelişen tüm insan davranışlarının yeniden şekillendirme vizyonuyla değerlendirilmesi olarak tanımlamıştır.

Sürdürülebilirliğin temel bileşenleri insan hayatına sürekli destek, biyolojik kaynak stokunun ve tarımsal sistemlerin üretkenliğinin uzun vadeli korunması, stabil insan popülasyonları, sınırlı büyüme ekonomileri, kendine güven üzerine vurgu, çevre ve ekosistemde devam eden kalitedir [4].

Tekstil Sektörü ve Çevresel Etkileri

Tekstil ve hazır giyim sektörü, gelişmekte olan ülkelerin ekonomik kalkınmasında önemli rol oynar. Bu sektörler sanayileşme sürecinin ilk başladığı sektörlerdendir. Tekstil ve hazır giyim sektörü ülkemiz ekonomisinin de lider sektörlerinden birisi olup, yaklaşık 2 milyon çalışanıyla, Türkiye’nin en büyük istihdam grubunu temsil etmektedir [27].

Sanayileşmenin hız kazanması, Dünya’nın her geçen gün artan nüfusu ve buna paralel olarak temiz su kaynaklarının azalması, enerji maliyetlerinin ve çevre problemlerinin hızla artması, çevreyle ilgili yasaların ağır yaptırımlara sahip olması çok miktarda temiz su, enerji tüketen ve atık su yükü oluşturan sektörlerin başında gelen tekstilde de diğer sektörlerde olduğu gibi çevreci proseslerin, kimyasalların geliştirilmesini ve kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Kaynak tüketimi ile birlikte atık üretimi de hızlı artış göstermektedir. Çevre zararlarının azaltılması ve ekolojik koruma için kaynak tüketiminin azaltılması anlamında geri kazanımın adaptasyonu, çevre dostu lifler veya diğer materyallerin kullanımı, oluşan kirlilik miktarının azaltılması ve kirlilik oluştuktan sonra, uzaklaştırmak için metotların geliştirilmesi işlemleri gün geçtikçe önem kazanmıştır [56].

Tekstil malzemelerinin hammaddeden, kullanım ve kullanım sonrasındaki aşamalarına kadar olan çevresel etkileri incelendiğinde ortaya çıkan tablo çok dikkat çekicidir. Tekstil endüstrisinin başlıca çevresel etkileri, bu sektörde kullanılan yüksek miktarda su ve zararlı kimyasal madde tüketimi ile ortaya çıkan kimyasal yükleri yüksek miktarlarda olan suyun alıcı ortamlara deşarj edilmesi ve buna bağlı su kirlilikleri [11, 39, 43], üretim süreçlerindeki yüksek enerji tüketimi ve bununla ilişkili hava emisyonları [11, 42, 48], ambalajlama konularındaki problemler ile katı atık üretimi, ön terbiye, boyama ve baskı işlemlerinden oluşan ve atık su arıtma tesisinden kaynaklı olarak ortaya çıkabilen rahatsız edici kokuların oluşumu, özellikle örme ve dokumanın yapıldığı yerlerde ortaya çıkan ve burada çalışan kişilerde %80 civarında işitme kayıplarına sebep olan gürültü kirliliğidir [56].

Özet olarak tekstil sektörünün sürdürülebilirliğini; toksik kimyasalların kullanımı, aşırı su ve enerji tüketimi, atık üretimi, hava emisyonları, taşıma, ambalaj malzemeleri olumsuz olarak etkileyebilir [52].

1. Kimyasal madde kullanımı

Tekstil endüstrisi, kirlilik bakımından dünyanın en büyük suçlularından biri olarak görülmektedir; çünkü yüksek miktarda kimyasal madde ve su kullanımı gerektirir [36]. Tekstil endüstrisinde yaklaşık 2000 farklı kimyasal madde kullanılmaktadır [14]. Dünyada toplamda üretilen kimyasal maddelerin

yaklaşık% 25'i tekstilde kullanılmaktadır [50]. Bu kimyasallardan bazıları buharlaşıp soluduğumuz havaya karışmakta, bazıları çevreye boşaltılan atık suda çözünmekte ve bazıları ise kumaş üzerinde kalmaktadır. Kumaş üretiminde kullanılan ve insan sağlığını tehdit eden kimyasalların bir listesi National Institutes of Health (NIH) tarafından yayınlanmıştır [11]. Business Week'te yayınlanan bir makaleye göre de kimyasallara karşı alerjisi olan nüfusun 2020 yılına kadar %60'a yükseleceği iddia edilmektedir [43].

Tablo 1. Sık kullanılan toksik tekstil kimyasal maddeleri ve uygulama alanları [11]

Name of toxic chemical	Used as/in
Tri-butyl tin oxide (TBTO)	Biocide on hosiery and fabrics
Non-ionic surfactants	Detergents in textile preparation and dyeing
Cationic surfactants	Textile dyeing and finishing
Sodium chloride	Dyeing of cotton textiles
Sodium sulfate	Dyeing of cotton textiles
Copper	Dyeing of cotton and polyamide; in its elemental, non-complexed form, it is toxic
Cyanide	Anti-caking agent in salt

Çevreye bırakıldığında endişe yaratan kimyasalların özellikleri; kolay bozunmamaları, doğada birikmeleri ve zehirli olmalarıdır. Bu özelliklere sahip kimyasallar PBTs olarak tanımlanırken, organik olanlarına bazen kalıcı organik kirleticiler (POP's) de denir [11].

Tekstil endüstrisinde kullanılan bütün kimyasalların çevreci olup olmadıklarının kabul edilebilirliğini belirlemek zordur. Bu zorluklarının sebeplerinden biri boyama ve baskı işlemlerinde kullanılan boyarmaddelerin sayısının çokluğundan kaynaklanmaktadır [11]. *The Colour Index International*, 13000 *Color Index Generic Names* altında 27 000 ürün listelemektedir [71]. 1985-1995 yılları arasında Kuzey Carolina'da kimyasallar üzerinde yapılan çeşitli toksisite değerlendirmelerinde, toksik olarak tanımlanan kimyasalların çoğunun yaş terbiye işlemlerinde ortaya çıktığı bulunmuştur [47].

Pamuklu tekstiller için biyosit olarak yaygın kullanılan toksik bir bileşik olan tribütilkalay oksit (TBTO) gibi spesifik olarak tanımlanabilir bileşikler atık sudan uzaklaştırılabilir ancak daha az toksik olan alternatiflerinin kullanılması sürdürülebilirlik kapsamında yapılmalıdır. Daha az spesifik olan bileşikler izlemek ve ortadan kaldırmak çok daha zordur [11].

Non-iyonik yüzey aktif maddelerin bozunması yavaş olduğundan özel çevresel bir problem gösterirler, akut ve kronik toksisiteye neden olurlar. Bunların biyolojik bozunabilirlik derecelerini anlamak, atık arıtımında önemli bir faktördür. Yavaş bozunan maddeler için iki alternatif vardır; daha uzun süre atık arıtım işlemi ve daha hızlı ayrıştırılabilir olanlarla ikame edilmesidir. Tekstil işlemlerinde 500'den fazla farklı non-iyonik sürfaktantın bulunduğu ve bu bileşiklerle ilgili çevresel verilerin yetersiz olduğu tahmin edilmektedir [11]. NPs ve nonilfenol etoksilatların kullanımı AB'de insan sağlığına ve çevre güvenliğine karşı tehlikeli olduğu için kısıtlanmıştır [19].

Pamuğun direkt ve reaktif boyarmaddeler ile boyanmasında çektirme ajanı olarak kullanılan sodyum klorür ve sodyum sülfat da çevre için özel bir problem oluşturmaktadır. Bu tuzları tekstil atık sularından uzaklaştırmak için hala kesin bir yol bulunamamıştır ve hatta şimdiye kadar sorunu gidermenin tek yolu olarak atık su seyrekleştirilmektedir. Bununla birlikte, problem tuz ihtiyacı daha düşük olan reaktif boyalar veya emdirme yöntemi kullanılarak çözülmeye çalışılmaktadır. Bakır birçok mavi ve siyah renk boyalarda serbest halde bulunduğu için toksik ajan olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle bunların görüntülenmesi ve bakır içermeyen boyaların geliştirilmesi desteklenmektedir [11].

Bazı belirli toksik bileşiklerin elimine edilmesinden sonra bile, tekstil yardımcı kimyasalları adı altında geniş bir kimyasal madde grubu kalmaktadır. Bu "marka ürünler", yüzey aktif madde karışımlarından, yumuşatıcılardan, çözücülerden, kompleks oluşturucular ve su bazlı polimerlerden oluşmaktadır. Bu ürünlerin çoğu, tekstil ürününün terbiye, renklendirme ve bitim işlemlerinde belirli bir görevi yerine getirmek üzere tasarlanmış karışımlardır. Bu ürünlerde kullanılan çok çeşitli ve farklı kimyasal madde konsantrasyonları, bu karışımların bileşenlerinin tam olarak belirlenmesinde önemli

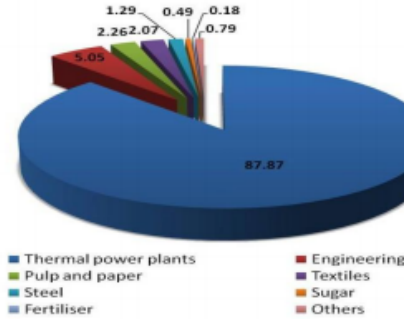
güçlükler yaratmakta, ayrıca üreticilerin de içerikleri ticari bir sır olarak tutması nedeniyle ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır [11].

Tablo 2. Tekstil sularının başlıca kirleticileri [8]

Type of finished textile product	Dyes, g/kg textile product	Auxiliaries, g/kg textile product	Basic chemical compounds, g/kg textile product
Polyester fibres	18	129	126
Fabrics from synthetic fibres	52	113	280
Fabrics from cotton	18	100	570
Dyed fabrics from cellulose fibres	11	183	200
Printed fabrics from cellulose fibres	88	180	807

2.Su tüketimi ve kirlenmesi

Temiz suya ulaşım her geçen gün sınırlı hale gelmektedir. Su kimyasalların malzemeye taşınması ve malzemenin bir sonraki basamağa geçmeden önce yıkanması için yaş terbiye işlemlerinin her adımında kullanılan en temel maddedir [51].



Şekil 1. Çeşitli sektörler için su tüketimi [31]

Günde yaklaşık 8000 kg kumaş üreten ortalama bir tekstil fabrikasının günlük su tüketimi ortalama 1,6 milyon litredir. Bunun% 16'sı boyamada,% 8'i de baskıda tüketilmektedir. Boyamada kullanılan su boya türüne bağlı olarak kg kumaş başına 30 - 50 litre arasında değişmekte, iplik boyamada ise kg iplik başına ortalama 60 litre su kullanılmaktadır. Boyama işleminden kullanılan su toplamda harcanan miktarın % 15 - 20'sini oluşturur. Gerekli haslıklar ve makine temizlikleri için de su gereklidir [33]. Kumaşların terbiye işlemlerinde kullanılan suların ısıtılması ve buhar haline getirilmesi için harcanan enerji de yüksektir [20].

Tek bir pamuklu gömlek üretimi için yaklaşık 2,500-3,000 litre su tüketilir. Bu suyun büyük kısmı, pamuk yetiştirilmesi sırasında harcanırken, yaş terbiye işlemleri için harcanan miktar ikinci sırada gelmektedir. Su sıkıntısı ve atık su sorunlarının ilk sonuçları, tekstil terbiye işletmelerinde hissedilmeye başlanmıştır. Örneğin Çin ve Hindistan'da yeni şirketler su tüketimi ve atık su sorunlarını çözmeye yardımcı olacağını ikna eden bir vaka sunamadıklarında hibe desteği alamamaktadırlar [54].

Temiz su kimyasal katkı maddeleri ile yüklendiğinde, atık su olarak adlandırılır ve arıtılmadan çevreye atıldığında atığın içerdiği birçok kimyasal madde ve doğal sudan farklı olan sıcaklık, pH değerleri çevrenin ve suların kirlenmesine sebep olur. Tekstil endüstrisi dünyadaki en kimyasal yoğun sanayilerden biri olduğundan tarımdan sonra temiz suyun bir numaralı kirleticisi olarak bilinmektedir. Hâlihazırda yarım milyar insan kuraklığa eğilimli bölgelerde yaşamakta ve 2025 yılına kadar da bu sayının beşe katlanarak dünya nüfusunun üçte biri ile yarısı arasında olması öngörülmektedir [43].

1 ton kumaş için terbiye işlemlerinde yaklaşık 200 ton su kirlendiği düşünüldüğünde, atık suyun tekrar kullanılması, su, enerji ve kimyasal tüketiminin azaltılması gibi tasarruflar çok önemlidir. Yoğuşan buhar ve soğutma suyu temiz olduklarından kolaylıkla geri kazanılabilir ve termal enerjilerinin geri kazanılması yatırımın geri ödeme hızını artırır [11].

Tablo 3. Farklı tekstil proseslerindeki su tüketimi ve organik yük [8]

Operation/Process	Water consumption (% from total consumption of the textile plant)			Organic load (% from total organic load of the textile plant)		
	Minimum	Medium	Maximum	Minimum	Medium	Maximum
General facilities	6	14	33	0.1	2	8
Preparation	16	36	54	45	61	77
Dyeing	4	29	53	4	23	47
Printing	42	55	38	42	59	75
Wetting	0.3	0.4	0.6	0	0.1	0.1
Fabrics washing	3	28	52	1	13	25
Finishing	0.3	2	4	0.1	3	7

Dünya Bankası, endüstriyel su kirliliğinin % 17- 20'sinin boyama ve bitim işlemlerinden geldiğini tahmin etmektedir [35]. Sadece boyama atık suyunda yaklaşık 72 toksik kimyasal madde tespit edilmiş olup bunların 30'u temizlenememektedir [33].

Tablo 4. Tekstil çeşitli aşamalarında su kirliliğinin kaynakları [37]

Process	Possible Pollutants	Nature of Effluent
Desizing	Starch, glucose, PVA, resins, fats and waxes do not exert a high BOD.	Very small volume, high BOD (30-50% of total), PVA.
Kiering	Caustic soda, waxes, soda ash, sodium silicate and fragments of cloth.	Very small, strongly alkaline, dark color, high BOD values (30% of total)
Bleaching	Hypochlorite, chlorine, caustic soda, hydrogen peroxide, acids.	Small volume, strongly alkaline, low BOD (5% of total)
Mercerizing	Caustic soda	Small volume, strongly alkaline, low BOD (Less than 1% of total)
Dyeing	Dye stuff, mordant and reducing agents like sulphides, acetic acids and soap	Large volume, strongly colored, fairly high BOD (6% of total)
Printing	Dye, starch, gum oil, china clay, mordants, acids and metallic salts	Very small volume, oily appearances, fairly high BOD.
Finishing	Traces of starch, tallow, salts, special finishes, etc.	Very small volume, less alkaline, low BOD.

Tekstil üretiminden elde edilen işlenmemiş atık su, kullanılan kimyasallara ve uygulanan süreçlere bağlı olarak büyük ölçüde değişebilen BOİ ve KOİ değerlerine, toplam askıda katı madde, yağ ve gres, sülfidler, sülfatlar, fosfatlar, krom, bakır ve diğer ağır metallerin tuzlarını içerebilir. Bunlardan en önemlileri KOİ, BOİ, pH, yağlar, nitrojen, fosfor, sülfatlar ve askıda katı madde (SS) olarak düşünülmektedir [58, 59]. BOİ ve KOİ değerleri yüksek ön terbiye işlemleri kirlilik önleme ve azaltma tedbirlerinde önemli yer tutmaktadır [34]. Sülfatlar ve fosfatlar çok yüksek konsantrasyonlarda toksiktir. Sülfatların neden olduğu problemler, genellikle pH'ı değiştiren güçlü asitler oluşturabilme yeteneği ile ilişkili iken, fosfat yüzey sularında ötrofikasyona neden olur [11].

Tablo 5. Pamuklu kumaşın terbiye işlemlerine ait atık suyunun temel özellikleri [12]

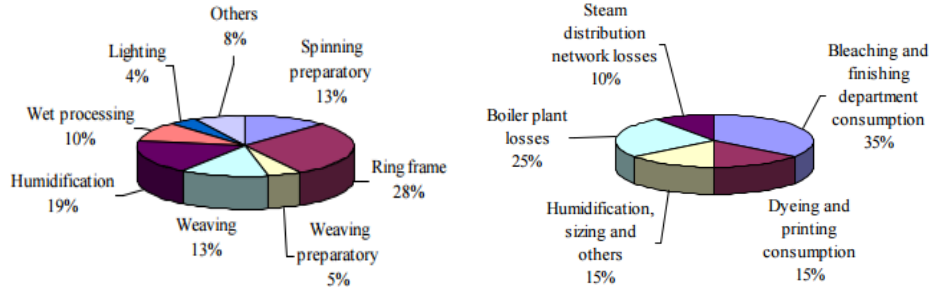
Process	COD, g O ₂ /L	BOD, g O ₂ /L	TS, g/L	TDS, g/L	pH	Colour (ADMI)	Water usage, L/kg product
Desizing	4.6-5.9	1.7-5.2	16.0-32.0	-	-	-	3-9
Scouring	8.0	0.1-2.9	7.6-17.4	-	10-13	694	26-43
Bleaching	6.7-13.5	0.1-1.7	2.3-14.4	4.8-19.5	8.5-9.6	153	3-124
Mercerising	1.6	0.05-0.1	0.6-1.9	4.3-4.6	5.5-9.5	-	232-308
Dyeing	1.1-4.6	0.01-1.8	0.5-14.1	0.05	5-10	1450-4750	8-300

3. Enerji tüketimi

Tekstil ve konfeksiyon sanayinde gerek makinelerin çalıştırılması ve üretim, gerekse üretimin gerçekleştirileceği ortamın iklimlendirilmesi ve aydınlatılması için çeşitli enerji türlerine gerek duyulmaktadır. Dokumada ve terbiyede yaygın olarak ısı, konfeksiyonda buhardan ya da elektrik enerjisinden faydalanılır [13]. Elektrik tekstil endüstrisinde; soğutma, sıcaklık kontrolü, aydınlatma, makine ve ofis ekipmanları için kullanılan ana enerjidir. Akaryakıt, LPG, kömür ve doğal gaz ise yaygın olarak buhar üretmek için kullanılır [50].

Tekstil, düşük verimlilik ile üretim yapan ve dolayısıyla yüksek miktarda enerji tüketen bir sektördür. 2008 yılında yıllık tekstil üretiminin 60 milyar kg kumaş olduğu, enerji ve su ihtiyacının 1,074 milyar kWh elektrik (veya 132 milyon ton kömür) ve 6-9 trilyon litre su olduğu tahmin edilmektedir [54]. Kumaşın metre başına ihtiyaç duyduğu toplam termal enerjinin (hem üretim hem de tüketici kullanımı dâhil) 18,8-23 MJ ve elektrik enerjisinin 0.45-0.55 kWh olduğu rapor edilmiştir [48].

Isı enerjisi, terbiye işlemlerinde egemen olup, ağırlıklı olarak kullanılacak olan suyu ısıtmak ve tekstil malzemelerini kurutmak için kullanılırken, iplikçilikte ve dokumada elektrik enerjisi kullanımı yaygındır [49]. Elektrik enerjisi tüketici kullanımı sırasındaki yıkama süreçlerinde(% 75-80) üretim sürecine göre daha fazla tüketilir [52].



Şekil 2. Entegre tekstil işletmelerinde elektrik ve ısı enerjisi giderlerinin dağılımı [49]

Enerji, tekstil endüstrisinde ana maliyet unsurlarından biridir. Özellikle enerji fiyatlarındaki artış ve değişkenlik tekstil fabrikaları için enerji verimliliğinin artırılmasını gerektirmektedir.

Tekstil endüstrisinin bir ülkede tükettiği toplam enerji, o ülkedeki imalat sektörünün yapısına bağlıdır [11]. Örneğin, Çin'deki tekstil endüstrisi nihai enerji kullanımının yaklaşık % 4'ünü oluştururken [38], bu pay ABD'de % 2'den azdır [61].

Tekstil endüstrisinde kullanılan yüksek miktardaki enerji yenilenemez kaynaklardan elde edildiğinden sürdürülebilirlik açısından büyük dezavantaj oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerjinin kullanılabilmesi için olanaklar; rüzgâr enerjili turbo vantilatörlerin üretim tesisi çatılarına yerleştirilmesi, lif üretimindeki kurutmada ve sıcak su kullanılması gereken terbiye işlemlerinde güneş enerjisi kullanımı olarak sayılabilir [11].

4. Atık üretimi

Diğer endüstrilerde olduğu gibi tekstil de sıvı, katı ve gaz formunda endüstriyel atıkların tüm kategorilerini üretir. Tekstilden elde edilen katı atıklar; küller ve çamur, karton kutular, balya sarma filmi veya geri dönüştürülemez kirlenmiş kumaş, kimyasal hammadde içeren plastik poşetler, tekrar kullanılabilir olmayan kağıt koni ve tüpler, atık kumaşlar ve ipliklerdir [11]. Atık kumaşların en büyük sebeplerinden biri olan hızlı moda ve tek kullanımlık giyim, bir Amerikalının yılda ortalama 31 kg giyecek ve tekstil malzemesi atmasıyla sonuçlanmaktadır [7]. İngiltere'de de durum benzerdir [2].

Çöp biriktirilen alanlara gönderilen katı tekstil atıkları % 100 geri dönüştürülebilir olmasına rağmen [53] tekstil geri dönüşüm oranları ABD gibi gelişmiş ülkelerde bile % 15 civarındadır [75]. Bu atıkların yaklaşık yüzde 80' inin sentetik, geri kalanlarının da doğal elyaftan olduğu belirtilmektedir [28].

Mevcut atık yönetimi; yakma (enerji geri kazanımıyla), tekrar kullanım ve geri dönüşümdür. Tekstil atıklarının geri dönüştürülmesi için mevcut veya geliştirilmekte olan birkaç farklı teknoloji bulunmaktadır [64]. Bunlardan bir tanesi mekaniksel geri dönüşümdür ve SOEX grubu [72], 10 farklı ülkede, yılda 15.000 tonun üzerinde giyim eşyasını inşaat ve otomobiller için yalıtım malzemelerine dönüştürmektedir. Teijin Fibre Ltd., Patagonia Inc. ile işbirliği yaparak %100 poliester atık kumaşlardan PET granüller elde etmektedir [46]. Diğer bir teknoloji ise İsveçli Re:newcell şirketi tarafından geliştirilen, atık selülozik tekstillerden viskoz lifleri üreten bir süreçtir [70]. Başka bir

teknolojide ise selülozik ve sentetik liflerin NMMO (N-methylmorpholine-N-oxide) ile ayrıştırılması ve geri dönüştürülmesi önerilmiştir [32].

Sodyum hidroksitin merserizasyon banyolarından geri kazanılması konsantr çözeltilinin ısıtılması ile sağlanmaktadır [65]. Bu işlem ile sodyum hidroksitin % 90'ı geri kazanılabilir. *EVAC* vakum emme sistemi, terbiye proseslerinden hidrojen peroksitin, tekstil yardımcı maddelerinin ve bitim kimyasallarının geri kazanılmasına yardımcı olur [69]. Tekstil atık suyuna önemli KOİ katkısı yapan polivinil alkol (PVA) haşılının geri kazanımı ve geri dönüşümü için ultrafiltrasyon (UF) ters osmoz (RO) teknolojisi 35 yıldan daha eski olmasına rağmen birçok dezavantajı nedeniyle yaygın şekilde kullanılmamaktadır. Bu durum, PVA haşılının geri kazanımı ve dönüşümü için yeni bir teknolojiye ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. *VFE (Vacuum Flash Evaporation)* yeni bir teknolojidir ve UF'nin dezavantajlarını ortadan kaldırmaktadır. VFE, geri kazanım için çeşitli endüstrilerde kullanılmış, ancak henüz tekstilde kullanılmamaktadır [26].

Tablo 6. Tekstil üretimi sırasında ortaya çıkan tekstil atıklar özet tablosu [40]

Process	Emission	Wastewater	Solid wastes
Fiber preparation	Little/none	Little/none	Fiber waste and packaging waste
Yarn spinning	Little/none	Little/none	Packaging wastes ,sized yarn, fiber waste,cleaning and processing waste
Slashing/sizing	VOCs	BOD, COD, metals, cleaning waste, size	Fiber lint, yarn waste, packaging waste, unused starch-based sizes
Weaving	Little/none	Little/none	Packaging waste, yarn and fabric scraps, off-spec fabric, used oil
Knitting	Little/none	Little/none	Packaging waste, yarn and fabric scraps, off-spec fabric
Tufting	Little/none	Little/none	Packaging waste, yarn and fabric scraps, off-spec fabric
Desizing	VOCs from glycol ethers	BOD from sizes lubricants, biocides, anti-static compounds	Packaging waste, fiber lint, yarn waste, cleaning and maintenance materials
Scouring	VOCs from glycol ethers and scouring solvents	Disinfectants, insecticide residues, NaOH,detergents, oils, knitting lubricants, spin finishes, spent solvents	Little/none
Bleaching	Little/none	H ₂ O ₂ , stabilizers, high pH	Little/none
Singeing	Small amounts of exhaust gases from the burners exhaustic which components	Little/none	Little/none
Mercerising	Little/none	High pH, NaOH	Little/none
Heatsetting	Volatilisation of spin finish agents-synthetic fiber manufacture	Little/none	Little/none
Dyeing	VOCs	Metals, salt, surfactants, organic processing assistants, cationic materials, color, BOD, COD, sulphide, acidity/alkalinity, spent solvents	Little/none
Printing	Solvents, acetic acid-drying and curing oven emissions combustion, gases	Suspended solids, urea, solvents, color, metals, heat, BOD, foam	Little/none
Finishing	VOCs, contaminants in purchased chemicals, formaldehyde vapors, combustion gases	COD, suspended solids, toxic materials, spent solvents	Fabric scraps and trimmings, packaging waste

5.Hava emisyonları

Hava kirliliği, insanlara veya diğer canlı organizmalara zarar veya rahatsızlık veren veya doğal ortama zarar veren kimyasal maddelerin, parçacıkların veya biyolojik materyallerin atmosfere girmesidir [57]. Tekstil işlemlerinden çıkan hava kirleticilerinin miktar ve tipleri ile ilgili spekülasyonlar olmasına rağmen genel olarak emisyon verileri kolaylıkla bulunmamakla birlikte birçok işlemin emisyonu sebepten dolayı bilinmektedir. Gaz emisyonları, tekstil endüstrisi için ikinci en büyük kirlilik sorunu olarak belirlenmiştir. toz, yağ dumanı, asit buharı, koku ve kazan egzozları emisyon kaynaklarıdır [41].

Tablo 7. Kirleticilerin insan üzerindeki etkileri [57]

Pollutants	Effects on human being	Sources
Sulpher di oxide	Irritates respiratory system and causes bronchitis	Boiler flue gas, rayon plant etc.
Aldehydes	Irritates all parts of respiratory system	Polyester plant
Chlorine	Causes lung irritation and also irritation in eyes	Processing house
Carbon di oxide	Deprives body cells of oxygen and cause unconsciousness by CO combining with haemoglobin	Boiler house

Tekstil işletmelerindeki kazanlar genellikle azot ve sülfür oksitler emisyonuna sebep olurlar. Bu gazlar doğal ortamın pH dengesini bozarak canlıların yaşamını tehdit ederken, metal yapıların da bozulmasına neden olurlar. Yakılan fosil yakıtlar da sera etkisine birincil katkıda bulunan karbon dioksit emisyonlarına katkıda bulunur [11]. Tekstil proseslerinde buruşmazlık bitim işlemi, kurutma işlemleri, baskı, boyama ve atık su arıtma tesisleri diğer önemli hava emisyon kaynaklarıdır. Kurutma ve fikse işlemlerinde kullanılan yüksek sıcaklıktaki kurutma makinelerinden kullanılan mineral yağlardan dolayı hidrokarbonlar açığa çıkar. Bu işlemler formaldehit, asit, yumuşatıcı gibi bileşiklerin de yayılmasına sebep olabilir [57]. Elyaf hazırlama işleminden kalan atıklar bazen ısıl fikse işlemi sırasında emisyona sebep olabilir [45].

Tablo 8. Tekstildeki hava emisyonları [57]

Process	Source	Pollutants
Energy production	Emissions from boiler	Particulates, nitrous oxides (Nox) sulphur dioxide (SO ₂)
Coating, drying and curing	Emission from high temperature ovens	Volatile organic components (VOCs)
Cotton handling activities	Emissions from preparation, carding, combing, and fabrics manufacturing	Particulates
Sizing	Emission from using sizing compound (gums, PVA)	Nitrogen oxides, sulphur oxide, carbon monoxide.
Bleaching	Emission from using chlorine compound	Chlorine, chlorine dioxide
Dyeing	Disperse dyeing using carriers : Sulphur dyeing Aniline dyeing	Carriers H ₂ S Aniline vapors
Printing	Emission	Hydrocarbons, ammonia
Finishing	Resin finishing. Heat setting of synthetic fabrics	Formaldehyde Carriers - low molecular weight Polymers - lubricating oils
Chemical storage	Emissions from storage tanks for commodity and chemicals	Volatile organic components (VOCs)
Waste water treatment	Emissions from treatment tanks and vessels	Volatile organic components, toxic emissions

Tekstillerde asetik asit ve formaldehit de önemli emisyon kaynaklarıdır. Kullanılan boyama işlemi türüne göre boyamadan ve atık su işleme tesislerinden çıkan keriyerler ve çözücüler de emisyona sebep olabilir [9].

6. Taşıma

Tekstil ve hazır giyim sektörü; imalat kaynağı, elyaf üretimi, renklendirme ve terbiye işlemleri, konfeksiyon, ambalajlama, taşıma, geri dönüşüm ve/veya nihai yok etme gibi uzun ve karmaşık bir imalat zincirinden oluşur [10].

Bitmiş ürünlerin ve yarı mamüllerin taşınması da bu kapsamda incelenir. Bunları işgücü ve üretim maliyeti düşük ülkelerdeki fabrikalardan gelişmiş ülkelere tüketiciye ulaştırmak için uzun mesafeli nakliye gereklidir. Bu durum, tüketilen yenilenebilir olmayan yakıt miktarının artmasına sebep olarak tekstilin sürdürülebilirliğinin önünde engel teşkil etmektedir [11].

7. Paketleme materyalleri

Paketleme işleminin beş temel amacı; ürünü nakliye ve saklama sırasında oluşabilecek hasarlardan korumak, ürünleri birleştirmek, ürünlerin kullanımı, atılması ve taşınması ile ilgili bilgileri aktarmak, pazarlama ve ürün hırsızlığının önlemektir [30].

Günümüzde kullanılan paketleme formları genellikle petrol bazlı materyallerden üretilmektedir ancak yakın bir zamanda paketleme işlemi, yeniden kullanım ve geri dönüşüm konularında katı kurallarla karşı karşıya kalmıştır [30]. Konfeksiyonda toplamda harcanan 2.472MJ enerjinin % 49.8'i dikimde,% 29.6'sı kesimde,% 20.6'sı ambalajlamada kullanılır [17].

Avrupa Birliği'nde uygulanmakta olan "Paketleme ve Paketleme Atığı"'na dair 94/62 / EC numaralı direktif birçok paket tiplerinin gözden geçirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu direktif, ambalajlama ve ambalaj atığına ilişkin birtakım şartları belirtir. Aynı zamanda, geri dönüşüm hedefleri ve ağır metaller için maksimum seviyeler belirler. Ambalaj atıklarının azaltılması çevresel etkilerinin en aza indirilmesinin en iyi yollarından biridir. Tekstilde kullanılan ambalaj malzemelerinin karbon ayak izleri, geri dönüşümden, biyolojik olarak bozunabilir ve böcek ilacı veya suni gübre kullanılmadan yetiştirilen doğal ürünlerden elde edilen malzemeler kullanılarak azaltılabilir [11].

Sonuç olarak sürdürülebilir temiz tekstil üretimi hammaddeden başlayan, paketleme ve bitmiş ürünün tüketiciye ulaştırılması da dahil olmak üzere geri dönüşümünü de kapsayan bitmeyen bir süreçtir.

KAYNAKLAR

- [1] Alkaya E, Böğürücü M, Dündar A, Işıtan K, Ulutaş F, Demir G, *Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV)* 2011, Sanayide Eko-Verimlilik (Temiz Üretim) Kılavuzu: Yöntemler ve Uygulamalar.
- [2] Allwood J M, DeRodriguez M C, Bocken N M, *Institute for Manufacturing University of Cambridge* 2006, Well dressed? The present and future sustainability of clothing and textiles in the United Kingdom.
- [3] Bayraktar T, *İstanbul Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri (İTKİB)* 2005, Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe Ekoloji ve Ekolojik Etiketler.
- [4] Brown BJ, Hanson ME, Liverman DM, Merideth RW, *Environmental Management* 1987, Global sustainability: toward definition, **11(6)**, 713-719.
- [5] Bruntland Commission, *The World Commission on Environment and Development* 1987, Our common future.
- [6] Budak Ç, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Su ve Toprak Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Çevre ve Şehircilik Uzmanlık Tezi* 2014, Endüstrilerde Temiz Üretim ve Su Minimizasyonu Yaklaşımları AB ve Türkiye'de Temiz Üretim Uygulamaları: Tekstil Endüstrisi Örneği.
- [7] Büyükaslan E, Jevšnik S, Kalaoglu F, *Marmara Fen Bilimleri Dergisi* 2015, A Sustainable Approach to Collect Post-Consumer Textile Waste in Developing Countries, **27**, 107-111.
- [8] Carmen Z, Daniela S, *Organic Pollutants Ten Years After the Stockholm Convention-Environmental and Analytical Update* 2012, Textile organic dyes—characteristics, polluting effects and separation/elimination procedures from industrial effluents—a critical overview, 55-81.
- [9] Chavan RB, *Indian Journal of Fibre & Textile Research* 2001, Indian textile industry-environmental issues, **26**, 11-21.
- [10] Chen C, Lewis VD, *International Textile & Apparel Association, Inc., ITAA Proceedings* 2006, The life of a piece of cloth: developing garments into a sustainable service system, **62**, 662-667.
- [11] Choudhury AKR, *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing - Environmental and Social Aspects of Textiles and Clothing Supply Chain* 2014, Environmental Impacts of the Textile Industry and Its Assessment Through Life Cycle Assessment.
- [12] Cooper P, *Society of Dyers and Colourists* 1995, Color in dyehouse effluent.
- [13] Çakır Ç, Üçgül İ, Laka S, Selbaş R, Tekstil İklimlendirme Sistemlerinde Yenilenebilir Enerji Kullanımı.

- [14] Dadi D, Stellmacher T, Senbeta F, Van Passel S, Azadi H, *Environmental monitoring and assessment* 2017, Environmental and health impacts of effluents from textile industries in Ethiopia: the case of Gelan and Dukem, Oromia Regional State, **189(1)**, 11.
- [15] Demirer GN, *Çevre ve Mühendis-TMMOB* 2003, Kirlilik Önleme Yaklaşımlarının Temel Prensipleri, **25**, 13-20.
- [16] Elkington J, *Capstone Publishing Ltd* 1997, Cannibals with forks- The triple bottom line of 21st century business.
- [17] Eryuruk SH, *Handbook of life cycle assessment (LCA) of textiles and clothing* 2015, Life cycle assessment method for environmental impact evaluation and certification systems for textiles and clothing.
- [18] Eser B, Çelik P, Çay A, Akgümüş D, *Tekstil ve Mühendis* 2016, Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm Olanakları, **23(101)**.
- [19] European Union (EU), *Official Journal of the European Union* 2003, Directive 2003/53/EC of the European Parliament and of the Council.
- [20] Fletcher K, *Sustainable textiles: Life cycle and environmental impact* 2009, Systems change for sustainability in textiles.
- [21] Frankel C, *New Society Publishers* 1998, In earth's company: business, environment, and the challenge of sustainability.
- [22] Fresner J, *Journal of Cleaner Production* 1998, Cleaner production as a means for effective environmental management, **6(3)**, 171-179.
- [23] Gardner G, Assadourian E, Sarin R, *State of the World* 2004, The state of consumption today, 3-21.
- [24] Gilding P, *Sustainability: The Corporate Challenge of the 21st Century* 2000, Sustainability – doing it.
- [25] Glavič P, Lukman R, *Journal of Cleaner Production* 2007, Review of sustainability terms and their definitions, **15(18)**, 1875-1885.
- [26] Gupta KK, *Georgia Institute of Technology, PhD thesis*, 2009, Polyvinyl alcohol size recovery and reuse via vacuum flash evaporation.
- [27] Güleriyüz Ö, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi* 2011, Küresel Gelişmeler Işığında Türkiye’de Tekstil Sektörü ve Geleceği.
- [28] Hawley J, *Shaping Sustainable Fashion: Changing the way we make and use clothes* 2011, Textile Recycling Options.
- [29] Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM, *The water footprint assessment manual: Setting the global standard* 2011.
- [30] İnce ME, *Konya Ticaret Odası Araştırma Raporları* 2013, Yeşil Tedarik Zinciri Yaklaşımı ve Örnekleri.
- [31] Jaganathan V, Cherurveetil P, Chellasamy A, Premapriya MS, *European Scientific Journal* 2014, Environmental pollution risk analysis and management in textile industry: A preventive mechanism.
- [32] Jeihanipour A, Karimi K, Niklasson C, Taherzadeh MJ, *Waste Management* 2010, A novel process for ethanol or biogas production from cellulose in blended-fibers waste textiles, **30(12)**, 2504-2509.
- [33] Kant R, *Natural Science*, 2012, Textile dyeing industry an environmental hazard, **4(1)**, 22-26.
- [34] Karamkar SR, *Textile Science and Technology* 1999, Chemical Technology in the Pre-Treatment Processes of Textiles.
- [35] Khandare RV, Govindwar SP, *In Environmental Waste Management* 2015, Microbial Degradation Mechanism of Textile Dye and Its Metabolic Pathway for Environmental Safety.
- [36] Kumari P, Singh SSJ, Rose NM, *International Journal of Scientific & Engineering Research* 2013, Eco-Textiles: For Sustainable Development, **4(4)**, 1379-1390.
- [37] Laxman M, *Dyes and Chemicals* 2009, Pollution and its Control in Textile Industry.
- [38] Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), *China Energy Databook Version 7.0*, 2007.
- [39] Moore SB, Wentz M, *Sustainable textiles life cycle and environmental impact* 2009, Eco-labeling for textiles and apparel.
- [40] Moustafa SM, *Process Analysis & Environmental Impacts of Textile Manufacturing* 2008.

- [41] Multilateral Investment Guarantee Agency (MIGA), *Environmental Guidelines for Textiles Industry*.
- [42] Nagaraj AR, *Energy Management in Textile Industry* 2015.
- [43] Oecotextiles, *Textile Industry Poses Environmental Hazards* 2012.
- [44] Özbay A, *Devlet Planlama Teşkilatı, Uzmanlık Tezi* 2005, Türkiye’de Temiz Üretim Yaklaşımının Analizi ve KOBİ’lere Yönelik Bir Temiz Üretim Merkezi İçin Kurumsal Yapılanma Önerisi.
- [45] Parvathi C, Maruthavanan T, Prakash C, *The Indian Textile Journal* 2009, Environmental impacts of textile industries.
- [46] Patagonia Inc, *Patagonia’s Common Treads Garment Recycling Program: A Detailed Analysis* 2011.
- [47] Patsalides L, *The Case of Nonionic Surfactants in Europe and America: To Ban or Not to Ban* 2010.
- [48] Reddy BS, Ray BK, *Energy Policy* 2011, Understanding Industrial Energy Use: Physical Energy Intensity Changes in Indian Manufacturing Sector, **39(11)**, 7234-7243.
- [49] Sathaye J, Price L, de la Rue du Can S, Fridley D, *Bulletin on Energy Efficiency* 2005, Assessment of energy use and energy savings potential in selected industrial sectors in India, **6(2)**, 25-28.
- [50] Saxena S, Raja ASM, Arputharaj A, *Textiles and Clothing Sustainability* 2017, Challenges in Sustainable Wet Processing of Textiles.
- [51] Shaikh MA, *Pakistan Textile Journal* 2009, Water conservation in textile industry, 48-51.
- [52] Sherburne A, *Sustainable textiles: life cycle and environmental impact* 2009, Achieving sustainable textiles: a designer’s perspective.
- [53] Stall-Meadows S, Peek G, *Oklahoma Cooperative Extension Fact Sheets* 2012, Recycled Household Textiles and Clothing.
- [54] Ströhle J, Benninger AG, Böttger D, MDS Prozesstechnik GmbH., *Water and energy-saving solutions* 2008.
- [55] Suzuki DT, Dressel H, *Good news for a change: hope for a troubled planet* 2002.
- [56] Taşkın EG, Güney S, *Uludağ İhracatçı Birlikleri* 2014, Tekstilde Çevre- Tekstil Terbiye Sektöründe Temiz Üretim İçin Örnek Modellerin Oluşturulması Projesi-Teknolojik Değerlendirme Raporu.
- [57] Tıwarı M, Babel S, *Asian Journal of Environmental Science* 2013, Air pollution in textile industry, **8(1)**, 64-66.
- [58] Tufekci N, San HA, Aydın S, Ucar S, Barlas H, *Turkish J Fisheries Aquatic Sci* 1998, **7**:795-96.
- [59] Tufekci N, Sivri N, Toroz I, *Turk J Fisheries Aquatic Sci* 2007, Pollutants of textile industry wastewater, **7**:97.
- [60] Ulutaş F, Alkaya E, Böğürücü M, Dündar AK, Iştan K, Ersin S, İneler FM, Gürsoy S, Mangır K, Demirer G, *İzmir Kalkınma Ajansı (İZKA), Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV)*, 2012, İzmir’de Eko-verimlilik Uygulamalarının Yaygınlaştırılması’na Yönelik Strateji Çalışması Raporu.
- [61] United States Department of Energy (USDOE), *Manufacturing energy consumption survey (MECS) -2006*, 2006.
- [62] Vietnam Cleaner Production Centre (VNCPC), *Mini-guide to Cleaner Production* 2000.
- [63] Wiedmann T, Minx J, *Ecological economics research trends* 2008, A definition of ‘carbon footprint’, **1**, 1-11.
- [64] Zamani B, *Chalmers University of Technology, Thesis For The Degree of Licentiate of Engineering* 2014, Towards Understanding Sustainable Textile Waste Management: Environmental impacts and social indicators.
- [65] <https://dir.indiamart.com/search.mp?ss=caustic+recover+plant> (accessed: 09.02.17).
- [66] Center for Environmental Training and International Consulting (CENTRIC), *Definitions-Pollution Prevention and Cleaner Production* 2017.
<http://www.centric.at/services/cleaner-production> (accessed: 10.01.17)
- [67] European Commission (EC), *Environment, Environmental Impact Assessment* 2016.
<http://ec.europa.eu/environment/eia/review.htm> (accessed: 04.01.17).

- [68] Global Ecolabelling Network (GEN), 2004.
<https://www.globalecolabelling.net/> (accessed 03.02.2017).
- [69] Küsters, *Vacuum Technology* 2003.
http://www.vibinet.de/images/Vacuum_Technology.pdf (accessed 03.02.2017).
- [70] re:newcell, 2015.
<http://www.renewcell.se/> (accessed 03.02.2017).
- [71] Society of Dyers and Colourists (SDC), 2017.
<http://www.colour-index.com> (accessed 12.01.2017).
- [72] SOEX Textil-Vermarktungsgesellschaft m.b.H.
www.soexgroup.com (accessed 18.01.2017).
- [73] The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 2016.
<http://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-assessment/> (accessed 10.12.2016).
- [74] United States Environmental Protection Agency (EPA), *Environmental Management System (EMS)* 2016.
<https://www.epa.gov/ems> (accessed 10.01.2017).
- [75] United States Environmental Protection Agency (EPA), *Land, Waste and Clean up*, 2017.
<https://www.epa.gov/environmental-topics/land-waste-and-cleanup-topics> (accessed 02.02.2017).

Sorumlu yazar:

Pervin ANIŞ

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü

Görükle Kampüsü 16059 Nilüfer / BURSA

E-mail:pervin@uludag.edu.tr

Perde ve Perde Sistemleri Yardımıyla Binalarda Sağlanabilecek Enerji Tasarruf Potansiyeli

Prof. Dr. Mehmet KANIK, Arş. Gör. Gizem MANASOĞLU, Tekstil Müh. Semih SORUÇ

Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

mekanik@uludag.edu.tr

ÖZET

Dünyadaki teknolojik gelişmeler, nüfus artışı ile beraber enerji tüketimini de hızla arttırmaktadır. Enerji tüketiminin artması ülke ekonomisine yük getirmesinin yanı sıra çevre kirliliğine de yol açmaktadır. Sınırlı fosil yakıt kaynakları ile enerji ihtiyacını uzun süre karşılayabilmek için enerjinin verimli şekilde kullanılması gerekmektedir [10].

Binalardaki istenmeyen ısı kazanımı ve ısı kayıpları enerji etkinliğini doğrudan etkileyen iki önemli konudur. Binalarda istenen termal konfor şartlarını sağlamak için ısıtma, soğutma, havalandırma ve aydınlatma amacı ile enerjinin önemli bir kısmı tüketilir [9]. Binalarda kullanılan enerjinin ortalama %25'i sadece pencerelerden kaybolmakta, yaz aylarında içerdeki ısı artışının %50'si de yine pencerelerden olmaktadır. Buradan yola çıkılarak pencerelerde uygun perde sistemlerinin kullanılmasıyla önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabileceği görülmektedir. Bu bildiri literatür çalışmalarına dayalı olarak uygun perde ve perde sistemleri yardımıyla binalarda sağlanabilecek enerji tasarruf potansiyeli ortaya konulmaya çalışılmaktadır.

ABSTRACT

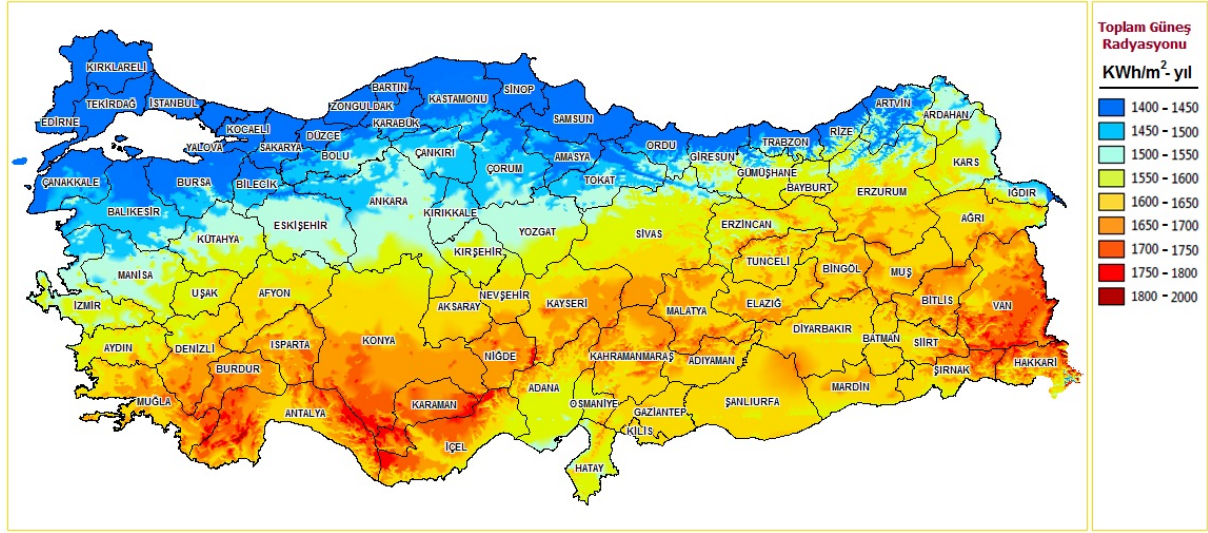
The technological developments in the world rapidly increase the energy consumption together with the population increase. Increasing energy consumption leads to environmental pollution besides burdening the economy of the country. Energy needs to be used efficiently in order to meet long-term energy needs with limited fossil fuel resources.

Undesired heat gain and heat losses in buildings are two important issues that directly affect energy efficiency. A significant portion of the energy is consumed with heating, cooling, ventilation and lighting purposes to ensure the desired thermal comfort conditions in buildings. An average of 25% of the energy used in buildings is lost only from the windows, and 50% of the increase in heat in the summer months is again from the windows. From here it can be seen that by using appropriate curtain systems in windows, energy saving can be achieved considerably. In this report, with the help of appropriate curtains and curtain systems based on the literature studies, it is tried to put energy saving potential which can be obtained in the buildings.

GİRİŞ

Enerjinin verimli kullanılması enerji kaynakları bakımından büyük oranda dışa bağımlı olan ülkemiz için büyük önem arz etmektedir. Konutlarda, sanayide, tarımda, ulaşımda ve yaşamın diğer alanlarında enerji maliyetlerini düşürmek, ülke ekonomisine katkıda bulunmak, ülkemizin enerjide dışa bağımlılığını azaltmak ve gelecek nesillere yaşanılabilir bir çevre bırakmak için enerji kaynaklarını verimli kullanmak gerekmektedir. Enerji verimliliği, binalarda yaşam standardının ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işletmelerde ise üretim kalitesinin ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim hizmet veya ürün miktarı başına enerji tüketiminin azaltılması olarak tarif edilebilir [17].

Bugün dünyadaki insan nüfusunun yaklaşık yarısı kentlerde yaşamaktadır. 2030 yılına kadar dünya genelinde kentsel nüfusun %70 artması beklenmektedir. Şehirleşme ile birlikte gelen başlıca problemlerden biri de şehirlerdeki ısınmadır. Şehirler kırsal bölgelere göre daha çok ısınmaktadır. Özellikle yaz aylarında kentlerde, güneşten gelen ışınlar, ısıyı bünyesinde uzun süre tutabilen maddelerden yapılmış binalar tarafından emilir. Gece hava ısısı düştüğünde bu binalar tarafından soğurulmuş ısı, şehri ısıtmaya devam eder. Kentsel bölgelerin kırsal bölgelere göre sıcaklıklarının binaların çokluğu nedeni ile fazla olmasına Kentsel Isı Adası Etkisi, KIAE (Urban Heat Island Effect) denir [7].



Şekil 1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası

Ülkemizde konut sektöründe ısıtma ve soğutma amaçlı enerji tüketimi, tüketilen toplam enerjinin %70'i gibi çok yüksek bir oranını oluşturmaktadır. Avrupa Birliği'nde ise bu rakam %57'dir ve %25'i sıcak su üretimi için kullanılmaktadır. Binalar sektöründe tüketilen yüksek orandaki enerji talebinde Türkiye'nin iklim şartları etkilidir. Yaz aylarında iklim sıcak ve kuru, kış aylarında ise nemli ve yağışlıdır. Bununla birlikte iç bölgelerde, iklim şartları nedeniyle yaklaşık altı ay süresince ısıtma ihtiyacı ve güney bölgelerinde ağırlıklı olmak üzere yaz aylarında soğutma ihtiyacı olmaktadır. Bu nedenle alınacak en önemli önlem, binaların soğuk mevsimlerde ısı kayıplarına; sıcak bölgelerde de ısı kazanımına karşı güçlendirilmesi; yani etkin bir ısı yalıtımıdır [8]. İstatistiki bilgilere göre; aynı iklim şartlarında ve aynı kullanım alanına sahip bir konutun enerji tüketiminin Fransa, Almanya, İngiltere, İsveç gibi ülkelere göre bizde 2-3 kat fazla olması, ülkemizde özellikle ısı yalıtımının yeterince önemsenmediğinin bir göstergesidir [19].

Yapılan çalışmalar, binalarda kullanılan enerjinin ortalama %25'inin sadece pencerelerden kaybolduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, pencerelerden meydana gelen kayıpların azaltılması hem ülkemiz ve hem de tüketiciler açısından çok büyük önem taşımaktadır. Nitekim Gavle Üniversitesi'nde (İsveç) yapılan bilimsel bir araştırma, pencerelerde enerji tasarruflu perdelerin kullanılmasıyla ısıtma ve soğutmada harcanan enerjinin %20-30 oranında azaltılabileceğini ortaya koymuştur [15].



Şekil 2. Binalarda meydana gelen ısı kayıpları

Pencerelerin enerji verimlilik performansı binaların enerji derecelendirilmesinde önemli bir yer almaktadır. Türkiye'de 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu'nun Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği'nin yürürlüğe girmesinden sonra pencerelerin enerji verimliliği zorunlu hale gelmiştir [20]. Ne var ki, bu kanunda pencerelerde perde ve perde sistemleri yardımıyla enerji verimliliğinin geliştirilmesine yönelik doğrudan bir madde yer almamaktadır.

Enerji kaynaklarının gün geçtikçe yok olmasına bağlı olarak enerji tüketiminin azaltılabilmesi için çözümler aranmaktadır. Bunun için yapılarda enerji korunumu öncelik kazanmakta ve enerji tüketiminin azaltılmasına yönelik tasarımlar önem kazanmaktadır. Yapılarda enerji akışı farklı yollarla gerçekleşmektedir. Yapı kabuğunda ise enerji akışının en fazla gerçekleştiği bileşen pencerelerdir. Pencerelerin enerji ile ilgili performansı alt bileşenlerinin performansına bağlıdır [13]. Pencerelerin ısı performanslarının değerlendirilmesinde, en sık başvurulan performans göstergeleri:

- Isı korunum düzeyi, (U_o)
- Güneş kontrolü düzeyi, (SC , $SHGC$, F_{pen}),
- Güneşten ısı kazancı düzeyi, (SC , $SHGC$, F_{pen})
- Güneş kontrolü yaparken günışığı yeterliliğinin sağlanması ($D_x \geq 1,0$)'dır [3].

➤ Pencerelerden Isı Kayıpları

Kış aylarında soğuk dış hava ile bina içerisindeki ısıtılmış havanın arasında oluşan büyük sıcaklık farkı sebebiyle, bina içerisindeki ısı süratle bina dışına doğru hareket eder, çatıdan, pencereden ve büyük miktarda duvardan kaçar.

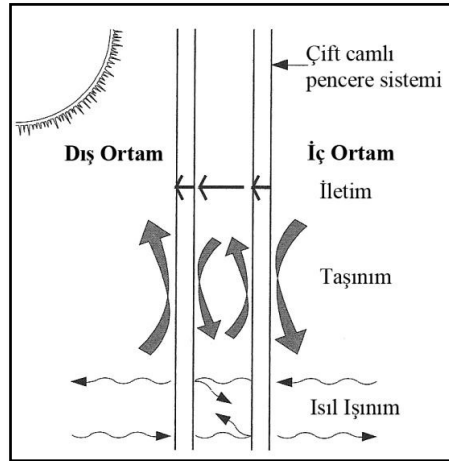
Dışarı kaçan ısının yerini doldurmak için, daha çok enerji harcarız. Bina dış duvarlarında, dışarıdan bir ısı yalıtımı uygulaması var ise, dışarı doğru kaçmaya çalışan ısı, yalıtım levhalarından az geçer, dolayısıyla iç havayı sürekli ısıtmaktan kurtuluruz. Isıtmak için sarf edeceğimiz yakıt önemli ölçüde azalır. Bu durum hem bireysel ekonomiye, hem devlet ekonomisine hem de hava kirliliğinin azalmasına büyük katkı sağlanmış olur. Bu arada bina dış duvarını dışarıdan yalıtırken, çatı ve pencereler için de gerekiyorsa bodrum tabanı için de tedbir alınmalıdır.

Pencereyi oluşturan çerçeve sistemleri ile birlikte cam sisteminin ara boşluk gazı, mesafesi, cam türleri mekânın ısı performansını doğrudan etkilemektedir. Gölge elemanları ise türüne, kesit kalınlığına, sistemdeki yerine bağlı olarak farklı performans değerleri sunmaktadır [13].



Şekil 3. Kış aylarında pencerelerdeki termal davranış ve kaybedilen ısı

Isıl geçirgenlik katsayısı (U değeri), güneş ısı kazanç katsayısı (SHGC) ve ışık geçirgenlik (VT) başta olmak üzere, hava-su sızdırmazlık, yoğuşma direnci özellikleri pencere sistemlerinin enerji performansını belirlemektedir. Pencerelerde ısı akışı üç yolla gerçekleşir. Bunlar iletim, taşınım ve ışınım'dır. İletim, katı, sıvı veya gaz fazlar arasındaki; taşınım katı ve akışkan fazlar arasındaki; ışınım ise boşlukta, aracıya gereksinim duymadan gerçekleşen ısı transferidir (Şekil 4). İletim cam ve çerçeve boyunca, taşınım cam sistemi ara boşluğu ile iç, dış yüzeyler arasında, ışınım ise hava boşluğunun her iki tarafındaki cam yüzeylerde oluşur [13].



Şekil 4. Pencere boyunca gerçekleşen ısı transfer bileşenleri

İletim, taşınım ve uzun dalga ışınımı yoluyla pencerelerde sıcak taraftan soğuğa ısı transferi gerçekleşir ve pencere sistemi bileşenlerinin bu transfere direnç kapasitesi yalıtım değeri (R değeri) olarak tanımlanır. Toplam ısı transfer katsayısı ise ısı geçirgenlik katsayısıdır (U değeri) ve iç-dış ortam arasında bir birim hava sıcaklığı değişimiyle eyleme geçen, birim zamanda, birim alan boyunca gerçekleşen ısı transfer miktarıdır ve W/m^2K ile ifade edilir.

➤ Pencerelerden Isı Kazanımları

Evlerdeki istenmeyen ısı artışının %50'si pencereler yoluyla gerçekleşir. Çatı, döşeme ve dış duvarlar yalıtım malzemeleriyle uygun bir şekilde yalıtılarak enerji kaybı azaltılabilir. Ancak pencerelerde yalıtım malzemesi bu yüzeylerdeki gibi kullanılamaz. Bu nedenle çok pencereli ortamlarda sorun oldukça büyüyecek ve enerji kaybı oldukça artacaktır [2]. Yaz aylarında pencereler istenilen gün ışığı