

**KAPLAMALI PERDELİK KUMAŞ YAPILARINDA
TERMAL YALITIM VE SOLAR YANSITMA
ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Gizem MANASOĞLU



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAPLAMALI PERDELİK KUMAŞ YAPILARINDA TERMAL YALITIM VE
SOLAR YANSITMA ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Gizem MANASOĞLU
0000-0002-1504-8694

Prof. Dr. Mehmet KANIK
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

KAPLAMALI PERDELİK KUMAŞ YAPILARINDA TERMAL YALITIM VE SOLAR YANSITMA ÖZELLİKLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Gizem MANASOĞLU

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet KANIK

Konut, işyeri ve kamu kurumu olarak kullanılan binalarda harcanan enerji dünyada tüketilen toplam enerjinin yaklaşık üçte birini oluşturmaktadır. Binalarda ısıtma, soğutma ve havalandırma gibi amaçlarla kullanılan enerjinin çok önemli bir kısmı pencerelerden kaybolmaktadır. Pencerelerden meydana gelen kayıpların azaltılmasında uygun cam ve çerçeve sistemlerinin kullanılması yanında, enerji tasarrufuna katkı sağlayacak perdelerin ve perde sistemlerinin kullanılması da etkili yöntemler arasında yer almaktadır. Farklı ısı transfer prensiplerine dayanarak ısı aktarımını yavaşlatan ısı yalıtım kaplamaları günümüzde oldukça popüler ve fonksiyonel bir kaplama türüdür. Bunun yanında, binaların dışarıdan ısı kazanımını azaltmak amacıyla yapılan güneşe karşı koruyucu kaplamalar da ayrı bir öneme sahiptir.

Bu tez çalışmasında, farklı malzeme grupları ile polyester kumaşlar üzerine silindir üzeri rakle tekniğine göre kaplamalar yapılmıştır. Tekstil kaplamacılığında dolgu maddesi olarak yaygın kullanılan titanyum dioksit ve kalsitin yanında, ısı iletkenlik değeri bunlara kıyasla oldukça düşük olan pomza, perlit ve selüloz tozu ile farklı tanecik boyutlarında ve farklı konsantrasyonlarda çalışılmıştır. Daha sonra, solar spektrumun ısınmaya neden olan kızılötesi bölgesinde de iyi yansıtma özelliğine sahip olan farklı tanecik boyutlarına sahip alüminyum ve bakır tozları ile de farklı konsantrasyonlarda kaplamalar yapılmıştır. İlave olarak, incelenen malzemeler arasında ısı yalıtımı ve solar yansıtma açısından başarılı bulunan malzemeler kullanılarak çok katmanlı yapılar da elde edilmiştir. Kaplanmış numunelerin kalınlık, birim alan ağırlığı ve aktarılan madde miktarı gibi fiziksel özellikleri, iletim ve ışınım olmak üzere farklı prensipleri esas alan iki yöntemle termal özellikleri, transmitans (geçirgenlik) ve reflektans (yansıtma) ölçümleri ile solar özellikleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, kumaş yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Elde edilen tüm sonuçlar için istatistiksel analiz yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tekstil kaplama, perde, termal yalıtım, solar reflektans
2022, xxi + 262 sayfa

ABSTRACT

PhD Thesis

DEVELOPMENT OF THERMAL INSULATION AND SOLAR REFLECTION PROPERTIES IN COATED DRAPERY FABRICS

Gizem MANASOĞLU

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Textile Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet KANIK

The energy consumed in buildings used as residences, workplaces, and public institutions constitutes approximately one-third of the total energy consumed in the world. A significant part of the energy used for purposes such as heating, cooling, and ventilation in buildings is lost through windows. In addition to the use of appropriate glass and frame systems in reducing the losses from windows, the use of curtains and curtain systems that will contribute to energy savings are among the effective methods. Thermal insulation coatings, which slow down heat transfer based on different heat transfer principles, are a prevalent and functional type of coating today. In addition, sun-protective coatings made to reduce the heat gain of the buildings from the outside also have particular importance.

In this thesis, coatings were made on polyester fabrics with different material groups according to the knife over roll technique. In addition to titanium dioxide and calcite, widely used as fillers in the textile coating, pumice, perlite, and cellulose powders, which have pretty low thermal conductivity values compared to these, have been studied in different particle sizes and concentrations. Then, coatings were made at different concentrations with aluminum and copper powders of varying particle sizes, which also have good reflectivity in the infrared region of the solar spectrum that causes heating. In addition, multi-layered structures were obtained by using materials that were found to be successful in terms of thermal insulation and solar reflectance among the examined materials. Physical properties of samples such as thickness, mass per unit area, and amount of transferred material (add-on) were investigated. Thermal properties were evaluated by two methods based on different principles, namely conduction, and radiation. Transmittance and reflectance measurements were performed to examine the solar properties of fabrics. In addition, fabric surfaces were examined by scanning electron microscopy. Statistical analysis was performed for all the results obtained.

Key words: Textile coating, curtain, thermal insulation, solar reflectance
2022, xii + 262 pages.

TEŞEKKÜR

Doktora tezimin yürütülmesi ve değerlendirilmesinde emeği geçen, çalışmalarım süresince her türlü desteği sunan ve bana ışık olan kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Mehmet KANIK'a, değerli görüş ve önerileri ile tez çalışmasına katkı sağlayan hocalarım Prof. Dr. Kenan YILDIRIM ve Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim AKYILDIZ'a, projeleri kapsamında temin edilen cihazı tez çalışmamda kullanma imkânı sağlayan Prof. Dr. Özcan ÖZDEMİR hocama ve ölçümler sırasında yol gösteren, fikir veren Arş. Gör. Mahmut Oğuz KESİMCİ hocama teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın önemli bir bölümünü kapsayan, 1001 program kodlu ve 214M391 numaralı projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda kullandığım malzemelerin teminini sağlayan Küçükçalık Tekstil San. ve Tic. A.Ş., Rudolf Duraner, Elso Kimya, Soylu Grup, Aydın Madencilik, Cevahirler Madencilik ve JRS GMBH+CO KG firma yetkililerine teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitimi sürecinde birlikte çalışmalarda bulunduğum, tez çalışmam süresince de desteğini hep hissettiğim değerli dostum Dr. Rumeysa ÇELEN'e, TÜBİTAK projesinde birlikte görev aldığım, birçok zahmetli süreci paylaştığım değerli dostum Yük. Müh. Semih SORUÇ'a, laboratuvar çalışmalarımındaki yardımları yanında her zaman manevi destek veren kuzenim ve meslektaşım Ayşe Dilşad POLAT'a, bölüm laboratuvarımızdaki çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen Dr. Mehmet TİRİTOĞLU'na ve lisans eğitimimden bugüne kazandırdıkları her şey için Tekstil Mühendisliği Bölümü'ndeki tüm kıymetli hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman sevgi ve desteklerini hissettiğim, tüm emekleri için minnettar olduğum sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Gizem MANASOĞLU
05/07/2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
SİMGE ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ (KURAMSAL TEMELLER).....	4
2.1. Tekstil Kaplamacılığı.....	4
2.1.1. Malzeme yüzeyi ve kaplama etkileşimi.....	5
2.1.2. Kaplamada kullanılan zemin kumaşı.....	9
2.1.3. Kaplamada yaygın olarak kullanılan polimerler.....	11
2.1.4. Kaplamada kullanılan dolgu maddeleri.....	12
2.1.5. Kaplama yöntemleri.....	21
2.1.6. Tekstilde kaplama uygulamaları ile ilgili güncel çalışmalar.....	36
2.2. Binalarda Isı Yalıtımı.....	40
2.2.1. Binalarda ısı kazanç ve kayıplar.....	41
2.2.2. Isı transfer mekanizmaları.....	42
2.2.3. Enerji tasarrufu için termal yalıtım kaplamaları.....	49
2.3. Tekstilde Isı Yalıtımı Uygulamalarıyla İlgili Çalışmalar.....	53
2.4. Elektromanyetik Spektrum.....	57
2.4.1. Ultraviyole (morötesi) ışınlar.....	61
2.4.2. Görünür bölge ışınları.....	61
2.4.3. İnfrared (kızılötesi) radyasyon.....	62
2.5. Solar Radyasyon ve Pencereleden Solar Isı Kazanımı.....	63
2.6. Solar Özelliklerle İlgili Çalışmalar.....	70
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	75
3.1. Materyal.....	75
3.1.1. Kumaş.....	75
3.1.2. Kaplama kimyasalları.....	75
3.1.3. Dolgu malzemeleri.....	76
3.2. Yöntem.....	78
3.2.1. Stok patının hazırlanması.....	79
3.2.2. Kaplama patının hazırlanması.....	80
3.2.3. Kaplama ve fiksaj.....	81
3.2.4. Kumaşların kalınlık ve birim alan ağırlığı ölçümü.....	82
3.2.5. Kumaşlara aktarılan madde miktarının hesaplanması.....	82
3.2.6. Taramalı elektron mikroskop (SEM) analizi.....	83
3.2.7. Kumaşların termal iletkenlik katsayısı ölçümü.....	83
3.2.8. Kumaşların radyan ısı geçişi ölçümü.....	85
3.2.9. Kumaşların solar özelliklerinin ölçümü.....	86
3.2.10. İstatistiksel analiz.....	89
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	98
4.1. Farklı Kaplama Polimerleri ile Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar.....	98
4.1.1. Birim alan ağırlığı sonuçları.....	98

4.1.2. Aktarılan madde miktarı (add-on) sonuçları.....	99
4.1.3. Kalınlık sonuçları.....	99
4.1.4. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları.....	101
4.1.5. Solar ölçüm sonuçları.....	103
4.1.6. SEM analizi sonuçları.....	106
4.2. Kalsit ve Titanyum dioksit ile Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar.....	107
4.2.1. Birim alan ağırlığı sonuçları.....	107
4.2.2. Aktarılan madde miktarı (add-on) sonuçları.....	108
4.2.3. Kalınlık sonuçları.....	108
4.2.4. SEM analizi sonuçları.....	110
4.2.5. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları.....	113
4.2.6. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları.....	114
4.2.7. Solar ölçüm sonuçları.....	116
4.3. Farklı Tanecik Boyutunda Perlit ile Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar.....	122
4.3.1. Birim alan ağırlığı sonuçları.....	122
4.3.2. Aktarılan madde miktarı sonuçları.....	122
4.3.3. Kalınlık sonuçları.....	123
4.3.4. SEM analizi sonuçları.....	124
4.3.5. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları.....	127
4.3.6. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları.....	129
4.3.7. Solar ölçüm sonuçları.....	131
4.4. Farklı Tanecik Boyutunda Pomza ile Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar.....	136
4.4.1. Birim alan ağırlığı sonuçları.....	136
4.4.2. Aktarılan madde miktarı sonuçları.....	137
4.4.3. Kalınlık sonuçları.....	138
4.4.4. SEM analizi sonuçları.....	139
4.4.5. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları.....	141
4.4.6. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları.....	143
4.4.7. Solar ölçüm sonuçları.....	146
4.5. Farklı Tanecik Boyutunda Selüloz Tozu ile Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar.....	150
4.5.1. Birim alan ağırlığı sonuçları.....	150
4.5.2. Aktarılan madde miktarı sonuçları.....	150
4.5.3. Kalınlık sonuçları.....	151
4.5.4. SEM analizi sonuçları.....	153
4.5.5. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları.....	155
4.5.6. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları.....	157
4.5.7. Solar ölçüm sonuçları.....	160
4.6. Farklı Tanecik Boyutunda Alüminyum Tozu ile Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar.....	164
4.6.1. Birim alan ağırlığı sonuçları.....	164
4.6.2. Aktarılan madde miktarı sonuçları.....	164
4.6.3. Kalınlık sonuçları.....	165
4.6.4. SEM analizi sonuçları.....	166
4.6.5. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları.....	168
4.6.6. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları.....	171
4.6.7. Solar ölçüm sonuçları.....	174

4.7. Farklı Tanecik Boyutunda Bakır Tozu ile Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar.....	180
4.7.1. Birim alan ağırlığı sonuçları.....	180
4.7.2. Aktarılan madde miktarı sonuçları.....	181
4.7.3. Kalınlık sonuçları.....	181
4.7.4. SEM analizi sonuçları.....	183
4.7.5. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları.....	186
4.7.6. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları.....	189
4.7.7. Solar ölçüm sonuçları.....	192
4.8. Çok Katlı Kaplamalara Ait Sonuçlar.....	197
4.8.1. Birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık sonuçları.....	197
4.8.2. SEM analizi sonuçları.....	198
4.8.3. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları.....	203
4.8.4. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları.....	204
4.8.5. Solar ölçüm sonuçları.....	205
5. SONUÇ.....	208
KAYNAKLAR.....	212
EKLER.....	228
EK 1 Akrilik ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri...	230
EK 2 Poliüretan ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	231
EK 3 Stiren-Akrilik ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	232
EK 4 Vinil asetat ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	233
EK 5 Farklı Kaplama Polimerleri ile 400 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	234
EK 6 Kalsit ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	235
EK 7 Titanyum dioksit ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	236
EK 8 10-38 µm Perlit ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	237
EK 9 50-63 µm Perlit ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	238
EK 10 100-150 µm Perlit ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	239
EK 11 Farklı Tanecik Boyutlarında Perlit ile 80 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	240
EK 12 0-25 µm Pomza ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	241
EK 13 50-75 µm Pomza ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	242
EK 14 100-125 µm Pomza ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	243
EK 15 Farklı Tanecik Boyutlarında Pomza ile 80 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	244
EK 16 18 µm Selüloz Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	245

EK 17 120 µm Selüloz Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	246
EK 18 300 µm Selüloz Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	247
EK 19 Farklı Tanecik Boyutlarında Selüloz Tozu ile 80 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	248
EK 20 Yakın Tanecik Boyutlarına Sahip Perlit, Pomza ve Selüloz Tozu ile 80 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	249
EK 21 14 µm Alüminyum Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	250
EK 22 20 µm Alüminyum Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	251
EK 23 40 µm Alüminyum Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	252
EK 24 Farklı Tanecik Boyutlarında Alüminyum Tozu ile 40 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	253
EK 25 15 µm Bakır Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	254
EK 26 28 µm Bakır Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	255
EK 27 42 µm Bakır Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	256
EK 28 Farklı Tanecik Boyutlarında Bakır Tozu ile 40 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	257
EK 29 Yakın Tanecik Boyutlarına Sahip Alüminyum ve Bakır Tozu ile 40 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	258
EK 30 Çok Katlı Kaplama Yapılan Numune ve Katmanlarının Reflektans ve Transmittans Grafikleri.....	259
ÖZGEÇMİŞ.....	260

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
W_a	Adhezyon
M	Bakır levha kütlesi
C_p	Bakırın özgül ısısı
Q_0	Başlangıç ısı akısı yoğunluğu
f_i	Cam tarafından soğrulan güneş ışınımının içeriye akma kesri
T_g	Camlaşma sıcaklığı
$D\lambda$	D65 ışığının bağıl spektral dağılımı
λ	Dalga boyu
$\Delta\lambda$	Dalga boyu aralığı
T_m	Erime sıcaklığı
E	Foton enerjisi
$V(\lambda)$	Fotopik görme için spektral aydınlatma verimi
f	Frekans
Q_c	Geçen ısı akısı yoğunluğu
τ	Geçirgenlik
G_{tr}	Geçirilen ışınım
T_V	Görünür bölge geçirgenliği
R_V	Görünür bölge yansıtması (reflektansı)
$\dot{q}_{güneş}$	Güneş ısı akısı
GIKK	Güneş ısı kazanç katsayısı
$S\lambda$	Güneş ışınımının bağıl spektral dağılımı
TF	Isı geçiş faktörü
k	Isı iletim katsayısı
h	Isı taşınım katsayısı
\dot{Q}	Isı transfer hızı
A	Isı transferi alanı
c	Işığın boşluktaki hızı
$U\lambda$	Küresel güneş ışınımının UV bölgesinin bağıl dağılımı
$\tau(\lambda)$	Malzemenin spektral geçirgenliği
$\rho(\lambda)$	Malzemenin spektral yansıtması
ΔT	Sıcaklık farkı
G_{abs}	Soğrulan ışınım
A_S	Solar absorbans
T_S	Solar geçirgenlik
R_S	Solar yansıtma
σ	Stefan-Boltzman sabiti
θ	Temas açısı
T_{UV}	Ultraviyole bölge geçirgenliği
R_{NIR}	Yakın kızılötesi (infrared) bölge yansıtması (reflektansı)
ρ	Yansıtıcılık
G_{ref}	Yansıtılan ışınım
ε	Yayınım katsayısı
α	Yutma (soğurma) katsayısı
γ	Yüzey gerilimi

Kısaltmalar	Açıklama
Al	Alüminyum
AZO	Alüminyum katkılı çinko oksit
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
NH ₃	Amonyak
APP	Amonyum polifosfat
ATO	Antimon kalay oksit
As	Arsenik
C ₆ H ₈ O ₆	Askorbik asit
Cu	Bakır
Ba	Baryum
BaO	Baryum oksit
cP	Centipoise
Hg	Cıva
Zn	Çinko
ZnO	Çinko oksit
MWCNT	Çok duvarlı karbon nano tüp
Fe	Demir
Fe ₂ O ₃	Demir (III) oksit
FT	Demir titanat
dB	Desibel
DSC	Diferansiyel taramalı kalorimetre
EMI	Elektromanyetik girişim
eV	Elektron-volt
EVA	Etilen vinil asetat
FTIR	Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektrometresi
GHz	Gigahertz
GO	Grafen oksit
Ag	Gümüş
Hz	Hertz
N ₂ H ₄	Hidrazin
ITO	İndiyum kalay oksit
IR	İnfrared (Kızılötesi)
J	Jolue
CNT	Karbon nano tüp
CO ₂	Karbondioksit
Sn	Kalay
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat (Kalsit)
CaO	Kalsiyum oksit
Cr ₂ O ₃	Kromyum (III) oksit
Pb	Kurşun
La ₂ O ₃	Lantan oksit
LOI	Limit oksijen indeksi
Mg	Magnezyum
MgCO ₃	Magnezyum karbonat
MgO	Magnezyum oksit
Mn	Manganez
MnO ₂	Manganez dioksit

MHz	Megahertz
m	Metre
μm	Mikrometre
mm	Milimetre
nm	Nanometre
NIR	Near-infrared (yakın kızılötesi)
Nb	Niyobyum
PBI	Polibenzimidazol
PP	Polipropilen
PSA	Polisülfonamid
PTFE	Politetrafloretillen
PU	Poliüretan
PVC	Polivinil klorür
PVDC	Polivinilden klorür
K_2O	Potasyum oksit
cm	Santimetre
CeO	Seryum oksit
Si	Silisyum
SiO_2	Silisyum dioksit
NaBH_4	Sodyum borhidrür
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$	Sodyum ditiyonit
NaOH	Sodyum hidroksit
Na_2O	Sodyum oksit
SBR	Stiren bütadien kauçuk
SrO	Stronsiyum oksit
Ta	Tantal
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SWCNT	Tek duvarlı karbon nanotüp
TGA	Termogravimetrik analiz
TPU	Termoplastik poliüretan
TiO_2	Titanyum dioksit
UV	Ultraviyole
UVA	Ultraviyole A
UVB	Ultraviyole B
UVC	Ultraviyole C
UPF	Ultraviyole koruma faktörü
ZrO_2	Zirkonyum dioksit

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Ara yüzey gerilimleri ve statik temas açısı.....	7
Şekil 2.2. Pürüzlü yüzey üzerinde zayıf ıslatabilirlik ve iyi ıslatabilirlik özelliğine sahip sıvıların davranışı.....	8
Şekil 2.3. Leafing ve Non-leafing alüminyum pigment yapıları.....	19
Şekil 2.4. Rolling bank.....	22
Şekil 2.5. Rakleli (bıçaklı) kaplama yöntemi genel gösterim.....	22
Şekil 2.6. Havada rakle yöntemi.....	23
Şekil 2.7. Silindir üzerinde rakle yöntemi	24
Şekil 2.8. Blanket üzerinde rakle yöntemi	25
Şekil 2.9. Rakle (bıçak) profilleri.....	26
Şekil 2.10. Farklı rakle açıları genel gösterim.....	26
Şekil 2.11. Mayer çubuklu kaplama yöntemi.....	27
Şekil 2.12. Sürme (aktarma) silindirleriyle kaplama yöntemi.....	28
Şekil 2.13. Ters silindirli kaplama yöntemi.....	29
Şekil 2.14. İki silindirli gravür kaplama yöntemi.....	31
Şekil 2.15. Döner şablon ile kaplama yöntemi.....	32
Şekil 2.16. Daldırma tekniği ile kaplama.....	32
Şekil 2.17. Transfer kaplama yöntemi.....	33
Şekil 2.18. Ekstrüzyon kaplama yöntemi.....	34
Şekil 2.19. Toz serpmme tekniği ile kaplama.....	35
Şekil 2.20. Püskürtme kaplama yöntemi.....	36
Şekil 2.21. Oda sıcaklığında çeşitli malzemelerin ısı iletkenlik aralıkları.....	44
Şekil 2.22. Gelen ışınının yarısaydam bir malzeme tarafından soğurulması, yansıtılması ve geçirilmesi.....	47
Şekil 2.23. Elektromanyetik dalganın şematik gösterimi.....	58
Şekil 2.24. Nesnelere ve elektromanyetik spektrum arasındaki olası etkileşimler: (a) iletim, (b) kırılma, (c) yayılım, (d) soğurma, (e) yama, (f) düzgün yansıma, (g) dağınık yansıma.....	59
Şekil 2.25. Elektromanyetik spektrum.....	60
Şekil 2.26. Görünür ışık spektrumu yaklaşık dalga boyu dağılımı.....	62
Şekil 2.27. Dünya'nın eliptik yörüngesi.....	64
Şekil 2.28. Bir pencereye gelen güneş radyasyonunun direkt, diffüz ve yansıyan bileşenleri.....	66
Şekil 2.29. Şeffaf bir cama gelen güneş radyasyonunun dağılımı.....	67
Şekil 2.30. Solar enerjinin pencere ve perde sistemleri üzerindeki davranışı....	69
Şekil 3.1. Ataç laboratuvar tipi mikser ve Brookfield RVT viskozimetre.....	79
Şekil 3.2. Laboratuvar tipi kaplama makinesi ve laboratuvar tipi kurutucu....	81
Şekil 3.3. Silindir üstü bıçak (rakle) kaplama ve kurutma şematik gösterimi..	82
Şekil 3.4. Sıcak tel metodu.....	83
Şekil 3.5. Quick Thermal Conductivity Meter (QTM)-710 termal iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı.....	84
Şekil 3.6. Radyan ısı geçişi ölçümü.....	86
Şekil 3.7. Shimadzu UV-3600 plus spektrofotometre.....	87
Şekil 3.8. Shimadzu UV-3600 plus spektrofotometre dedektör sistemi.....	87
Şekil 3.9. ISR 603 Integrating Sphere.....	88

Şekil 4.1.	Akrilik, stiren-akrillik, poliüretan ve vinil asetat ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi sonuçları.....	102
Şekil 4.2.	Kaplamasız zemin kumaş ve akrilik polimer ile kaplanmış referans kumaşın SEM görüntüleri.....	107
Şekil 4.3.	Farklı konsantrasyonlarda kalsit ile kaplanmış kumaşların 100x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri.....	111
Şekil 4.4.	Farklı konsantrasyonlarda titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların 100x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri.....	112
Şekil 4.5.	Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların termal iletkenlik katsayısı sonuçları.....	113
Şekil 4.6.	Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi sonuçları.....	115
Şekil 4.7.	Kırılma indisinin opaklık üzerindeki etkisi.....	120
Şekil 4.8.	50-63 µm perlit ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşların 100x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri.....	125
Şekil 4.9.	80 g/kg konsantrasyonda farklı tanecik boyutlarına sahip perlit ile kaplanmış kumaşların 100x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri.....	126
Şekil 4.10.	10-38, 50-63 ve 100-150 µm perlit ile kaplanmış kumaşların termal iletkenlik katsayısı sonuçları.....	128
Şekil 4.11.	10-38, 50-63 ve 100-150 µm perlit ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi sonuçları.....	130
Şekil 4.12.	50-75 µm pomza ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşların 100x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri.....	140
Şekil 4.13.	80 g/kg konsantrasyonda farklı tanecik boyutlarına sahip pomza ile kaplanmış kumaşların 100x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri.....	141
Şekil 4.14.	0-25, 50-75 ve 100-125 µm pomza ile kaplanmış kumaşların termal iletkenlik katsayısı sonuçları.....	142
Şekil 4.15.	0-25, 50-75 ve 100-125 µm pomza ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi sonuçları.....	145
Şekil 4.16.	120 µm selüloz tozu ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşların 100x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri.....	154
Şekil 4.17.	80 g/kg konsantrasyonda farklı tanecik boyutlarına sahip selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların 100x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri.....	155
Şekil 4.18.	18, 120 ve 300 µm selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların termal iletkenlik katsayısı sonuçları.....	156
Şekil 4.19.	18, 120 ve 300 µm selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi sonuçları.....	158
Şekil 4.20.	20 µm alüminyum tozu ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşların 100x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri.....	167
Şekil 4.21.	40 g/kg konsantrasyonda farklı tanecik boyutlarına sahip alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların 100x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri.....	168
Şekil 4.22.	14, 20 ve 40 µm alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların termal iletkenlik katsayısı sonuçları.....	169

Şekil 4.23.	14, 20 ve 40 µm alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi sonuçları.....	172
Şekil 4.24.	28 µm bakır tozu ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşların 100x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri.....	184
Şekil 4.25.	40 g/kg konsantrasyonda farklı tanecik boyutlarına sahip bakır tozu ile kaplanmış kumaşların 100x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri.....	185
Şekil 4.26.	15, 28 ve 42 µm bakır tozu ile kaplanmış kumaşların termal iletkenlik katsayısı sonuçları.....	187
Şekil 4.27.	15, 28 ve 42 µm bakır tozu ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi sonuçları.....	190
Şekil 4.28.	Çok katlı kaplama ve tekli katmanların 100x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri (ikincil elektron).....	199
Şekil 4.29.	Çok katlı kaplama ve ikinci katı oluşturan alüminyum kaplamanın 100x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri (geri saçılmış elektron).....	200
Şekil 4.30.	Çok katlı kaplamanın enine kesitinin 200x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri (ikincil elektron).....	201
Şekil 4.31.	Çok katlı kaplamanın enine kesitinin 200x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri (geri saçılmış elektron).....	202
Şekil 4.32.	Çok katlı kaplama ve katmanlarının termal iletkenlik katsayısı sonuçları.....	203
Şekil 4.33.	Çok katlı kaplama ve katmanlarının radyan ısı geçişi sonuçları.....	204

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Kaplama kimyasalları, özellikleri ve kullanım alanları.....	11
Çizelge 2.2. Titanyum dioksitin genel özellikleri.....	14
Çizelge 2.3. Kalsitin genel özellikleri.....	15
Çizelge 2.4. Pomzanın genel özellikleri.....	16
Çizelge 2.5. Perlitin genel özellikleri.....	17
Çizelge 2.6. Selüloz tozlarının (liflerin) genel özellikleri.....	18
Çizelge 2.7. Alüminyum pigmentlerin genel özellikleri.....	19
Çizelge 2.8. Bakır pigmentlerin genel özellikleri.....	21
Çizelge 2.9. Elektromanyetik spektrum bölgelerine ait dalga boyu, frekans ve enerji aralıkları.....	60
Çizelge 3.1. Zemin kumaşının özellikleri.....	75
Çizelge 3.2. Kaplama kimyasalları ve özellikleri.....	75
Çizelge 3.3. Dolgu malzemelerinin tanecik boyutları ve çalışma konsantrasyonları.....	78
Çizelge 3.4. Binder çeşitleri ve çalışma konsantrasyonları.....	78
Çizelge 3.5. Stok patı reçetesi.....	79
Çizelge 3.6. Örnek kaplama patı reçetesi 1.....	80
Çizelge 3.7. Örnek kaplama reçetesi 2.....	81
Çizelge 3.8. Spektrofotometre program çıktıları.....	88
Çizelge 3.9. Farklı polimerler ile kaplanmış kumaşlara uygulanan istatistiksel analizlere ait hipotezler.....	91
Çizelge 3.10. Kalsit ve titanyum dioksit kaplı kumaşlara uygulanan istatistiksel analizlere ait hipotezler.....	93
Çizelge 3.11. Perlit, pomza, selüloz tozu, alüminyum ve bakır tozu kaplı kumaşlara uygulanan istatistiksel analizlere ait hipotezler.....	95
Çizelge 4.1. Farklı polimerler ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı sonuçları.....	98
Çizelge 4.2. Farklı polimerler ile kaplanmış kumaşların aktarılan madde miktarı sonuçları.....	99
Çizelge 4.3. Farklı polimerler ile kaplanmış kumaşların kalınlık sonuçları...	100
Çizelge 4.4. Farklı polimerler ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	100
Çizelge 4.5. Farklı polimerler ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları..	103
Çizelge 4.6. Farklı polimerler ile kaplanmış kumaşlara ait solar sonuçlar.....	104
Çizelge 4.7. Farklı polimerler ile kaplanmış kumaşların solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	106
Çizelge 4.8. Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı sonuçları.....	108
Çizelge 4.9. Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların aktarılan madde miktarı sonuçları.....	108
Çizelge 4.10. Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların kalınlık sonuçları.....	109

Çizelge 4.11.	Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	109
Çizelge 4.12.	Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların termal ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları..	116
Çizelge 4.13.	Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşlara ait solar sonuçlar.....	118
Çizelge 4.14.	Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları..	121
Çizelge 4.15.	Perlit ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı sonuçları.....	122
Çizelge 4.16.	Perlit ile kaplanmış kumaşların aktarılan madde miktarı sonuçları.....	123
Çizelge 4.17.	Perlit ile kaplanmış kumaşların kalınlık sonuçları.....	123
Çizelge 4.18.	Perlit ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	124
Çizelge 4.19.	Perlit ile kaplanmış kumaşların termal ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	131
Çizelge 4.20.	Perlit ile kaplanmış kumaşların solar ölçüm sonuçları.....	133
Çizelge 4.21.	Perlit ile kaplanmış kumaşların solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	136
Çizelge 4.22.	Pomza ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı sonuçları...	137
Çizelge 4.23.	Pomza ile kaplanmış kumaşların aktarılan madde miktarı sonuçları.....	137
Çizelge 4.24.	Pomza ile kaplanmış kumaşların kalınlık sonuçları.....	138
Çizelge 4.25.	Pomza ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	139
Çizelge 4.26.	Pomza ile kaplanmış kumaşların termal ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	146
Çizelge 4.27.	Pomza ile kaplanmış kumaşların solar ölçüm sonuçları.....	147
Çizelge 4.28.	Pomza ile kaplanmış kumaşların solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	149
Çizelge 4.29.	Selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı sonuçları.....	150
Çizelge 4.30.	Selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların aktarılan madde miktarı sonuçları.....	151
Çizelge 4.31.	Selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların kalınlık sonuçları.....	152
Çizelge 4.32.	Selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	152
Çizelge 4.33.	Selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların termal ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	159
Çizelge 4.34.	Selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların solar ölçüm sonuçları....	161
Çizelge 4.35.	Selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	163
Çizelge 4.36.	Alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı sonuçları.....	164

Çizelge 4.37.	Alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların aktarılan madde miktarı sonuçları.....	165
Çizelge 4.38.	Alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların kalınlık sonuçları...	165
Çizelge 4.39.	Alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	166
Çizelge 4.40.	Alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların termal ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	174
Çizelge 4.41.	Alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların solar ölçüm sonuçları.....	176
Çizelge 4.42.	Alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	180
Çizelge 4.43.	Bakır tozu ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı sonuçları.....	181
Çizelge 4.44.	Bakır tozu ile kaplanmış kumaşların aktarılan madde miktarı sonuçları.....	181
Çizelge 4.45.	Bakır tozu ile kaplanmış kumaşların kalınlık sonuçları.....	182
Çizelge 4.46.	Bakır tozu ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	182
Çizelge 4.47.	Bakır tozu ile kaplanmış kumaşların termal ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	191
Çizelge 4.48.	Bakır tozu ile kaplanmış kumaşların solar ölçüm sonuçları.....	193
Çizelge 4.49.	Bakır tozu ile kaplanmış kumaşların solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	196
Çizelge 4.50.	Çok katlı kaplama yapılan numunenin katmanlarına ait parametreler.....	197
Çizelge 4.51.	Çok katlı kaplama yapılan numunenin ve katmanlarının birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık sonuçları.....	198
Çizelge 4.52.	Çok katlı kaplama yapılan numune ve katmanlarının birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	198
Çizelge 4.53.	Çok katlı kaplama yapılan numune ve katmanlarının termal ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları..	205
Çizelge 4.54.	Çok katlı kaplama yapılan numune ve katmanlarının solar ölçüm sonuçları.....	206
Çizelge 4.55.	Çok katlı kaplamanın ve katmanlarının solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları.....	207

1. GİRİŞ

Kaplama ve laminasyon işlemleri tekstil endüstrisinin hızla büyüyen ve katma değeri oldukça yüksek olan bir bölümüdür. Hammaddelerdeki ve uygulama tekniklerindeki muazzam çeşitlilik sayesinde daha önce mevcut olmayan performans özelliklerine sahip bir dizi yeni ürün geliştirmek mümkün olmuştur. Böylece piyasalarda her bir ürünün teknik ve ticari avantajları algılandıkça, çok hızlı büyüyen tamamen yeni pazarlar ortaya çıkmaktadır (Joshi ve Butola, 2013).

Kaplamalı kumaşlar; en az biri tekstil kumaşı ve en az biri sürekli polimer tabakası olan, katmanların eklenecek bir yapıştırıcı vasıtasıyla veya bir ya da daha fazla bileşen katmanının yapışkan özellikleri sayesinde birbirine sıkıca bağlandığı iki veya daha fazla katmanlı yapılar olarak ifade edilir (Fung, 2002). En az iki bileşenden oluşan bir bileşik olduğundan, kaplanmış kumaşın davranışı bileşenlerinin herhangi birinden veya bileşenlerinin toplamından farklıdır. Kaplamalı kumaşlar; moda ve tasarım, mimari, inşaat, ulaşım, jeoteknoloji, otomotiv, filtrasyon, sağlık, güvenlik ve koruyucu sistemler gibi birçok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır (Billah, 2019; Joshi ve Butola, 2013).

Son yıllarda modern sanayinin gelişmesi ile birlikte enerji tüketimi hızla artmış, enerji yetersizliği sorunu ve küresel ısınma, iklim değişikliği, ozon incelmesi gibi bazı çevresel etkilerle ilgili endişeler ön plana çıkmıştır (Pan, 2019; Saidur, 2009). Nüfus artışı ve kentsel alanlarda bina inşaatlarının hızlı büyümesi nedeniyle binalarda enerji tüketimi sürekli artmaktadır. Binaların termal yönetimi ile ilgili enerji sorunları çevreyi, ekonomiyi ve yaşam standartlarını doğrudan etkiler. Bu sorunlar, yüksek enerji maliyeti ve sera gazı emisyonlarını azaltmak için acil ihtiyaçlar dahil olmak üzere dünya çapında devam eden krizlerle iç içedir (Rashidi, Esfahani ve Karimi, 2018).

Dış yüzeylerin güneş ısı yansıtma özelliğinin nasıl iyileştirileceği ve binaların ısı kazanımının nasıl azaltılacağı, binalarda enerji tasarrufu ve ısı yalıtımı için özellikle önemlidir. Isı yansıtıcı kaplamalar, gelen güneş ışığının büyük bir bölümünü yansıtır ve bina yüzeyini normal kaplamalardan daha düşük bir sıcaklıkta tutarak ısı yalıtımına katkı

sağlar. Daha düşük yüzey sıcaklığı, binalara daha düşük ısı iletimi sağlar ve binaların soğutma yükünü azaltır (Bansal, Garg ve Kothari, 1992; Lv, Mao, Wang, Wang ve Cui, 2015). Mimari tasarımlara da bağlı olmakla birlikte pencereler, boyutlarına göre önemli ısı kayıplarının olduğu yapı elemanlarıdır. Özellikle iş merkezleri, alışveriş merkezleri, sergi salonları gibi yapılarıdaki cam cephelerde ısı kayıpları yüksek oranlara çıkmaktadır (“Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri”, 2015).

Hem endüstriyel üretimde hem de günlük yaşamda tüketilen enerjinin oldukça büyük bir miktarı uygun sıcaklığı ayarlamak için kullanılmaktadır (Ye ve Chen, 2018). Dolayısıyla ısı yalıtımı, enerji tasarrufu ve tüketimin azalması hususunda verimliliğe büyük katkı sağladığı için çok önemli bir konudur (Alhomoud, 2005; Pan, 2019).

Isı yalıtım malzemeleri; uygun şekilde kullanıldığında iletim, taşınım ve/veya ışınım yolları ile ısının aktarımını geciktiren malzemeler veya malzeme kombinasyonlarıdır (Hens, Karagiozis, Kuenzel ve TenWolde, 2001). Yalıtım malzemelerinin performansı esas olarak; malzemenin yoğunluğu, gözenekliliği, nem içeriği ve ortalama sıcaklık farkına bağlı olan termal iletkenlik özelliği ile belirlenmektedir (Kaynaklı, 2012). Yaygın ısı yalıtım malzemeleri, cam yünü, taş yünü, genleşmiş polistiren, poliüretan köpük, inorganik silikat bazlı malzemeler, asbest lifleri, hindistancevizi lifleri, kapalı hücreli perlit, geliştirilmiş perlit vb. olarak sıralanabilir (Papadopoulos, 2005; Ye ve Chen, 2018).

Isı yalıtımı sağlayan kaplamalar, bir tür yeni fonksiyonel kaplama çeşididir. Ekonomikliği, kolay kullanımı, farklı zeminlere uygulanabilir olması ve iyi izolasyon etkileri nedeniyle oldukça popüler hale gelmiştir (Ye ve Chen, 2018; Ye, Chen, Chang, Liang ve Lu, 2015).

Bu tez çalışmasında, ısı yalıtımı ve solar yansıtma özellikleri iyileştirilmiş perdelik kumaş yapılarının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle ön çalışma olarak kaplama polimeri (binder) türünün ve konsantrasyonunun etkisi, dört farklı polimer kullanılarak incelenmiş ve seçilen polimer ile deneylere devam edilmiştir.

Özellikle stor perde uygulamalarında kullanımı yaygın olan titanyum dioksit ve kalsit gibi geleneksel dolgu malzemelerinin yanında ısı iletim katsayılarının daha düşük olduğu bilinen perlit, pomza ve selüloz tozu ile farklı tanecik boyutları kullanılarak farklı konsantrasyonlarda kaplamalar yapılmıştır. Bunlara ilave olarak, yüksek solar yansıtma özelliklerinin etkisinden faydalanmak amacıyla farklı tanecik boyutlarında alüminyum ve bakır tozları ile de dört farklı konsantrasyon değerinde kaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Ölçüm ve testlerde numuneler, dolgu malzemesinin tek başına etkisini değerlendirmek adına kör kaplama yapılmış olan kumaş ile kıyaslanmıştır. Termal ölçümler, iletim ve ışınım olmak üzere iki farklı prensibi esas alan yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Buna ilave olarak yapılan transmitans ve reflektans ölçümleri ile özellikle radyan ısı geçişi test sonuçları desteklenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında, optimum malzemeler ve çalışma parametreleri seçilerek hem termal iletkenlik katsayısını hem de radyan ısı geçiş faktörünü azaltmaya yönelik çok katlı kaplamalar üretilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ (KURAMSAL TEMELLER)

2.1. Tekstil Kaplamacılığı

Koruyucu giysiler, barınaklar, örtüler, sıvı konteyneri vb. için kaplamalı tekstillerin kullanımı antik çağa kadar uzanmaktadır. Tarihsel olarak, kaplanmış bir tekstilin kaydedilen en erken kullanımı, Orta ve Güney Amerika yerlileri tarafından bir kumaşa su geçirmez hale getirmek için doğal kauçuk uygulanmasıdır.

Katran, reçine ve balmumu emülsiyonları gibi malzemeler, suya dayanıklı kumaşlar hazırlamak için yıllar içinde kullanılmıştır. Son derece üstün özellikleri nedeniyle kauçuk ve diğer polimerik malzemeler tercih edilen kaplamalar haline gelmiştir. Günümüzde kaplanmış kumaşlar esasen polimer kaplı tekstillerdir. Polimer ve tekstil teknolojisindeki gelişmeler, çok çeşitli kullanım alanları için kaplanmış kumaşların uygulanmasında olağanüstü bir büyümeye yol açmıştır. Teknik tekstiller arasında önemli bir yer tutan kaplamalı kumaşlar, modern endüstrinin en önemli teknolojik süreçlerinden biridir (Sen, 2007).

Kaplama temelde, bir yüzey üzerinde bir veya birkaç malzeme katmanının biriktirildiği bir prosestir. Çoğu kaplama malzemesi sıvıdır, ancak katılar ve gazlar da kullanılır ve her biri zemin yüzey üzerinde katmanlar oluşturmak için farklı uygulama yöntemleri gerektirir (Shim, 2019).

Kaplama işleminin amacı, zemin malzemesinin olumlu özelliklerine olabildiğince zarar vermeden değer katarak malzemeyi geliştirmektir (Meirowitz, 2016). Kaplamalı kumaşlar mimari, inşaat, ulaşım, güvenlik ve koruyucu sistemler gibi birçok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır. Hammaddelerdeki ve uygulama tekniklerindeki muazzam çeşitlilik sayesinde, daha önce mevcut olmayan performans özelliklerine sahip bir dizi yeni nihai ürün geliştirmek mümkün olmuştur. Bu da her bir ürünün teknik ve ticari avantajları algılandıkça çok hızlı büyüyen tamamen yeni pazarlar yaratmıştır (Joshi ve Butola, 2013).

Kaplanmış bir kumaşın nihai özellikleri, kullanılan polimerin tipine ve formülasyonuna, tekstil malzemesinin doğasına ve kullanılan kaplama yöntemine bağlıdır. Bu nedenle kaplamalı tekstiller konusu disiplinler arasıdır ve polimer bilimi, tekstil teknolojisi ve kimya mühendisliği bilgisi gerektirir (Sen, 2007). Kaplama teknikleri, malzemelere ve nihai ürün özelliklerine bağlı olarak değişiklik gösterse de tüm kaplama tekniklerinde temel amaç, istenen kalınlıkta ve malzeme yüzeyinde istenen adhezyon ile üniform ve stabil bir kaplama üretebilmektir. Bu kapsamda tüm kaplama prosesleri; dozajlama, aktarma ve sabitleme adımlarını içerir. Bu süreçleri anlamak ve kontrol etmek, aralarındaki önemli farklılıklardan bağımsız olarak tüm kaplama teknikleri için esastır (Greer ve Stelling, 1994; Scott, 1995).

Kaplamanın bu üç yönden proses parametrelerinin kontrol edilmesi, alt tabakaya uygulanan kaplama malzemesinin miktarını, kaplama tabakasının homojenliğini, kaplama ile zemin materyali arasındaki adhezyonu (yapışmayı) ve kaplama malzemesinin zemin materyaline penetrasyonunu etkiler. Buna bağlı olarak da kaplanmış tekstillerin performansını, özelliklerini ve dayanıklılığını belirler (Scott, 1995). Islanma, yayılma, yapışma, akışkanlar mekaniği, akışkanların reolojisi ve faz geçişi dahil olmak üzere kaplama sürecini anlamak ve kontrol etmek için çok disiplinli bir yaklaşıma ihtiyaç vardır. Maliyet, üretim hızları, tekrarlanabilirlik, çevresel etkiler, çok yönlülük ve hız ayarı kaplama işleminin diğer önemli özellikleridir (Scott, 1995; Shim, 2019).

2.1.1. Malzeme yüzeyi ve kaplama etkileşimi

Kaplama/kumaş etkileşimleriyle ilgili iki faktör kritik öneme sahiptir: Bu faktörler kumaşın kaplama malzemesi tarafından ıslanması ve kaplamanın kumaşa adhezyonudur. Adhezyon, temas halindeki iki malzeme arasındaki çekimdir ve malzemeler arasındaki moleküller arası kuvvetlerden kaynaklanır. Bu kuvvetler iyonik ve kovalent gibi asıl bağlar veya daha zayıf moleküller arası kuvvetler (hidrojen bağı, dipol dipol veya indüklenmiş dipol dipol etkileşimleri) olabilir (Meirowitz, 2016; Shim, 2019).

Düz ve pürüzsüz bir arayüzeyin en basit durumunda, adhezyon (W_a), yani temas halindeki iki tabakayı ayırmak için gereken enerji denklem 2.1 ile tanımlanır:

$$W_a = \gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_{12} \quad (2.1)$$

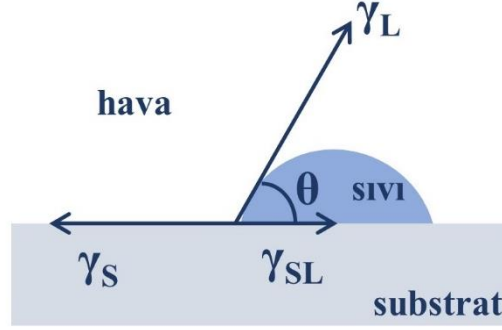
Burada γ_1 ve γ_2 , sırasıyla birinci ve ikinci bileşenin yüzey gerilimleri, γ_{12} ise bileşen 1 ve 2 arasındaki arayüzey gerilimidir (Dahlquist, 2001; Dartman & Shishoo, 1993; Yosomiya, 1990). Adhezyonun pozitif çıkması, iki yüzeyin yapışma eğilimini gösterirken, negatif olması ayrılmaya (delaminasyon) doğru bir eğilimi gösterir (Schonhorn, 1985).

Genel olarak, adhezyon (W_a) ne kadar büyükse, yapışma o kadar iyidir. Yüksek moleküler afiniteye sahip iki malzeme, düşük enerji ara yüzü ve yüksek yapışkanlık sağlayacaktır. Adhezyon miktarı, malzemelerin kimyasal doğası tarafından belirlenir ve bu nedenle alt katmanlardaki, kaplamadaki veya yapıştırıcılardaki polimer türleri ve bunların kimyasal afiniteleri, kaplanmış ve lamine kumaşlarda iyi bir yapışma elde etmenin temelleridir. Farklı katmanlardan oluşan malzemeler yeterli afiniteye sahip olmadığında, arayüzey yapışması zayıftır. Her iki katmana da afiniteye sahip üçüncü bir malzeme eklemek yapışmayı iyileştirecektir ve buna bağlayıcı katman adı verilmektedir (Cole ve Macosko, 2000).

Yapışmaya katkıda bulunan diğer bir faktör, polimer zincirlerinin ara yüzey difüzyonudur. İki faz arasında yeterli etkileşim ve afinite olduğunda, polimer moleküllerinin arayüzeyin ötesine geçerek diğer faz ile dolanık yapılar oluşturması mümkündür (Schonhorn, 1985). Bu durum, özellikle polimer molekülleri yüksek hareketliliğe sahip olduğunda gerçekleşebilir. Malzeme camsı geçiş sıcaklığının üzerinde ısıtıldığında, polimer zincirleri daha fazla hareketliliğe sahiptir ve difüzyon ile daha derine nüfuz edebilir ve zaman yeterli olursa yapışma mukavemeti artar. Bu nedenle, kaplama ve laminasyon işlemlerinde süre ve sıcaklık adhezyon açısından önemli rol oynar (Shim, 2019; Wicks, Jones ve Pappas, 1999).

Kaplama ve laminasyon işlemi sırasında, iki katman arasında yapışkan ara yüzünün nasıl oluştuğuna ilişkin bir diğer husus da ıslanma ve yayılmadır (Padday, 1978). Islanma olayı, akışkan-malzeme, akışkan-akışkan ve akışkan-hava arasındaki etkileşimleri içerir ve uygun ara yüzey gerilimleri ile temsil edilir.

Bir sıvı, düz bir katı yüzeyle temas ettiğinde iki olasılık vardır. Sıvı, havanın yerini alarak katının üzerine yayılabilir ve nihayet sıvı-hava ile katı-sıvı arayüzeyleri arasındaki açı (temas açısı; θ) belirli bir değere ulaştığında yayılma durma noktasına gelebilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Arayüzey gerilimleri ve statik temas açısı (Shim, 2019'dan düzenlenmiştir).

Alt tabaka yüzeyi ile temas hattının göreceli hareketi olmadığında, bu açıya statik temas açısı denir. Statik temas açısı, üç fazlı temas hattındaki arayüzey gerilimlerinin dengesi ile belirlenir.

Young denklemi (denklem 2.2), statik temas açısını ve sıvının yüzey gerilimini, katı/sıvı ara yüzünün ve katı/hava ara yüzünün yüzey gerilimleri ile tamamen düz ve homojen bir katı yüzey için ilişkilendirmektedir (Young, 1805).

$$\cos\theta = \frac{\gamma_S - \gamma_{SL}}{\gamma_L} \quad (2.2)$$

θ ; denge temas açısı, γ_S ; katı ile hava arasındaki arayüzey gerilimi, γ_{SL} ; katı ile sıvı arasındaki arayüzey gerilimi ve γ_L ; sıvı ile hava arasındaki arayüzey gerilimidir. Düşük temas açısı, yüksek ıslanabilirlik anlamına; yüksek temas açısı, zayıf ıslanabilirlik anlamına gelir (Berg, 1993). Kaplama sıvısı ile malzeme yüzeyi arasındaki temas açısı sıfır olduğunda, kaplama sıvısı sınırsız bir şekilde kendiliğinden yayılır ve bir film oluşturur. Bu nedenle, ıslanma ve yayılma, iyi bir adhezyon elde etmek için temel kriterlerdir (Dartman ve Shishoo, 1993). Bununla birlikte, statik temas açısı eksik bir ölçüdür. Çünkü sıvının, katı yüzey üzerine yayılması için gereken sürenin uzunluğunu göstermez (Dussan, 1979).

Ayrıca birçok kaplama ve laminasyon işleminde temas hattı hareket halindedir. Bu durumda, ıslanmanın kinetiği önemli hale gelir ve sıvının viskozitesi gibi diğer reolojik özellikler de arayüzey oluşumunu ve adhezyonu etkiler. Pratik bir bakış açısı ile kaplanmış ve lamine edilmiş kumaşlarda iki katman arasındaki ara yüz hiçbir zaman pürüzsüz değildir ve sıklıkla bir bileşen diğer bileşenin yüzeyi boyunca penetre olur. Yüzey pürüzlü olduğunda ıslanmanın yapışma mukavemeti üzerindeki etkisi artar (Molina, Esquena ve Erra, 2010).

Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, kaplama sıvısı, olukları ve gözenekleri doldururken pürüzlü malzeme yüzeyine yayılır. Sonuç olarak, kaplama maddesi ile malzeme yüzeyi yakın bir temas oluşturur ve gerçek temas alanı geometrik alandan daha büyüktür. Böylece yüzey pürüzlülüğü, kaplama maddesi ve malzeme arasındaki yapışma gücünü artırır. Akışkan yüzeyi ıslatmadığında yüzey gözeneklerinden geçemez; temas alanı geometrik alandan daha küçük kalır ve yapışma kuvveti zayıflar (Dartman ve Shishoo, 1993; Wicks, Jones ve Pappas, 1999).



Şekil 2.2. Pürüzlü yüzey üzerinde zayıf ıslatabilirlik (a) ve iyi ıslatabilirlik (b) özelliğine sahip sıvıların davranışı (Shim, 2019'dan düzenlenmiştir).

Tekstil malzemeleri sadece pürüzlü değil aynı zamanda gözenekli yapılardır. Bu nedenle yüzey boyunca penetrasyon gerçekleşir ve ıslanma kinetiği tarafından yönetilir. Kaplama sıvısı, lifli yapının içine nüfuz ederse, bu durum daha geniş bir arayüzey alanına ve ilave olarak mekanik kilitlemeye yol açar (Meirowitz, 2016). Sonuç olarak, kaplanmış ve lamine kumaşlarda ara tabaka yapışması, mekanik sabitleme ve arayüzey etkileşimlerinin bir kombinasyonudur ve bu nedenle adhezyon, kaplama malzemesi penetrasyonlarının bir fonksiyonudur (Dartman ve Shishoo, 1993; Yosomiya, 1990; Wake, 1973). Bununla birlikte, aşılması halinde malzemenin mekanik özelliklerinin olumsuz etkilendiği bir

optimum penetrasyon derinliği vardır. Bir kaplama sıvısı lifli yapılara derinlemesine nüfuz ettiğinde, yüksek arayüzey alanı ve mekanik sabitleme etkileri nedeniyle yapışma artarken, zemin tabaka hareket serbestliğini kaybeder ve sertleşir. Bu nedenle, arayüzey yapışmasını dengelemek ve yapının esnekliğini korumak için kaplama ve laminasyon işlemindeki penetrasyonun kontrolü önemlidir (Farboodmanesh ve diğerleri, 2005). Elbette ıslanabilirlik penetrasyonu kontrol eden tek faktör değildir. Bunun yanında, kaplama sıvısının viskozitesi, sıcaklık, zemin materyalinin yapısı, işlem sırasında uygulanan basınç ve kaplama yöntemi gibi faktörlerin tümü penetrasyon derecesini etkiler. Adhezyon, kumaş yapısının açıklığına, iplik numaralarına ve yüzeye uygulanan bitim işlemlerine de büyük ölçüde bağlıdır (Bluestein, Loewrigkeit, Mcgimpsey ve Van dyk, 1975; Mewes, 1989).

2.1.2. Kaplamada kullanılan zemin kumaşı

Kaplanmış bir kumaş, zemin kumaşı ile bunun üzerine kaplanmış olan polimerin özelliklerini bir araya getirir. Böylece elde edilen son ürün, her iki bileşenin de tek başına sağlayamayacağı birçok özelliğe sahip olur ve bu nedenle hem zemin kumaşının hem de kaplama polimerinin seçiminde dikkatli olunmalıdır. Zemin kumaşı, kompozit materyale mekanik dayanım sağlar ve uygulanacak kaplama katmanı için destek görevi görür. Bu nedenle kaliteli bir kaplama için kaliteli zemin kumaşları gerekir (Fung, 2002).

Başarılı bir kaplama işlemi yapılabilmesi için zemin kumaşının sahip olması gereken bazı özellikler vardır. Bunlar:

- Boyutsal stabilitesinin iyi olması; daha sonraki işlemler sırasında çekmemesi
- Lif uçları, düğüm vb. açısından temiz ve düzgün yüzeyli olması
- Haşıl, yağ, kir vb. safsızlıklar içermemesi
- Kaplamanın türüne göre uygun hidrofilitede veya hidrofoblukta olması
- Genellikle sıkı bir yapıda olması
- Kaplama sırasında maruz kalacağı sıcaklık, kimyasal vb. etkilere karşı dayanıklı olması
- Kaplama maddesine karşı yeterli adhezyon ve uygun penetrasyon özelliği göstermesi

Kaplama işlemi öncesinde yukarıdaki bazı özellikleri sağlamak amacıyla kumaşlara uygulanan çeşitli işlemler şunlardır:

- Haşıl, yağ, vaks, kir vb. safsızlıkların uzaklaştırılması için; yıkama, haşıl sökme, hidrofilleştirme
- Şeffaf kaplamalar için ağartma-optik beyazlatma, boyama, baskı
- Yakma, fırça-makas, kalandırlama ile sıkıştırma
- Rejenere selülozlarda su iticilik bitim işlemi ile yağ mukavemetin artırılması
- Boyut stabilitesi için termofiksaj vb. ile en, gramaj ve çekmezlik değerlerinin ayarlanması

Kaplamada yaygın olan tekstil materyalleri, pamuk, naylon, polyester, polipropilen, floş, cam lifi ve bunların karışımlarıdır (Heller ve Pringle, 2001). Polyester ve naylon mukavemetleri, neme, yağa, mikroorganizmalara ve yaygın birçok kimyasala karşı dayanımlarından dolayı zemin kumaşında kullanılan temel liflerdir. Genel olarak polyester ışığa ve UV bozunmasına karşı naylondan daha dayanıklı olmakla birlikte naylonun hidrolize karşı dayanımı daha yüksektir. Polyester liflerinin çok düzgün bir yüzeye sahip olması kaplamada bağlanma zorluklarına neden olabilmektedir. Ancak polyester, naylona göre daha iyi olan boyutsal stabilite, büzülme direnci, düşük uzama özellikleri ve genellikle düşük maliyeti nedeniyle tercih sebebidir.

Polipropilen oldukça ekonomik olmakla birlikte polyesterde olduğu gibi bunda da dayanıklı kaplama eldesi zordur ve ısıya karşı hassastır (Heller ve Pringle, 2001). Tente, araba örtüsü gibi yüksek UV dayanımı gerektiren uygulamalarda akrilik lifleri kullanılır. Pamuk, tekstil kaplamacılığında kullanılan ilk kumaş olmakla birlikte günümüzde de geniş miktarlarda kullanımı söz konusudur. Ancak yüksek mukavemetin gerektiği yerlerde yerini polyester ve naylona bırakır. Pamuk, çürüme ve mikrobik saldırıya karşı daha hassas olsa da mükemmel kaplama adhezyonu gibi bazı özellikler ile sentetik liflerden üstündür. Pamuğun daha pürüzlü olan yüzeyi ve kısa lif boyu, polimerin mekanik olarak bağlanması için daha çok imkân sağlar (Bulut ve Sular, 2008).

Takviyelendirme gereken uygulamalarda ve konveyör bantlarında kullanılan cam lifi, yüksek sıcaklıklara dayanıklı, kimyasal olarak inert ve yüksek kopma mukavemeti

değerine sahip olmakla birlikte eğme etkisi ile kolaylıkla kırılır. Kevlar ve karbon gibi yüksek mukavemetli bazı lifler ise endüstride daha özel uygulamalar için kullanılmaktadır (Heller ve Pringle, 2001).

2.1.3. Kaplamada yaygın olarak kullanılan polimerler

Çeşitli termoplastik malzemelere (polivinil klorür, polivinilden klorür, polivinil asetat, poliüretan, akrilik) ilave olarak, kauçukların neredeyse tüm türleri (doğal ve sentetik) tekstil kaplamacılığında kullanılmaktadır. Sıcak eriyik yapıştırıcı olarak kullanılabilirler ve ısı ile sıkıca birleştirilebildikleri için termoplastik malzemelerin birçok özelliği kaplama açısından yarar sağlamaktadır (Akovalı, 2012). Seçilen polimerin, uygun moleküler ağırlığı yanında gerekli mekanik özellikleri sağlamak için uygun erime sıcaklığı (T_m) ve camlaşma sıcaklığı (T_g) değerlerine sahip olması gerekir. Kaplamada yaygın kullanılan polimerler ve kullanım alanları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kaplama kimyasalları, özellikleri ve kullanım alanları (Bulut ve Sular, 2008; Fung, 2002).

Polimerler	Özellikleri	Kullanım Alanları
PVC	Çok amaçlı olması, güç tutuşurluk, iyi aşınma dayanımı, yağ ve solvent direnci, soğukta çatlama ve plastikleştirici migrasyonu riski, ısı ve yaşlanmaya karşı ortalama dayanım.	Tente, çatı örtüleri, çadır bezi, mimari uygulamalar, döşemeler, koruyucu giysiler, önlükler, pankartlar.
PVDC	Çok iyi güç tutuşurluk, çok düşük gaz geçirgenliği, yüksek parlaklık, sert ve kırılğan kaplamalar.	Güç tutuşurluk uygulamaları için akrilik polimerler ile karışım halinde (stor perde vb.)
PU	Yüksek uzama değeri, hava şartlarına ve aşınmaya karşı yüksek dayanım, güneş ışığı altında sararma eğilimi, ortalama güç tutuşurluk, oldukça pahalı.	Su geçirmez, koruyucu, nefes alabilir giysiler, can yelekleri, yapıştırıcılar, PVC tente ve deriler için vernik malzemesi.
Akrilik	İyi UV dayanımı, optik berraklık, genellikle uygun fiyatlı, düşük güç tutuşurluk özelliği.	Döşemelerin arka kaplamaları (ev ve otomotiv vb.), dokusuz yüzeyler ve cam lifleri için binder, tentelerde vernik amaçlı kullanım.
EVA	Tüm liflere yüksek adhezyon, düşük sıcaklıklarda bile esneme kabiliyeti, iyi termoplastik özellikler, nispeten uygun fiyat, solma eğilimi ve düşük yıkama dayanımı.	Halı ve döşemelik kumaşlarda arka kaplama, duvar kaplamaları ve yapıştırıcı olarak.
Poliolefinler	Asit, alkali ve kimyasallara karşı dayanım, hafiflik, uygun fiyat, düşük erime sıcaklığı, sınırlı güç tutuşurluk ve yaşlanma dayanımı.	Tenteler, çuvallar ve hacimli torbalarda.

Çizelge 2.1. Kaplama kimyasalları, özellikleri ve kullanım alanları (devam) (Bulut ve Sular, 2008; Fung, 2002).

Silikon	Kokusuz, inert, mikroorganizmalara ve kimyasallara karşı yüksek dayanım, yüksek yırtılma ve delinme mukavemeti, su iticilik, akrilik ve poliüretanla karıştırılabilir, pahalı, baskı/renglendirme ve dikim işlemlerinde zorluk.	Hava yastıkları, gıda ve medikal uygulamalar, contalar, keçeler ve paraşütler.
PTFE	Asit, alkali, kimyasal, çözücü, yağ ve oksidasyona karşı mükemmel dayanım, yapışmaz özellik, iyi elektriksel özellikler, yüksek fiyat.	Mimari uygulamalar, silindir kayışları, gıda ve medikal uygulamalar, contalar ve keçeler.
Doğal kauçuk	Mükemmel esneklik, iyi mekanik özellikler, oksidasyon ve güneş ışığına/ çözücü ve yağlara karşı ortalama dayanım, modifiye edilmemiş hali biyobozunur özelliklidir.	Halı arkalarında, lastiklerde, cankurtaran botlarında, konveyör bantlarda, koruyucu giysilerde ve kaçış tünellerinde.
SBR	Genellikle doğal kauçuğa benzer fakat aşınma dayanımı daha yüksek, mikroorganizmalara karşı yüksek dayanım, düşük yırtılma direnci ve dar ısı dayanım aralığı.	Halı arkalarında, lastiklerde vb.
Nitril kauçuk	Çok iyi yağ direnci, ısı ve güneş ışığına karşı doğal kauçuğa kıyasla yüksek dayanım, sınırlı güç tutuşur özellik.	Yağ itici giysiler, yağlı ürünler için kullanılan kayışlar, hortumlar vb.
Bütül kauçuk	Çok düşük gaz geçirgenliği, ısı, oksidasyon ve kimyasallara karşı doğal kauçuğa kıyasla daha iyi dayanım, sınırlı çözücü dayanımı, sınırlı güç tutuşurluk özelliği.	Pnömatik yaylar, asit ve kimyasallara karşı koruyucu giysiler, cankurtaran botları ve can yelekleri.
Neopren	Yağlara, kimyasallara ve oksidasyona karşı yüksek dayanım, 120°C'ye varan çalışma sıcaklığı, iyi güç tutuşurluk özelliği, genellikle uygun fiyatlı, renklendirilmesi zor olup çoğunlukla siyah renklidir.	Koruyucu giysiler, uçak döşemeleri, can yelekleri, cankurtaran botları, hava yastıkları, kayışlar.
Hypalon	Yağlara, kimyasallara ve oksidasyona karşı yüksek dayanım, genellikle Neopren ile benzer ancak 135°C'ye kadar çalışılabilir, renklendirilebilir, daha pahalıdır.	Neopren ile benzer alanlarda kullanılmakla birlikte renklendirmenin ve daha yüksek ısı dayanımının gerekli olduğu yerlerde kullanılır.
Floroelastomer	Isıya, yaşlanmaya, kimyasallara ve çözücülere karşı çok yüksek dayanım, -20 ile 200°C aralığında çalışma imkânı, yüksek fiyat, ketonlara karşı düşük dayanım.	Özel koruyucu giysiler ve yüksek performans uygulamaları.

2.1.4. Kaplamada kullanılan dolgu maddeleri

Titanyum dioksit: Titanyum dioksit günümüzde kullanılan en popüler pigment olup, toplam pigment üretiminin %70'ini oluşturur. Kimyasal olarak 1791'de tanımlanmış

olmasına rağmen, ilk ticari pigment sadece 1916'da kullanılabilir hale gelmiştir (Wypych, 2016). Kaplama uygulamaları, %57'lik bir kullanım ile en büyük titanyum dioksit tüketicisidir ve bunu plastikler (%20), kâğıt (%13), mürekkepler (%3) ve seramikler (%2) takip etmektedir. Diğer tüm uygulamalar, küresel kullanımın yalnızca %5'ini oluşturmaktadır. Pigmentlerin, renklendirmek ve opaklaştırmak üzere iki temel işlevi vardır ve renklendirme özellikleri, gelen ışığı yansıtma yeteneklerine bağlıdır. Opaklaştırma yeteneği ise kırılma indeksine ve pigment ile matrisin (binder) kırılma indeksleri arasındaki mutlak farka bağlıdır. En sık kullanılan polimerlerin kırılma indeksleri 1,45 ile 1,6 arasındadır. Beyaz tozlar, kırılma indeksleri 1,7'nin üzerindeyse pigment olarak faydalı kabul edilir. Titanyum dioksit; 2,55 (anataz) ve 2,73 (rutil) değerleri ile diğer ticari beyaz pigmentlerden daha yüksek kırılma indeksine sahiptir. Bu durum yansıtma yetenekleriyle birleştiğinde, onu en verimli pigmentlerden biri yapmıştır (Wypych, 2016; Bergado, 1994).

Pigmentlerin parlaklığı ve alt tonu, ışığı dağıtma yeteneklerine bağlıdır. Anataz ve rutil arasındaki fark da alt tonlarından kaynaklıdır. Anataz daha kısa dalga boyunu yansıtır ve mavimsi bir alt tona sahiptir. Rutil, anataz, brokit ve ilmenit farklı titanyum dioksit mineralleridir. Bunların arasında en yaygın olan rutil mineraldir ve jeolojik oluşumu yüksek sıcaklıkla ilişkilidir.

Tanecik boyutunun titanyum dioksitin hem pigment hem de ultraviyole absorblama performansı üzerinde önemli etkisi vardır. Ticari kaliteler genellikle 200-300 nm aralığında tanecik boyutlarına sahiptir. Buna ilave olarak kullanım miktarı da oldukça önemlidir. Gerekenden az kullanılması durumunda partiküller arasındaki mesafe fazla olacak ve yeterli opaklık elde edilemeyecektir. Kullanım fazla olması da parçacıkların birbirlerinin saçılma etkinliği engellemesinden kaynaklı bir karışıklığa sebep olduğundan dezavantajlı bir durumdur. Son olarak, iyi dispersiyon (dağılım) oldukça kritiktir. Çünkü pigmentler en iyi performanslarını ancak binder ile eşit olarak dağıtıldıklarında verebilirler. Titanyum dioksitin genel özelliklerine ait bilgiler Çizelge 2.2'de sunulmuştur.

Çizelge 2.2. Titanyum dioksit genel özellikleri (Wypych, 2016).

Kimyasal formül	TiO ₂
Kimyasal bileşim	TiO ₂ – %80-99,5, SiO ₂ – %0,15-10,2, Al ₂ O ₃ – %0,3-6,4, Fe ₂ O ₃ – %0,01-2, ZrO ₂ –%0,4
Eser elementler	Fe, Sn, Nb, Ta, Mg, Mn
Yoğunluk (g/cm³)	3,3-4,25 4,24 (saf rutil), 3,87 (saf anataz)
Erime sıcaklığı (°C)	1825-2090
Termal iletkenlik (W/mK)	9-13
Özgül ısı (J/gK)	0,71
Mohs sertliği	6-7 (rutil), 5-6 (anataz)
Nem içeriği (%)	0,2-1,5
Suda çözünürlük (%)	0,3-0,5
Kırılma indeksi	2,55 (anataz) - 2,73(rutil)
Renk	Beyaz, devetüyü rengi
Spesifik yüzey alanı (m²/g)	7-162
Tane biçimi	İğne uçlu veya küresel

Kalsit (kalsiyum karbonat): Kalsiyum %4,8 ile oksijen, silisyum, alüminyum ve demirden sonra yer kabuğunun en yaygın beşinci element bileşenidir. Kalsiyum karbonat tortul kayalarda oluşan en yaygın tabakadır. Kalsiyum birikintilerinin oluşum süreci, sıcaklık değişimleri, don, yağmur ve güneşin etkisiyle kara yüzeyinin aşınmasıyla başlar (Wypych, 2016). Kalsit genel olarak, kristalleşmiş kalsiyum karbonat olarak tanımlayabileceğimiz endüstriyel minerallere verilen isimdir. Çeşitli şekillerde (rombaeder, skalenöeder) kristal halde bulunan camsı parlaklıkta, renksiz saydam yapıdadır. Kolay öğütülür ve beyaz renkli bir toz elde edilir (“Kalsit”, t.y.). Çok yüksek kalsiyum karbonat konsantrasyonuna sahip kayalarda rahatlıkla bulunduğu için pratik uygulamalarda oldukça popülerdir (Wypych, 2016). Mikronize boyutlarda öğütüldükten sonra boya, kâğıt, plastik gibi birçok sektörde beyazlık, ucuzluk ve kazandırdığı özellikler nedeniyle oldukça fazla kullanılan bir dolgu maddesidir (Devlet Planlama Teşkilatı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, 2001). Malzemeye ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Kalsitin genel özellikleri (Wypych, 2016; “Calcite”, 2012).

Kimyasal formül	CaCO ₃
Kimyasal bileşim	CaCO ₃ – %85-99, SrO –%0,5, MgCO ₃ – %0,4-13, BaO, MnO, SiO ₂ , Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃
Eser elementler	As, Ba, Hg, Pb
Yoğunluk (g/cm³)	2,6-2,9
Erime sıcaklığı (°C)	1339
Kaynama sıcaklığı (°C)	2850
Termal iletkenlik (W/mK)	2,4-5,5
Mohs sertliği	3-4
Nem içeriği (%)	0,01-0,5
Suda çözünürlük (%)	0,014
Kırılma indeksi	1,48-1,7
Renk	Beyaz-gri
Spesifik yüzey alanı (m²/g)	0,9-24
Tane biçimi	Düzensiz

Pomza: Çizelge 2.4’te genel özellikleri verilen pomza, volkanik aktiviteler sonucu meydana gelmiş silikat esaslı, gözeneklerinin birbiriyle bağlantılı olmadığı amorf, camsı ve doğal bir kayadır (Köse, Pamukçu, Yalçın ve Seçer, 1997). Oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuması nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçüğe kadar sayısız gözenek içerir (“Pomza”, t.y.). Bu gözenekli yapı sayesinde hafif olmasının yanı sıra, ısı ve ses yalıtımı açısından oldukça avantajlıdır (Kilincarslan, Davraz ve Akça, 2018).

Gerek gözenekliliği (%45-90), gerekse her bir gözenegin birbirinden bağlantısız boşluklu camsı bir zarla yalıtılmış olması, ısı iletkenlik değerinin (0,08-0,20 W/mK) diğer pek çok yapı malzemesine göre düşük olmasına neden olmaktadır (Gündüz, 2001). Asidik ve bazik olmak üzere iki farklı pomza türü mevcuttur. Bazik pomza koyu kahve veya siyahımsı iken, yeryüzünde daha yaygın bulunan ve kullanılan türü olan asidik pomza kirli beyaz veya gri renktedir. İçerdiği daha yüksek silis oranı nedeni ile asidik pomzalar inşaat sektöründe yaygın bir kullanıma sahiptir (“Pomza”, t.y.).

Çizelge 2.4. Pomzanın genel özellikleri (Wypych, 2016; Gündüz, 2001)

Kimyasal bileşim	SiO ₂ –%70,9-74,2, Al ₂ O ₃ – %12,5-13,5, Fe ₂ O ₃ – %1,5-2, CaO – %0,7-1,5, MgO –%0,2-0,5, Na ₂ O – %3,2-4, K ₂ O – %3,8-4,5
Yoğunluk (g/cm³)	2,3-2,35
Nem içeriği (%)	2
Kırılma indeksi	1,5
Termal iletkenlik (W/mK)	0,08-0,20
Mohs sertliği	5,5-6
Renk	Kirli beyaz, gri
Spesifik yüzey alanı (m²/g)	0,4-0,6
Tane biçimi	Düzensiz

Perlit: Çizelge 2.5’te genel özellikleri verilen perlit, volkanik kayalarda yaygın olarak bulunan asidik bir volkanik cam mineralidir (Gürsoy ve Karaman, 2016). Çeşitli perlit kayaları renk ve yapı itibariyle birbirinden farklılık gösterebilmektedir. Ham perlitin rengi saydam açık griden parlak siyaha kadar değişebilirken, genleştiğinde renk tamamen beyazlaşır. Nitrat, sülfat, fosfor, ağır metal, radyoaktif element ve organik madde içermez. Dolayısıyla kimyasal olarak oldukça saftır. Perlit cevheri açık işletmecilik metodu ile genellikle patlatılarak yapılır. Daha sonra kırma, öğütme ve sınıflandırma işlemlerini takiben genleştirme işlemi yapılmaktadır (“Perlit”, t.y.).

Ham perlit yumuşama noktasından daha yüksek bir sıcaklığa hızlı bir şekilde ısıtıldığında, içindeki suyun buhar haline geçmesi sonucu, hacminin 4-20 katı genleşme özelliğine sahiptir ve bu sayede diğer volkanik cam minerallerinden ayrılır (Koukouzas, Dunham ve Scott, 2000; Samar ve Saxena, 2016). Bu genleşmiş ürün sahip olduğu önemli özellikler sayesinde çeşitli tıbbi, kimyasal ve tarım uygulamalarında kullanım alanı bulmuştur (de Oliveira, Jandorno Jr, da Rocha, de Sousa ve da Silva, 2019). Kimyasal olarak inert olan bu malzemenin pH değeri 7 civarındadır (Meisinger, 1979).

Düşük yoğunluk değerine ilave olarak bünyesindeki yüksek oranlı kapalı ve açık gözenek ile ses yutucu bir malzeme olarak kullanıma oldukça uygundur (Peng ve Yang, 2013; Tiber, 2011; Yilmazer ve Ozdeniz, 2005).

Çizelge 2.5. Perlitin genel özellikleri (Wypych, 2016)

Kimyasal bileşim	SiO ₂ – %71-75, Al ₂ O ₃ – %12-18, Na ₂ O – %3-4, K ₂ O – %4-5, Fe ₂ O ₃ – %0,5-1,5, MgO – %0,1-1,5
Yoğunluk (g/cm³)	1,2-2,4
Nem içeriği (%)	0,5-1
Suda çözünürlük (%)	1
Kırılma indeksi	1,5
Genleşme sıcaklığı (°C)	871
Termal iletkenlik (W/mK)	0,04-0,6
Mohs sertliği	5,5
Özgül ısı (kJ/kgK)	0,84-0,88
Renk	Kirli beyaz, beyaz
Spesifik yüzey alanı (m²/g)	1,88
Tane biçimi	Düzensiz pul

Selüloz tozu: Selüloz, toksik olmama, biyo-bozunabilirlik ve kimyasal olarak modifikasyonunun kolay olması gibi birçok değerli özelliğe sahip ve yeryüzünde çok fazla bulunan bir organik polimerdir. Bugüne kadar kâğıttan yüksek maliyetli tıbbi ve kozmetik katkı maddelerine kadar birçok ticari uygulamada kullanım alanı bulmuştur. Selüloz tozları, boyalarda dolgu maddesi ve ilaçlarda tablet oluşturucu olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda selüloz tozları, tipik olarak mikrometre boyutundadır (1-100 µm). Kuru öğütme, asit hidrolizi veya bu tekniklerin bir kombinasyonu kullanılarak üretilirler (Korpela ve Orelma, 2020).

Selüloz tozları boşluklu duvar yalıtımı uygulamalarında yalıtım sağlayan dolgu maddesi olarak kolaylıkla kullanılabilir. Diğer yalıtım malzemeleri ile benzer şekilde selülozun ısı iletim katsayısı da sıcaklık, nem ve yoğunluğa bağlı olarak büyük ölçüde değişkenlik gösterir. Örneğin, nem içeriği hacimce %0'dan %5'e yükselirse, selülozun termal iletkenliği yaklaşık %65 artar (Cuce, Cuce, Wood ve Riffat, 2014). Malzemeye ait genel özellikler Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Selüloz tozlarının (liflerinin) genel özellikleri (Cuce, Cuce, Wood ve Riffat, 2014; Wypych, 2016)

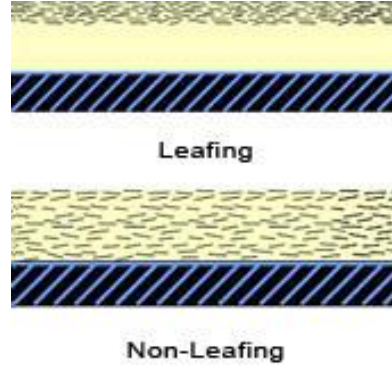
Kimyasal bileşim	Selüloz içeriği: %45-99,6
Yoğunluk (g/cm³)	1-1,1
Nem içeriği (%)	2-10
Suda çözünürlük (%)	1,5
Termal iletkenlik (W/mK)	0,046-0,054
Renk	Beyaz, gri, kahve
Lif uzunluğu (µm)	22-3028
Lif çapı (µm)	5-130
Spesifik yüzey alanı (m²/g)	1 (kuru halde), 100-200 (yaş halde)
Tane biçimi	Mikronize lifçikler*

*Tez çalışmasında kullanılan

Alüminyum: Alüminyum tozları ve pullarının üretim teknolojisi, Columbia Üniversitesi tarafından güvenli bir üretim sürecinin geliştirildiği 1930 yılına kadar uzanır. Bu yöntem bugün hala üretilen çoğu pigment için kullanılmaktadır. Üretim prensibi, bir yağlayıcı ve mineral ispiroto varlığında alüminyumun ıslak bilyeli öğütülmesi esasına dayanmaktadır (Wypych, 2016). Alüminyum külçeler eritilir ve yüksek basınç altında ince taneli bir toz halinde püskürtülür. Düze ucundan erimiş alüminyum ayırmak için kullanılan atomize edici gaza bağlı olarak iki tip toz üretilebilir. Aşırı ısıtılmış hava kullanıldığında, bunlar oksitlenip hemen soğudukça geleneksel yuvarlak, ancak düzensiz şekiller elde edilir (“Metallic Pigments-The Science of Optics”, t.y.).

Islak öğütme işlemi bir solvent taşıyıcı ve bir yağlayıcı içerirken kuru öğütme işlemi sadece bir yağlayıcı içerir. Yağlayıcının rolü, öğütme işlemi nedeniyle yüzey alanı kalıcı olarak artarken pigmentleri ayrı tutmaktır (“Metallic Ink Pigment Guide”, t.y.). Yağlayıcı alüminyum yüzeyini ıslatırken, pigment yüzeyinin polaritesini ve gerilimini de etkiler. Hem hidrofobik hem de oleofobik olan stearik asit, yüksek arayüzey gerilimine sahip bir pigment üretecek ve bağlayıcının/çözücünün pigment yüzeyini ıslatması zorlaşacaktır. Böylece, alüminyum pullar çözücü buharlaşmasından kaynaklanan konveksiyon akımlarının bir sonucu olarak yüzeye çıktığında, parlak ve gümüşü görünen, üst üste binen, yoğun bir tabaka oluşturarak yüzer halde kalacaktır. (“Metallic Pigments-The Science of Optics”, t.y.). Bu şekilde oluşan leafing formunda (Şekil 2.3), pigmentler

kaplama filminin üst yüzeyine paralel olacak şekilde yönlendiğinden herhangi bir temas veya aşınmadan daha kolay etkilenir. Bu sorunu önlemek için üzerine şeffaf bir koruyucu kaplama yapılabilir (“Aluminum Pigments for Powder Coatings”, t.y.).



Şekil 2.3. Leafing ve Non-leafing alüminyum pigment yapıları (“Metallic Pigments-The Science of Optics”, t.y.).

Non-leafing pigmentler ise öğütme işlemi sırasında oleik asit kullanımı veya leafing pigmentlerine kuvvetli polar maddeler veya ıslatma ajanlarının eklenmesiyle oluşturulur. Non-leafing pigmentler (Şekil 2.3), bağlayıcı tarafından tamamen ıslanır ve böylece film boyunca eşit olarak dağılır (“Metallic Pigments-The Science of Optics”, t.y.). Metalik etki ve yansıtma, leafing pigmentlere göre biraz daha düşüktür. Ancak sürtünme direnci ve aşınma dayanımı daha iyi olduğu için üst kaplama olarak kullanımı uygundur. Renkli metalik yüzey eldesi için sıklıkla diğer pigmentlerle birlikte kullanılmaktadır (Wypych, 2016). Pigmentin morfolojisi (parçacık boyutu dağılımı ve yüzey pürüzlülüğü) metalik pigment olarak genel performansına da katkıda bulunur (Ferguson, 2005; Wypych, 2016). Alüminyum pigmentlere ait temel fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Alüminyum pigmentlerin genel özellikleri (Wypych, 2016)

Kimyasal formül	Al
Kimyasal bileşim	Al – %95,3-99,98; okside içerik– %1-3, yağlayıcı içerik – %0,2-4
Eser elementler	Si – %0,05-0,25, Fe – %0,1-0,4%, diğerleri – 0,03-0,05%
Yoğunluk (g/cm³)	1,32-2,7
Erime sıcaklığı (°C)	660
Termal iletkenlik (W/mK)	204

Çizelge 2.7. Alüminyum pigmentlerin genel özellikleri (devam) (Wypych, 2016)

Mohs sertliği	2-2,9
Özgül ısı (kJ/gK)	0,90
Renk	Gümüş beyazı-krom rengi (leafing), metalik (non-leafing)
Spesifik yüzey alanı (m²/g)	5-35
Tane biçimi	Yassı, küresel

Bakır: Endüstriyel bir malzeme olarak bakır, plastik şekil verme yeteneğinin yüksekliği yanında elektrik ve ısı iletkenliğinin yüksekliği ile daima öne çıkan bir malzeme olmuştur. Bakır tozları atomize ve elektroliz yöntemi olmak üzere iki farklı şekilde üretilmektedir (“Toz Üretim Teknikleri”, t.y.). Dört tip bakır tozu vardır: Elektrolitik (düzensiz gözenekli parçacıklar veya daha küçük parçacıkların dendrit şekilli agregaları), pul (işlenmiş), küresel (gaz atomizasyonu ile elde edilmiş küresel parçacıklar) ve sferoid (su atomizasyonu ile elde edilmiş ince, uzun parçacıklar) (Wypych, 2016).

Bakır, elektromanyetik kalkanlama konusunda, gümüş ve nikel ile birlikte en sık kullanılan üç metal tozdan biridir (Wypych, 2016; Gong, Duan, Tian, Wu ve Zhang, 2008). Polimerik malzeme ile birleştirilen bakır, alüminyum tozları ile doldurulmuş kompozitlerin aksine, oksidasyondan fazla etkilenmez. Bu nedenle bakırın kompozitleri oldukça sabit performans gösterir (Wypych, 2016; Lin ve Vorobieva, 2001).

Toz olarak saf bakırın yanı sıra çinko ve alüminyum gibi metallerle alaşımları da kullanılmaktadır. Tekstilde özel efekt baskıları alanında, bakır alaşımları parlıtlı efektler için uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. En çok karşılaşılan bakır-çinko alaşımları olmakla birlikte, alaşımları genellikle %5-15 aralığında değişen oranlarda alüminyum veya çinko içerirler. Çinko ve alüminyum oranına bağlı olarak renk tonları çok açık altın sarısından koyu altın sarısına kadar değişmektedir. Yoğunluk, sertlik, erime sıcaklığı, kaynama sıcaklığı gibi bazı fiziksel özellikleri de alaşım oranına bağlı olarak değişim gösterir (Bronze powders, t.y.). Bakır pigmentlere ait genel özellikler Çizelge 2.8’de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Bakır pigmentlerin genel özellikleri (Wypych, 2016)

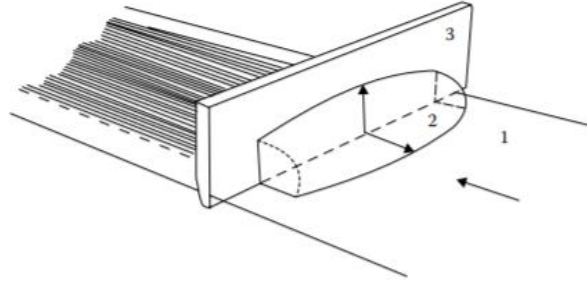
Kimyasal formül	Cu
Kimyasal bileşim	Cu – %98,5-99,9
Yoğunluk (g/cm³)	8,92
Erime sıcaklığı (°C)	1083
Kaynama sıcaklığı (°C)	2595
Termal iletkenlik (W/mh)	400-401
Elektriksel direnç (Ω-cm)	1,6x10 ⁻⁶
Mohs sertliği	2,5-3
Tane biçimi	Dendritik (dallanmış) veya küresel

2.1.5. Kaplama yöntemleri

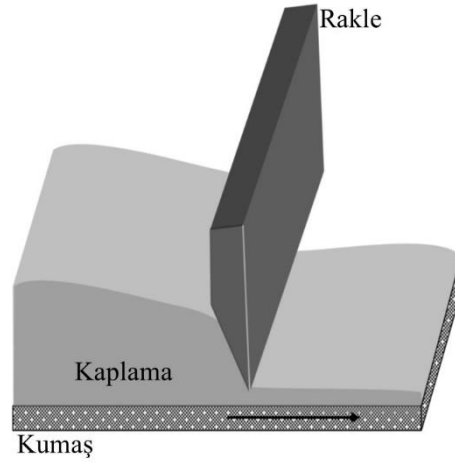
Polimerlerin tekstil yüzeylerine kaplanmasında kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemler; kullanılan (makine türüne), kaplama maddesi miktarının hangi aşamada ve nasıl ayarlandığına ve kaplama maddesinin formuna göre farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Kaplama yönteminin seçiminde dikkat edilecek faktörlerin başında; kaplanacak kumaşın özellikleri (lif cinsi, doku cinsi vb.), kaplama maddesinin formu ve akışkanın viskozitesi, kaplanmış mamulün son kullanımı ve istenen kaplama hassasiyeti ile yöntemin maliyeti gelmektedir. Temelde bu tekniklerin çoğu üç işlemi içerir: Bunlar, aktarılabilecek kaplama maddesi miktarının ayarlanması, kumaşa transferi ve son olarak da fiksajdır (Shim, 2019).

Rakleli (bıçaklı) kaplama yöntemleri:

Şekil 2.5'te genel gösterimi verilen ve yaygın olarak kullanılan bu kaplama yöntemi, kaplama maddesinin direkt olarak kumaşa uygulanıp bir bıçak yardımıyla üniform bir şekilde sürülmesi esasına dayanmaktadır. Sonradan dozajlamalı (aktarılabilecek madde miktarının sonradan ayarlandığı) bu yöntemde; kaplama maddesi, bıçağın önüne bir kepçe veya pompa yardımı ile kumaş genişliği boyunca dökülür. Kumaşın bıçağın altından geçişi sırasında, kumaşın ileri hareketi ve sabit bıçak bariyeri viskoz malzeme kütlesine bir dönme hareketi kazandırır. Şekil 2.4'te gösterilen bu yapı, bıçağın önündeki kaplama maddesi rezervuarı olarak işlev gören döner yığın (rolling bank) olarak ifade edilir.



Şekil 2.4. Rolling bank: (1) kumaş, (2) rolling bank, (3) bıçak (Sen, 2007).



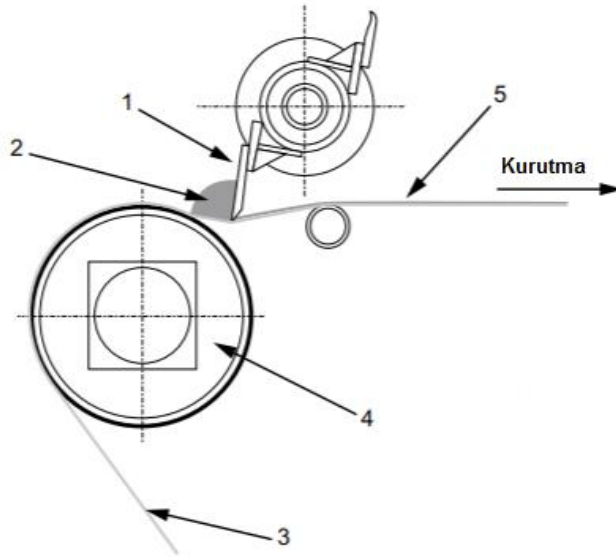
Şekil 2.5. Rakleli (bıçaklı) kaplama yöntemi genel gösterim (Shim, 2019).

Akışkanın kumaşın kenarlarına taşmasını önlemek için iki adet ayarlanabilir koruma plakası kullanılır. Uygulanan gerilimden dolayı bıçak altındaki kumaş gergin ve düzgün bir haldedir. Kaplama kalınlığı, penetrasyon ve kaplamanın arkaya geçip geçmemesi konusunda sorun yaşamamak adına kaplama maddesinin yeterli viskoziteye sahip olmasına özellikle dikkat edilmelidir. Kaplanmış kumaş devamında bir kurutucudan geçer. Çözücünün buharlaşma hızı; kumaş geçiş hızını ve buna bağlı olarak kaplama hızını belirler. Kaplama kalınlığı esasen bıçak ve kumaş arasındaki boşluğa bağlı olarak değişir.

Kaplama maddesinin tekstil yüzeyine uygulanması sırasında meydana gelen önemli bir konu da ıslanmadır ve kaplamanın penetrasyonu ve adhezyonunu belirler. Kaplama maddesi kumaş üzerine döküldüğünde önce yayılır ve yüzeyi ıslatır. Birkaç saniye aradan sonra çözücü buharlaşmaya başlar. Kaplama maddesinin kumaşa uygulanması ve

buharlaşma arasında geçen süre dengeli ıslanma suresidir. Malzemenin yayılması sırasında temas açısı sıfırdır ve ozc buharlařtıķa; bzlmeye ve temas açısında artışa neden olan bir viskozite artışı gerçekleşir. Devamında ise ozcnn hareketi durur ve bu işlem kaplamanın kontrolünü sağlar. Bıçaklı kaplama yöntemi için temelde üç farklı teknik söz konusudur. Bunlar; havada rakle, silindir/ masa üzerinde rakle ve kauçuk blanket üzerinde rakle teknikleridir (Sen, 2007).

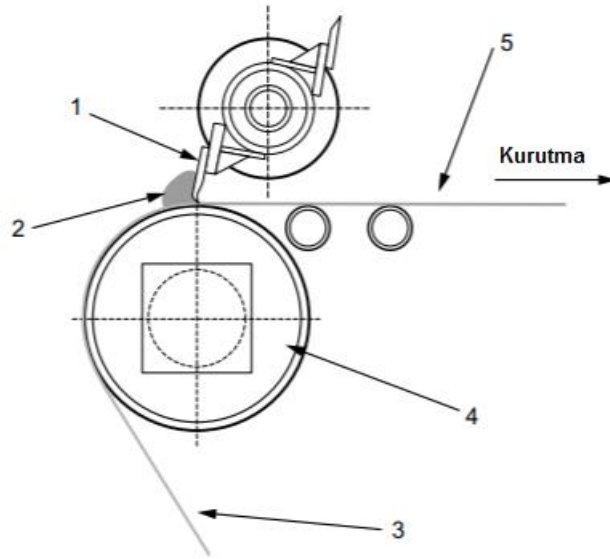
Havada rakle prensibinde (şekil 2.6), bıçak kumaşa herhangi bir desteğin olmadığı bir noktada doğrudan temas eder. Bıçağın önüne dozajlanan kaplama malzemesi doğrudan kumaş içerisine itilir. Kaplama miktarı; kaplama maddesinin katı içeriği, zemin kumaşının gerilimi, bıçağın profili, bıçağın kumaş ile yaptığı açı ve kumaşa uyguladığı basına göre değişmektedir. Aktarılan kaplama maddesi miktarı; kaplama maddesinin viskozitesi arttıķa artarken, kumaşa uygulanan gerilim arttıķa azalır (Sen, 2007). Bu tekniğin en önemli avantajı, kumaş üzerindeki bir dzgnszlğn makinenin işleyişini etkilememesidir. Havada rakle, sıcak hava balonu, anorak gibi uygulamalarda çok ince, hafif ve sızdırmaz kaplamalar için kullanılabilir bir tekniktir.



şekil 2.6. Havada rakle yöntemi: (1) bıçak/rakle, (2) kaplama maddesi, (3) kaplamasız kumaş, (4) aplikatör silindiri, (5) kaplanmış kumaş (Conway, 2016).

Silindir üzerinde rakle ise (şekil 2.7) kolaylığı ve yüksek hassasiyeti nedeniyle en önemli ve yaygın kullanılan teknik olarak nitelendirilmektedir. Bu konfigürasyonda uygun

tasarlanmış bir bıçak, yüksek hassasiyetli bir silindirin üzerine düzgün bir şekilde yerleştirilmiştir. Bu silindir, kauçuk kaplı ya da krom kaplı bir çelik silindir olabilir. Sertliği genellikle 60-90 Shore A arasında değişen kauçuk kaplı silindirlerin avantajı; kumaştan daha kalın yapılı, düğüm gibi bazı kumaş hatalarını, yüzeyleri tarafından absorblamaları ve böylece kumaşın bıçaktan rahatça geçişine izin vermeleridir. Ancak bunlar çelik silindirler kadar hassas olmayıp özellikle yaş kaplama ağırlıklarında ± 30 g/m²lik farklılıklara neden olabilirler. Bunun yanında çözücü ve plastikleştiricilerle uzun süreli temas halinde şişme dezavantajları söz konusudur. Çelik silindirler ise daha hassas kaplama imkânı sunar. Bıçağın alt kısmı ile silindir üzerinden geçen kumaş kalınlığı arasındaki boşluk kaplama miktarını belirler. Bunun yanında yüzey geometrisi ve kumaş yapısı da aktarılan madde miktarı üzerinde etkilidir. Pürüzsüz ve sık yapılı bir dokuma kumaşta aktarılan madde miktarı pürüzlü bir yüzeye göre daha düşüktür (Sen, 2007).

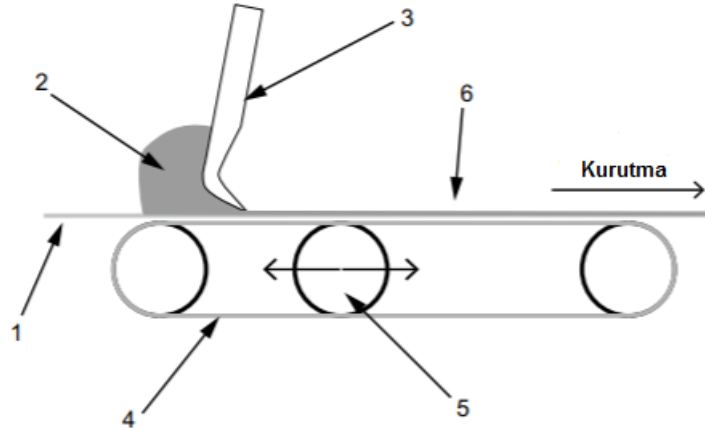


Şekil 2.7. Silindir üzerinde rakle yöntemi: (1) bıçak/rakle, (2) kaplama maddesi, (3) kaplanmamış kumaş, (4) aplikatör silindiri, (5) kaplanmış kumaş (Conway, 2016).

Bu teknik ile çok geniş bir viskozite aralığında (40.000 cP'ye kadar) çalışabilmek mümkündür. Ayrıca plastisoller gibi solventsiz bir sistem kullanarak kumaş üzerine ağır kaplamalar da yapılabilir. Bu teknik, üzerine uygulanan gerilim nedeniyle kolayca kırılmayacak, boyutsal stabiliteye sahip kumaşlar için daha uygundur. Çünkü kumaş yüzeyindeki bir hata ya da ek yeri, kumaşın bıçak altında sıkışarak kırılmasına neden

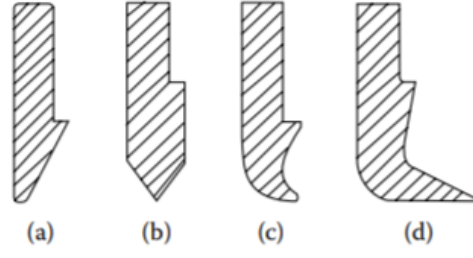
olabilmektedir. Aynı prensibe göre çalışan masa üzerinde rakle tekniğinde bıçağa destek görevi gören yapı, kumaşın üzerinde yerleştirildiği masadır.

Şekil 2.8’de gösterilen blanket üzerinde rakle tekniğinde ise kumaş, iki silindir arasında gerilmiş olan, dikişsiz sonsuz bir kauçuk blanket tarafından desteklenmektedir. (Conway, 2016; Sen, 2007.) Blankete uygulanan gerilim, bıçak ve kumaş arasında eşit bir basınç oluşturduğundan, bu konfigürasyonda kumaş gerilmeye maruz kalmaz. Boyutsal stabilitesi düşük kumaşların bu teknik ile kaplanması mümkündür (Sen, 2007). Blanket gerilimi ayarı genellikle, blanketin orta hizasına yerleştirilmiş yatay bir silindir ile sağlanır (Conway, 2016). Kaplama miktarı da ayarlanan bu gerilim miktarına bağlı olarak değişir. Blanket yüzeyinin hasar görmemesi veya herhangi bir yabancı cisim yapışmaması konusuna dikkat edilmelidir. Aksi takdirde bu durum, aktarılan kaplama miktarında düzensizliğe neden olacaktır (Sen, 2007).



Şekil 2.8. Blanket üzerinde rakle yöntemi: (1) kaplamasız kumaş, (2) kaplama maddesi, (3) bıçak/rakle, (4) tahrikli döner blanket, (5) ayarlanabilir pozisyon silindiri, (6) kaplanmış kumaş (Conway, 2016).

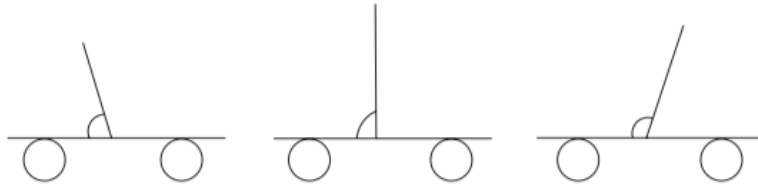
Kaplama bıçağının profili ve konumlanması, kaplamanın ağırlığını ve penetrasyonunu etkileyen önemli parametrelerdendir. Ticari olarak çok sayıda bıçak (rakle) profili kullanılmakla birlikte yaygın olanlar Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Rakle (bıçak) profilleri: (a) keskin uçlu rakle (b) V tipi rakle (c) yuvarlak uçlu rakle (d) pabuç tipli rakle (Sen, 2007).

Keskin uçlu rakle genellikle hafif kaplamalar elde etmek için kullanılır. Bıçak ucunun kalınlığı 0,5 ile 4 mm arasında değişebilir. Bıçağın ucu ne kadar keskin olursa kaplama ağırlığı da o kadar düşük olacaktır (Sen, 2007).

Her iki tarafı da yivli olan V tipi profil ile kaplama sırasında, kaplama malzemesine önemli ölçüde baskı yapan ve kumaşın açıklıklarına malzemenin daha çok nüfuz etmesine neden olan bir etki elde edilir. Bu profil tipi, iyi mekanik adhezyon için yüksek derecede penetrasyonun gerekli olduğu durumlarda kullanılır. Yuvarlak uçlu rakle profili kumaş içine çok az penetrasyon ile yüksek kaplama ağırlıkları verir ve kolayca hasar gören kumaşlar için uygundur. Pabuç tipli raklenin ön kısmı düz veya yuvarlak formda olabilir. Uç genişliği 2 ile 30 mm arasında değişebilir. Bıçak ve silindir arasındaki açı değiştirilerek bıçak topuğunun ve kumaşın yüksekliği değiştirilebilir. Kumaş ve bıçağın topuk kısmı arasında bir kaplama bileşeni kaması (wedge) oluşturulur. Yükseklik arttıkça iki kısım arasında oluşan malzeme miktarı artacak bu da daha fazla penetrasyona neden olacaktır (Sen, 2007). Şekil 2.10 'da farklı rakle açıları görülmektedir. Aktarılan madde miktarı bıçak açısı değiştirilerek ayarlanabilir. Bıçağın kumaşın hareket yönüne göre açısı genişledikçe aktarılan madde miktarı daha düşük olacaktır.

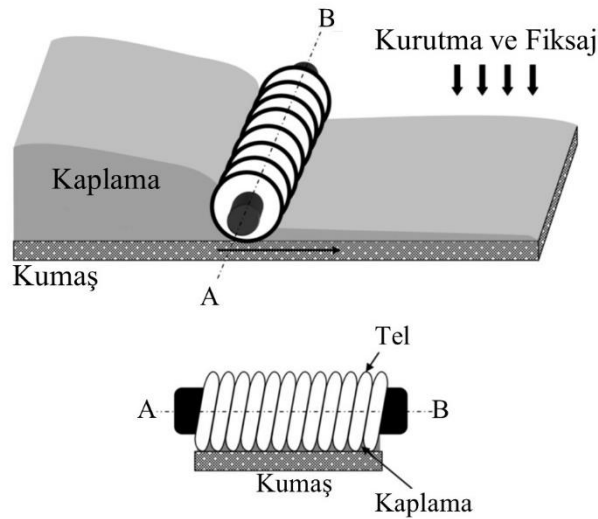


Şekil 2.10. Farklı rakle açıları genel gösterim (Fung, 2002).

Silindirik kaplama yöntemleri:

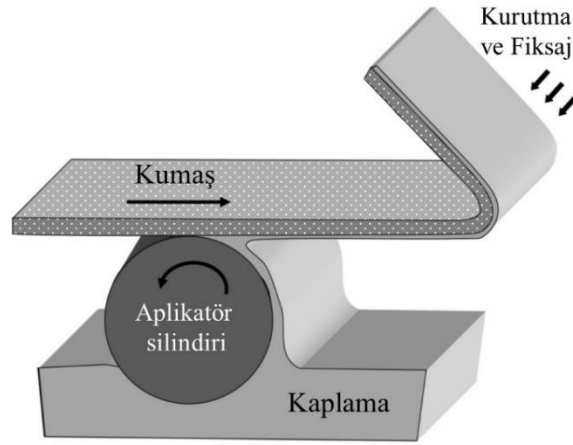
En bilinen silindirik kaplama yöntemlerinden biri Şekil 2.11’de gösterilen “Mayer çubuklu kaplama” yöntemidir. Kaplama maddesi zemin kumaş üzerine bir aplikatör silindiri yardımıyla aktarılır. Kumaştaki kaplama maddesinin fazlası, kumaşın geçiş yönünün tersine hareket eden Mayer çubuğu (mili) yardımı ile uzaklaştırılır. Bu açıdan da sonradan dozajlamalı yöntemlere örnektir (Sen, 2007).

Mayer çubuğu, paslanmaz çelik tellerle sıkıca sarılmış paslanmaz çelik bir silindirden oluşur (Shim, 2013). Çubuğun tel bobinleri arasındaki olukların kesit alanı, içinden geçen kaplama malzemelerinin miktarını ve dolayısıyla ıslak kaplama kalınlığını doğrudan belirler. Büyük çaplı tellerle sarılmış çubukların kullanılması kalın bir kaplama oluştururken, ince telli çubuklar ince bir kaplama katmanı oluşturur (MacLeod, 2001; Shim, 2013). Bu yöntemin tek sınırlaması, kaplama katmanı üzerinde tel yapısından dolayı meydana gelen çizgili görünümdür. Bunlar nihayetinde sıvı yüzey gerilimi ile düzleşir ancak bu hemen gerçekleşmez ve kaplama malzemesi yüzeyi kurumadan düzleştirilemezse pürüzsüz bir kaplama yüzeyi elde edilemez. Bu durum yüksek viskoziteli patlarda biraz daha riskli olacağından Mayer çubuklu kaplama yöntemi daha çok düşük katı madde içerikli, düşük viskoziteli (50-500 cP) ve hafif kaplamalar (2-3 g/m²) için kullanılır (Sen, 2007; Shim, 2013).



Şekil 2.11. Mayer çubuklu kaplama yöntemi (Shim, 2013).

Silindirli kaplama yöntemlerinden bir diğeri “Sürme (aktarma) silindirleri ile kaplama” yöntemidir (Şekil 2.12). En basit şekli ile bu sistem, kaplama maddesini içeren tekne içerisinde dönen bir silindirden oluşmaktadır (Sen, 2007). Aplikatör silindirinin yarısı kaplama çözeltilisine daldırılmış, üst kısmı ise kumaş ile temas halindedir. Silindir döndükçe, kaplama çözeltilisi silindir yüzeyinde bir film oluşturur ve bu filmin bir kısmı silindirden kumaşa aktarılır. Silindirin dönüş hızı, kumaşın geçiş hızı, kaplama çözeltilisinin reolojik özellikleri (yüzey gerilimi, viskozite ve yoğunluk) kaplama kalınlığını belirleyen faktörlerdir (Wright, 1981). Bu sistemdeki tek silindir hem uygulama hem de aktarılan madde miktarını belirleme açısından kontrol görevi görür. Bu nedenle sisteme silindir ilavesi yapılarak daha hassas ve kontrollü bir proses akışı sağlanabilir (Shim, 2013).

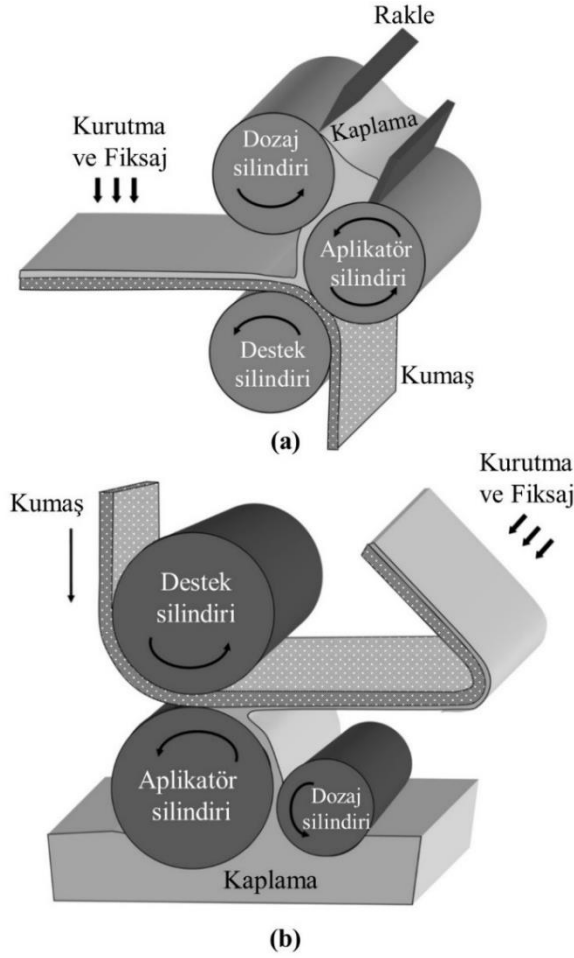


Şekil 2.12. Sürme (aktarma) silindirleriyle kaplama yöntemi (Shim, 2013).

Şekil 2.13’te iki farklı formu gösterilen “Ters silindirli kaplama” oldukça farklı konstrüksiyonlarda üretilen ve çok amaçlı kullanım imkanı sunan önemli bir silindirli kaplama yöntemidir (Sen, 2007). Bu sistemler temelde, aplikatör, dozaj ve destek olmak üzere üç silindirden oluşmaktadır (Shim, 2013). Aplikatör ve dozaj silindirleri birbirine göre ters yönde dönerken, kaplama patını kumaşa aktaran aplikatör silindiri ile kumaş da birbirine göre zıt yönde hareket etmektedir (Sen, 2007).

Yüksek kaplama hassasiyeti, çok geniş viskozite aralığında ve kaplama gramajlarında çalışılabilme imkanı nedeniyle oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Önceden dozajlamalı sistemler olduğundan homojen kalınlıkta ve tekrarlanabilir kaplamalar elde

etmek mümkündür. Kaplama işlemi kumaşın geriliminden bağımsız olduğu gibi, kumaşın kalınlığında meydana gelen değişimlerden de etkilenmemektedir (Fung, 2002; Sen, 2007).



Şekil 2.13. Ters silindirli kaplama yöntemi: (a) teknesiz, (b) tekneli konfigürasyon (Shim, 2013).

Aplikatör ve dozaj silindirleri özel dökme demirden veya paslanmaz çelikten çok hassas yüzey işlemeyle yapılan silindirlerdir. Bu iki silindir arasında kalan alan kaplama maddesi ile doludur ve bir rezarvuar görevi görür (Sen, 2007; Shim, 2013). Aplikatör silindiri kaplama maddesini bu bölgeden alır ve çözeltinin kumaşa aktarılan miktarı, aplikatör silindirine ters yönde dönen dozajlama silindiri ile ayarlanır (Shim, 2013). Kauçuk kaplı alt destek silindiri, kumaşın aplikatör silindiri ile temasını sağlar. Aplikatör silindirinin üzerinde kaplama çizgisine doğru taşınan kaplama maddesi, aplikatör silindirinin ters yönünde hareket eden kumaşa transfer edilir. Aplikatör silindiri ile

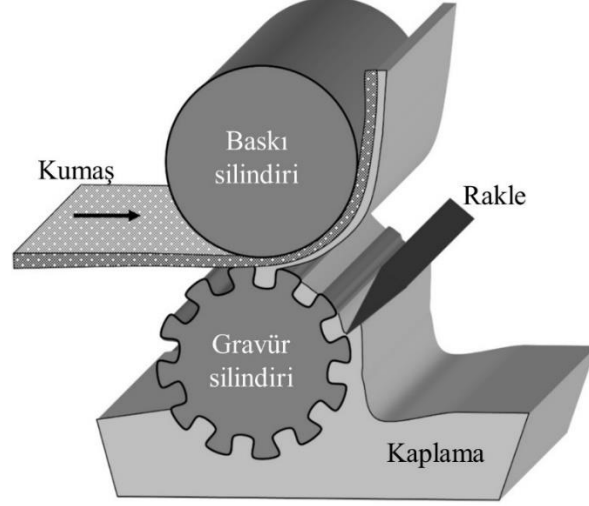
kumaşın ters yönde hareket etmesi yüksek seviyede bir kesme etkisi meydana getirir (Sen, 2007).

Dozaj silindiri yüzeyinde kalan kaplama çözeltileri bir rakle ile temizlenir, aksi takdirde çizgiler veya film pürüzlülüğü gibi kaplama kusurlarına neden olabilir (Shim, 2013). Bu sistemlerde kumaş üzerine yapılan kaplamanın kalınlığı; aplikatör ve dozaj silindirleri arasındaki boşluk, aplikatör silindirinin dönüş hızı, destek silindirinin aplikatör silindirine uyguladığı basınç ayarlanarak kontrol edilir. Teknesiz konfigürasyonda karşılaşılan zorluklardan biri; özellikle düşük viskoziteli çözeltilerle çalışıldığında, kaplama rezervuarından sızıntıları önleyebilmektir. Bu durumda düşük viskoziteli malzemeler için aynı prensibe göre çalışan tekneli kaplama sistemlerini tercih etmek daha uygun olacaktır (Sen, 2007).

“Gravür kaplama” yönteminde ise pürüzsüz silindirik yüzeyler yerine, kaplama çözeltilerini taşıması amacıyla çeşitli geometrik şekillerde oyulmuş gravür silindirleri kullanılır. Gravür kaplama, zemin kumaş üzerine aktarılacak madde miktarının hassas kontrolü için avantajlı bir yöntemdir. Kaplamanın yoğunluğu, silindir üzerine oyulan desen ve bu desenin inceliği ile kontrol edilir (Shim, 2013; Sen,2007). Piramit, dörtgen ve helisel olmak üzere birkaç standart desen modeli mevcuttur. Daha hafif gramajlı bir kaplama için piramit desen kullanımı uygundur. Aktarılan kaplama maddesi miktarını belirleyen en önemli parametreler desenin yüzey alanı, gözenek açıklığı, gözenek derinliği, gözenek hacmi ve gözenek açılarıdır (Robinson ve Marrick, 2006). Diğer parametreler ise, kaplama maddesi viskozitesi, kumaşa uygulanan basınç değeri, kumaşın cinsi ve yapısıdır (Shim, 2013).

İki silindirli bir gravür kaplama sisteminde (Şekil 2.14) gravür silindiri kaplama haznesi içinde dönerken, gravürler kaplama malzemesi ile dolar. Silindir üzerine alınan kaplama maddesinin fazlası bir rakle yardımıyla sıyrılır ve sadece oyuk bölgelerinde kalan kaplama maddesi, üstteki baskı silindirinin etkisiyle kumaşa kaplanır (Sen, 2007; Hewson, Kapur ve Gaskell ,2006; Grant, 1981). Kaplama yüzeyindeki noktalı görünüm, kaplama patının viskozitesine bağlı olarak kendi kendine düzelebileceği gibi, ihtiyaç

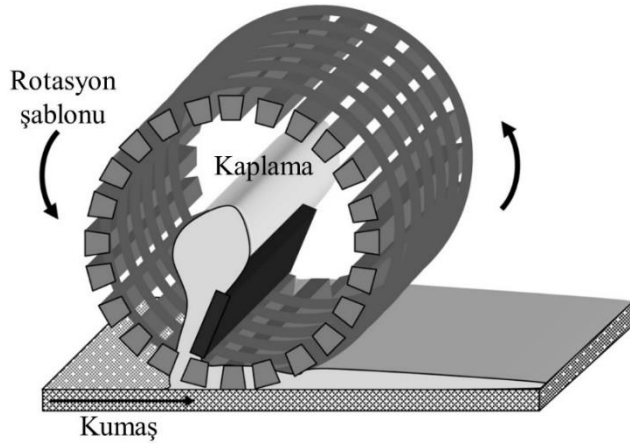
durumunda, çıkış bölümüne ilave edilebilecek düzgünleştirme silindirleri de kullanılabilir (Sen, 2007).



Şekil 2.14. İki silindirli gravür kaplama yöntemi (Shim, 2013).

Döner şablon ile kaplama yöntemi:

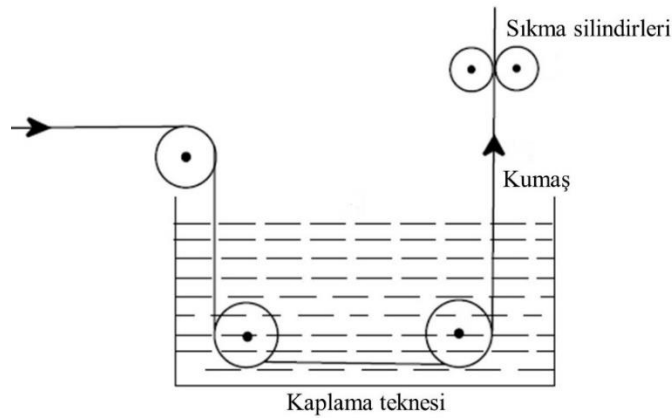
Silindirli kaplama metotlarından bir diğeri olan “Döner şablon ile kaplama” son derece esnek bir uygulama yöntemidir. Solvent ve su bazlı kaplamalar yanında plastisol (PVC) uygulamaları da aynı sistemde yapılabilmekte; kaplama maddesi köpük, pat veya nokta kaplama formunda uygulanabilmektedir (Horrocks, 2000). Bu yöntemde kaplama için çok sayıda perfore edilmiş gözenek içeren silindirik nikel şablonlar kullanılmaktadır. Kaplama maddesi, şablon merkezine beslenir ve bir rakle yardımıyla gözeneklerden kumaşa doğru itilir (Sen, 2007). Uygulanan kaplama miktarı; şablonun birim alanındaki gözenek sayısı, sıkma basıncı, rakle ve şablon arasındaki açı ve kaplama patının viskozitesi ile belirlenir. Zemin kumaşa uygulanan sürtünme veya gerilim çok az olduğu için hassas ve düşük gramajlı kumaş yapıları için kullanımı uygun bir yöntemdir (Goossens, 2001).



Şekil 2.15. Döner şablon ile kaplama yöntemi (Shim, 2013).

Daldırma tekniği ile kaplama:

Şekil 2.16'da genel prensibi verilen daldırma tekniği, en basit ve temel kaplama uygulamalarından biridir. Zemin kumaşı, belli bir süre boyunca kaplama tankına daldırılır ve çözeltiyi üzerine alır. Kumaş sıkma silindirlere geçerken, kaplama malzemesinin fazlası uzaklaştırılır ve kurutma-kondenzasyon adımı ile işlem tamamlanır (Sen, 2007). Kumaşa aktarılan kaplama miktarı ve penetrasyon derecesi; kumaş yapısı, kaplama çözeltisinin reolojisi, çözeltinin ve kumaşın ıslatma ve ıslanma eğilimleri ile belirlenir (Kistler ve Schweizer, 1997). Kumaş gerilim altında olmadığından, ipliklerde herhangi bir hasar veya deformasyon gözlenmez. Esas olarak güç tutuşurluk, su iticilik gibi bitim işlemleri uygulamalarında kullanılan bir tekniktir (Sen, 2007).

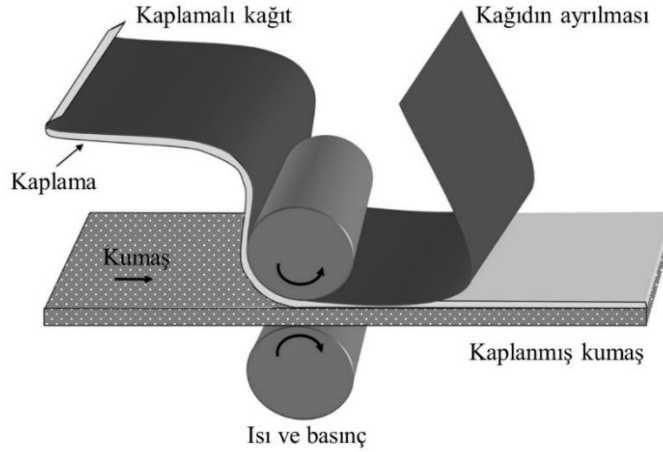


Şekil 2.16. Daldırma tekniği ile kaplama (Sen, 2007).

Transfer kaplama yöntemi:

Hassas zemin kumaşları ile çalışırken kaplamanın doğrudan yüzeye uygulanması, işlemde gerekli olan gerilimlerin kumaşı deforme etme riski taşıması sebebiyle risklidir. Buna ek olarak, çok açık yapıya sahip bir zemin kumaşa kaplama patının aşırı nüfuz etmesini önlemek de zordur. Kaplama maddesinin önce rakle donatımı yardımıyla bir taşıyıcıya (silikonlu kâğıt veya çelik bant) uygulandığı ve daha sonra zemin kumaşa aktarıldığı sıralı bir işlem olan transfer kaplama ile bu sorun çözülmüştür (Fung, 2002; Scott, 1995).

Şekil 2.17’de gösterildiği gibi üzerinde kaplama maddesi bulunan silikon kâğıt ve kumaş, ısı ve basınç altında laminasyon silindirlerinden geçer. Kaplamanın tekstil mamulüne adhezyonu, taşıyıcıya olan adhezyonundan daha yüksek olduğundan, bu işlem sırasında kaplama kumaşa geçer. Sonrasında soğutulmuş kumaş ve taşıyıcı kâğıt birbirinden ayrılır (Sen, 2007; Shim,2013). Bazı durumlarda taşıyıcı kâğıt tekrar kullanılmak üzere saklanabilir, ancak her bir kullanımda özelliğinde deformasyon meydana gelebileceğinden yüksek kalite ürünlerde tek seferlik kullanım tercih edilmektedir (Fung, 2002).

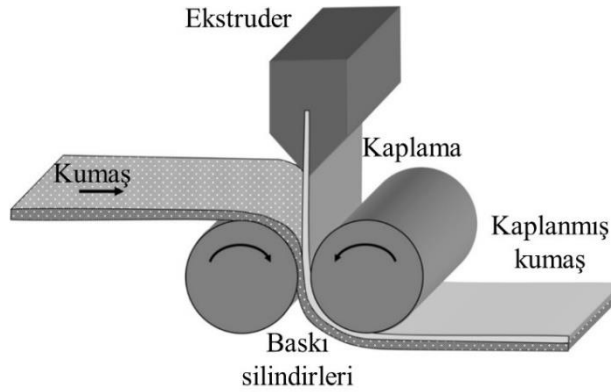


Şekil 2.17. Transfer kaplama yöntemi (Shim, 2013).

Ekstrüzyon kaplama yöntemi:

Sıcak eriyik kaplama yöntemlerinden biri olan bu teknikte, termoplastik polimer, bir ekstruder içinde kaplama için gereken sıcaklıkta eriyik haline getirilir. Bu eriyik yassı bir kalıp yolu ile dikey şekilde akıp, silindirler arasından geçerek kumaş üzerine akıtılır (Şekil 2.18). Silindirlerden biri krom kaplı soğutucu silindir (su soğutmalı), diğeri ise yüksek sıcaklığa dayanıklı, kauçuk kaplı yumuşak destek silindiridir.

Sıcak olan kaplama filmi, soğuk silindir ile kauçuk silindir arasından geçirilirken kumaş üzerine kaplanır (Sen, 2007). Zemin kumaşı ile eriyik arasındaki adhezyonu etkileyen parametreler; kaplama malzemesi ve zemin kumaşının uyumluluğu, silindir basıncı, kaplama filminin kalınlığı, kumaş yapısı, kaplama hızı, silindir sıcaklıkları ve polimerin ekstrüzyon sıcaklığıdır (Mamish, 1990). Yöntemin en büyük dezavantajı farklı polimerle çalışmaya geçiş için uzun zaman gerektirmesidir ve bu durum endüstriyel kullanımını sınırlamaktadır (Sen, 2007).



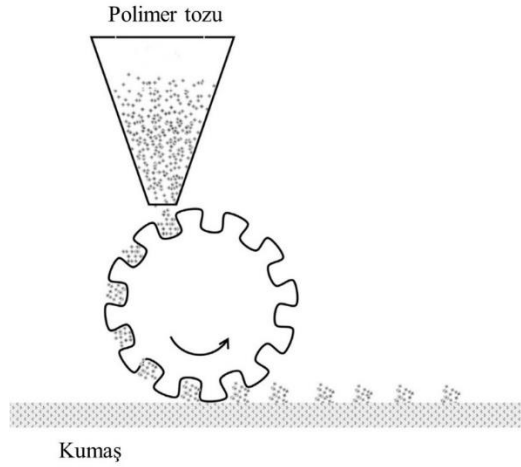
Şekil 2.18. Ekstrüzyon kaplama yöntemi (Shim, 2013).

Toz serpmeye yöntemi:

Sıcak eriyik kaplama tekniklerinden bir diğeri olan ve Şekil 2.19’da genel gösterimi verilen toz serpmeye yöntemi; toz ya da granül halindeki polimerin, özel bir besleme hunisi yardımı ile kaplanacak kumaşın üzerine homojen bir şekilde yayılması esasına dayanır. Tozun zemin kumaşa aktarılmasını takiben, termoplastik malzemeyi eritmek için infrared

ısıtıcılı bir sistemde ısıtma gerçekleştirilir. Kaplama miktarı, polimer besleme oranına ve kumaş geçiş hızına bağlıdır. Telalar, halı arka kaplaması (özellikle otomotiv endüstrisinde) ve laminasyon için kullanılabilen bir yöntemdir.

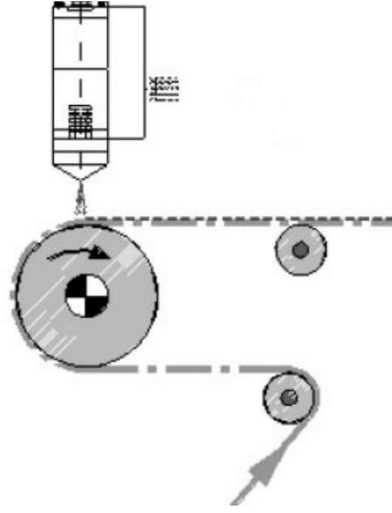
Bu yöntem aynı zamanda laminasyona da uygundur. Üretilen lamine yüzeyler esnekliklerini ve gözenekliliklerini korurlar (Sen, 2007). Solvent kullanımı olmaması, su kullanımı olmadığı için kurutmaya ihtiyaç duymaması gibi özellikleriyle çevreci olmasının yanı sıra partiküllerin yüksek bir yüzey alanına sahip olması nedeniyle elde edilen kaplamalar da benzersiz özelliklere sahiptir. Minimum penetrasyon ile zengin kaplamalar elde edilebilmektedir (Shim, 2013; Waelde, 2001).



Şekil 2.19. Toz serpmeye tekniği ile kaplama (Shim, 2019).

Püskürtme kaplama yöntemi:

Başlıca püskürtme kaplama teknikleri; basınçlı hava buharlaştırma, havasız basınçlı püskürtme, sıcak alev püskürtme, sıcak buhar tahrikli püskürtme, elektrostatik püskürtme ve kuru toz reçine püskürtmedir (Licari, 2003; Waelde, 2001). Ancak en yaygın yöntem basınçlı hava buharlaştırmadır (Glawe, Reuscher, Koppe ve Kolbusch, 2003). Şekil 2.20'de gösterildiği gibi kumaş boyunca sıralanmış düzelerden hava ve kaplama çözeltisi kumaş üzerine püskürtülerek kaplama işlemi gerçekleştirilir. Zemin kumaş üzerinde minimum gerilime neden olan yöntemlerden biri olsa da çok geniş bir tekstil materyali üzerinde tek tip bir kaplama elde etmek zor ve pahalıdır (Woodruff, 1997).



Şekil 2.20. Püskürtme kaplama yöntemi (Glawe, Reuscher, Koppe ve Kolbusch, 2003).

2.1.6. Tekstilde kaplama uygulamaları ile ilgili güncel çalışmalar

Onar, Aksit, Sen ve Mutlu (2011) pamuklu kumaş üzerine daldırma ve sol-jel prosesleri ile kaplama işlemleri gerçekleştirerek, antimikrobiyal, kendi kendini temizleme özelliği olan ve UV koruyucu yapılar geliştirmeyi amaçlamışlardır. Antimikrobiyal doping ajanı olarak bir kuaterner amonyum tuzu ve gümüş tuzları, silika ile veya silika olmadan titanya sollarına gömülmüş, kaplanmış kumaşların *Staphylococcus aureus*'a (*S. aureus*) karşı antimikrobiyal özellikleri karakterize edilmiştir. Numunelerin performans özellikleri üzerinde öncüllerin, katkı maddelerinin ve farklı sol-jel işlemlerinin etkisi de karşılaştırılmıştır. Kuaterner amonyum içeren reçetelerle muamele edilen kumaş numunelerinin bakteri azaltma değerleri, gümüş içeren reçetelerle muamele edilenlere göre daha düşüktür. UVA bölgesinde 315-400 nm arasında en düşük geçirgenlik değerine sahip olan numuneler, solvotermal yöntemle gümüş ve silika katkılı titanya solları ile işlem görenler olmuştur. Yıkama dayanıklılığı ile birlikte en iyi antimikrobiyal ve UV koruma özellikleri, gümüş katkılı titanya uygulanmış kumaşlar ile elde edilmiştir.

Shateri-Khalilabad ve Yazdanshenas (2013) grafen kaplı pamuklu tekstillerin iletkenliğini arttırmak için tasarım parametrelerini araştırmışlardır. Grafen oksit (GO), geleneksel bir "daldırma ve kurutma" yöntemiyle pamuklu kumaş üzerine aktarılmıştır. Kaplamalı kumaşlar daha sonra grafen oksiti grafene dönüştüren sulu bir indirgeyici ajan çözeltisine daldırılmıştır. İndirgeyici maddenin türü (NaBH_4 , N_2H_4 , $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ve

NaOH) ve konsantrasyonu, indirgeme süresi ve kaplama işlemi sayısı gibi çeşitli parametrelerin kumaşların iletkenliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, en iyi iletkenlik ve mekanik performansın indirgeyici ajan olarak $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ kullanılarak elde edildiğini göstermiştir. 95°C ' de 30 dakikalık reaksiyon süresi, grafen oksitin tamamen indirgenmesi için yeterli olmuştur. Kaplama işleminin sayısı 1'den 20 döngüye çıktığında elektriksel iletkenlik yaklaşık üç kat artmıştır.

Govaert ve Vanneste (2014) farklı konsantrasyonlarda karbon nano tüpler (CNT) ile örme ve dokuma, pamuk ve polyester zemin kumaşlarına farklı teknikler (bıçaklı kaplama, transfer kaplama ve şablon baskı) ile kaplama işlemi gerçekleştirmişlerdir. %1'den %15'e kadar devam eden 15 farklı kaplama formülasyonu ile çalışılmıştır. Binder olarak su bazlı poliakrilat dispersiyonları kullanılmıştır. Kaplamaların elektriksel iletkenlik değerleri artan CNT konsantrasyonu ile artış göstermiştir. Ağırlıkça %3 CNT'den başlayarak elektriksel olarak iletken (elektriksel direnç $< 10^3$ Ohm/sq) kabul edilebilecek kaplamalar elde edilmiştir. Kaplama içindeki karbon nanotüp parçacıklarının dağılım derecesi, taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. CNT parçacıkları, kaplamalarda petek yapılı ağlar oluşturarak yüksek derecede dispersiyon sağlamış, parçacıkların bu petek yapısının, kaplamada düşük direnç değerlerine yol açan iletken bir ağ oluşturduğu gözlemlenmiştir.

Lin ve diğerleri (2016) polyester iplikleri polipropilen (PP) ve çok duvarlı karbon nano tüpler (MWCNT) ile kaplamak için ekstrüzyon yöntemi kullanmışlardır. Elde edilen PP/MWCNT kaplı polyester iplikler, gerilme özellikleri, işlenebilirlik, morfoloji, erime ve kristalleşme davranışları, elektrik iletkenliği ve uygulamaları açısından test edilmiştir. Test sonuçları, PP/MWCNT ile kaplanmış ipliklerin çekme mukavemetinin, PP/MWCNT eriyiklerindeki MWCNT'lerin çoğunun aynı yönde düzenlenmesine neden olan çekme kuvveti nedeniyle arttığını göstermektedir. MWCNT oranındaki artış elektriksel iletkenlik değerlerinde de artışa neden olmuştur. Ağırlıkça %8 MWCNT kullanımı, PP'nin 18°C daha yüksek kristalleşme sıcaklığı vermesi ve 0,8862 S/cm elektriksel iletkenlik değeri ile sonuçlanmıştır. Çalışmada elde edilen ipliklerin bir mekikli dokuma tezgâhı ya da yuvarlak örme makinesinde kullanımının mümkün olduğu, böylece çok çeşitli uygulama alanlarında kullanılabileceği belirtilmiştir.

Xue, Zhang, Wei ve Jia (2016), alev geciktirici ve süperhidrofobik bir kaplamayı, dallı poli(etilenimin), poliakrilat sabunsuz lateks ve amonyum polifosfatın çökeltmesini içeren geleneksel bir emdirme, kurutma ve fiksaj yöntemiyle pamuklu tekstillere uygulamışlardır. Numunelerin, 156,4 derecelik bir statik su temas açısı ve %24,86'lık bir LOI sergilediği görülmüştür. Kaplanmış kumaşlar, kendi kendini temizleme etkisi ile süper hidrofobiklik göstermiş ve lifler, alevle yanma testinde bir kömür tabakası oluşturarak kumaşlara kendi kendini söndürme özelliği kazandırmıştır. Pamuklu tekstilin yüzeyinde hazırlanan iki bileşenli kaplamanın ortaya çıkan fonksiyonel özellikleri, fosfor ve APP içeren monomerlerden gelen polimerlerin sinerjik alev geciktirici etkilerini göstermiştir. Kaplanmış tekstillerin süper hidrofobik özelliğinin yıkamaya karşı dirençli olduğu ifade edilmiştir.

Ali ve diğerleri (2018) indirgeyici madde olarak sodyum hidrosülfid kullanılarak bakır parçacıklarının in-situ depozisyonu yöntemi ile elektriksel olarak iletken, çok işlevli ve dayanıklı pamuklu kumaşların eldesini amaçlamışlardır. Pamuklu kumaşın önce bakır sülfat ardından sodyum hidrosülfid solüsyonlarına daldırılması ile kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında kumaş numunesi 100°C'de 3 dakika kurutulmuştur. Daldırma ve kurutma prosedürü 50, 100 ve 150 döngü için gerçekleştirilmiştir. Kumaşın çözelti içinde kalma süresi, her daldırmada yaklaşık 30 saniyedir. Daldırma sayısı arttıkça elde edilen elektromanyetik kalkanlama etkinliğinin de arttığı görülmüş, 600 MHz-1,5 GHz aralığında 13 dB kalkanlama etkinlik değeri elde edilmiştir. İlave olarak *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* bakterileri ile gerçekleştirilen testlerde, daldırma sayısı arttıkça, inhibisyon bölgelerinin sırasıyla 9,5'tan 15,5 mm'ye ve 7,5'ten 12 mm'ye arttığı tespit edilmiştir.

Manasoglu, Celen, Kanik ve Ulcay (2019), elektriksel ve termal iletken tekstil yüzeyleri elde etmek için polyester zemin kumaş üzerine, nano-grafen kaplama işlemi gerçekleştirmişlerdir. 50, 100 ve 200 g/kg olmak üzere üç farklı grafen konsantrasyonu çalışılmış, kaplamalar silindir üstü rakle yöntemi ile uygulanmıştır. Artan grafen konsantrasyonu ile elektriksel direnç değerleri azalmış, termal iletkenlik katsayısı ise artmıştır. Referans kumaşta $2.61 \times 10^9 \Omega/\text{sq}$ olan direnç değeri, maksimum grafen konsantrasyonunda $2.53 \times 10^4 \Omega/\text{sq}$ 'e düşmüştür. En yüksek termal iletkenlik katsayısı

değeri de 0,4243 W/mK olarak 200 g/k grafen konsantrasyonunda elde edilmiştir. Öne çıkan bir diğer sonuç ise aşındırma testleri sonucunda, 100.000 devir sonrasında dahi önemli bir ağırlık kaybı oluşmamasıdır.

Ruiz- Calleja ve diğerleri (2021) bıçaklı kaplama yöntemi ile polyester dokuma kumaş üzerine farklı grafen konsantrasyonunda kaplamalar yapmışlardır. İki farklı atkı ipliği ile üretilmiş üç tip saten dokuma kumaş ele alınarak, kumaş yapısı ile elektriksel direnç performansı arasında ilişki olup olmadığı incelenmiştir. 12, 18 ve 24 g/kg grafen konsantrasyonu ve 0,5'ten 1,5 mm'ye kadar 0,125 mm artışlarla farklı kaplama kalınlıkları denenmiştir. Atkı ipliği numarası arttıkça kumaş yüzeyi daha düzensiz hale gelmiş, daha kalın atkı iplikleri ile ince çözümlü iplikleri arasında daha geniş yükseklik farklılıkları oluşmuştur. Bunun da dokuma modellerinde kaplama direnci üzerinde orta derecede bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Beklenildiği şekilde, patın grafen konsantrasyonu arttıkça kaplamaların elektriksel iletkenlik değerleri de artmıştır. Belirli bir grafen konsantrasyonunun sağlayabileceği maksimum iletkenlik değerine ulaşıldığında, daha yüksek kaplama kalınlıklarına çıkılarak daha fazla kaplama patı aktarılsa da bu durum elektriksel direncin değişimine önemli oranda yansımamaktadır. Örgü deseninin yapısındaki değişimin iletkenlikte de değişiklikler meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Kesişim noktalarının daha çok olduğu dokuma kumaş yapılarında iplik yüzmelerinin daha az olduğu ve bunun da diğerlerine göre daha düzgün bir yüzey sağlayarak daha yüksek elektriksel direnç değerleri verdiği belirtilmiştir. Tepeler ve vadiler arasında daha az yükseklik farkı olduğunda, bu yüksekliğin daha büyük olduğu yapılara göre kaplamanın daha iyi sürekliliğe sahip olduğu görülmüştür.

Tav, Öz ve Akyıldız (2021) termal ve mekanik özellikleri geliştirmek amacı ile pamuk, poliamid 6.6 ve polietilen teraftalat olmak üzere üç farklı kumaş üzerine sol-jel metodu ile silika kaplama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Silika sol süspansiyonları tetraetil ortosilikatın hidrolizi ile elde edilmiş, bağlayıcı olarak ise polivinil alkol kullanılmıştır. Kaplama çözeltisindeki her bir bileşenin farklı alt tabakalar üzerindeki etkileri araştırılmış, numuneler, kaplamaların yapısını ve performans ilişkisini anlamak için SEM, FTIR, TGA ve çekme testi kullanılarak karakterize edilmiştir. Genel olarak kaplama işlemlerinden sonra liflerin mekanik performansının iyileştiği, en yüksek

gelişmenin ise liflerin sürekli yapısına ve kaplama ile zemin tabaka arasındaki kimyasal etkileşimlerin doğasına bağlı olarak poliamid 6.6 numunesinde elde edildiği belirtilmiştir. TGA analizine göre kaplama sonrasında, polimerlerin ısıl bozunma davranışlarının çok değişmediği ancak kalıntı miktarlarında, kaplama türüne göre farklılıklar olduğu tespit edilmiştir.

Jagadeshvaran, Panwar, Ramakrishnan ve Bose (2021), demir titanat (FT) ve çok duvarlı karbon nanotüplere (CNT) dayalı bir kaplama uygulaması ile hem ultraviyole hem de elektromanyetik girişime (EMI) karşı kalkanlama etkisi elde etmeye çalışmışlardır. FT parçacıkları ilmenitten asitle parçalama işlemi ile sentezlenmiştir. Sentezlenen partiküllerin ve CNT'nin kaplamaları termoplastik poliüretan (TPU) içinde hazırlanmış ve kumaş üzerine daldırma tekniği kullanılarak kaplanmıştır. Nanoparçacıkların doğru kombinasyonunun hem mikrodalgalara hem de ultraviyoleye karşı koruduğu ve ayrıca kumaşın iletkenlik, termal kararlılık ve yüzey ıslanabilirliği açısından diğer özelliklerini iyileştirdiği bulunmuştur. Kumaşların termal stabilitesi, %3,5'lik bir LOI artışı ile işlemsiz kumaşa kıyasla önemli ölçüde iyileşmiştir. Kaplama, bileşenlerin hidrofobik doğasına ve kaplamadan kaynaklanan pürüzlülüğe bağlı olarak kumaş yüzeyi hidrofobik olmuştur. Doğru oranlarda FT ve CNT içeren bir kaplamanın, 200-400 nm dalga boyu aralığında gelen UV radyasyonunun %99,9'unu bloke ettiği belirtilmiştir. FT-CNT kaplı kumaşların, dört katmandan oluşan bir yığın için, 30 dB'lik bir EMI koruma etkinliği gösterdiği ve bunun da EM sinyallerinde %99,9'luk bir zayıflama anlamına geldiği belirtilmiştir.

2.2. Binalarda Isı Yalıtımı

Birçok ülkede olduğu gibi, ülkemizde de binalarda enerji tüketimi, toplumun birincil enerji kullanımının oldukça önemli bir kısmını temsil etmektedir. Hızlı kentleşme göz önüne alındığında bu oranların artması da muhtemeldir. Binalarda kullanılan enerjinin büyük bir kısmının ısıtma ve soğutma amaçlı tüketilmesi sebebi ile tasarruf çalışmalarının en önemli bölümünü de ısı enerjisi tasarrufu oluşturmaktadır. Yalıtım; malzeme üretiminden, uygulanmasına kadar titizlik, hassaslık, çok yönlü detay çalışmasını gerektiren ve birçok bilim dalını ilgilendiren bir sistem bütünü olup bir yapı fiziği koludur

(Akıncı, 2007). Yapı bileşenleri üzerinden farklı sıcaklıktaki iki ortam arasındaki ısı transferini azaltmak için yapılan işleme ise “ısı yalıtımı” denir. Isı yalıtım çalışmaları; enerji tasarrufunun yanı sıra, hava kirliliğini azaltmak, konforlu yaşam alanları sunmak, azalan zararlı gaz miktarına bağlı olarak insan ve çevre sağlığını korumak ve yapıları dış etkilerden koruyarak uzun ömürlü olmalarını sağlamak gibi pek çok farklı açıdan önemli ve gereklidir. Binalarda ısı yalıtımı; duvar, döşeme, çatı, pencere ve ısı köprüleri gibi elemanlardan ısı geçişlerini yavaşlatmak ve yapının sağlığını korumak amacıyla yapılmaktadır.

2.2.1. Binalarda ısı kazanç ve kayıplar

Yapılarda termal konfor şartlarını sağlayabilmek için, aşağıda belirtilen kayıp ve kazançların dengede tutulması gerekmektedir.

- Isıtma sisteminden elde edilen faydalı ısı,
- Elektrik ışıklarından, fırından, su ısıtıcılardan, bulaşık makinesi ve buzdolabı gibi motorlu ev makinelerinden dağılan ısı,
- Kullanıcıların yaydığı ısı,
- Pencere yüzeylerinden yayılan ısı,
- Duvar yüzeylerinden yayılan ısı (dış yüzeyden ışınlama emilim, iç yüzeye iletim ve taşınım yoluyla gerçekleşen ısı akımı),
- Havalandırma yoluyla kapı ve pencere altındaki boşluklardan, açık camlardan, anahtar deliklerinden ve bacalardan kaybedilen ısı,
- Çatıdan taşınım yoluyla kaybedilen ısı,
- Döşemeden taşınım yoluyla kaybedilen ısı,
- Duvarlardan iletim yoluyla kaybedilen ısı,
- Pencerelerden iletim ve ışınlama kaybedilen ısı,
- Sıcak suyun drenajıyla kaybedilen ısı,
- Mekândaki suyun buharlaşmasıyla ve dışarıya kaçmasıyla kaybedilen ısı

Binalarda şeffaf bileşenler olarak isimlendirilen pencereler, yüzeye gelen güneş ışınımının %80’inden fazlasını iç ortama taşıırken, yüksek ısı geçirgenlik değerlerine sahip olmaları sebebiyle yapının ısı konfor açısından en zayıf noktalarından biri olarak

değerlendirilirler (Ülker, 2009). Farklı kaynaklarda değişkenlik göstermekle birlikte; pencerelerden gerçekleşen kayıplar, binalardaki ısı kayıplarının yaklaşık %15-30'unu oluşturmaktadır. Bu önemli pay sebebiyle, bir binanın pencerelerinin ısı yalıtım performansı, enerji tasarrufu kabiliyetinde önemli bir rol oynayacaktır.

Bir binada hava sızdırmazlığının sağlandığı, doğal havalandırmanın hesaplamalar dışında tutulduğu koşullarda, pencere bileşenlerinin ısı performansını, ısı kayıp ve kazanç mekanizmaları belirlemektedir. Isıl performans düzeyi, iç-dış ortam sıcaklıkları, alınan güneş ışınımı miktarı, iç-dış ortam iklim koşulları, camlı sistemi oluşturan opak ve şeffaf bileşenlerin termofiziksel, optik ve sızdırmazlık vb. özelliklerine bağlı olarak değişmektedir (Ayçam ve Utkutuğ, 1999).

Pencerenin ısı açıdan net enerji performansına ait değerler, şeffaf ve opak bileşenlerin güneşten ısı kazançlarının, iç-dış ortam arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanan kondüksiyon, konveksiyon ve ışıma (radyasyon) yolları sonucu gerçekleşen ısı transferinin birlikte hesaplanması ile elde edilmektedir (Ayçam ve Utkutuğ, 1999). Pencere yalıtımında iyi bir performans için çerçeve, pencere, cam, perde, panjur veya güneşlik beraber düşünülmelidir.

2.2.2. Isı transfer mekanizmaları

Isı transferi hayatın bir parçasıdır ve yaşamın devam etmesi için son derece önemlidir. Bir ortamda ya da ortamlar arasında bir sıcaklık farkı mevcutsa burada ısı geçişi (transferi) olacaktır (Kılıç ve Yiğit, 2008). Enerjinin ısı olarak transferi, her zaman yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama doğrudur ve iki ortam aynı sıcaklığa eriştiğinde ısı transferi durur. Isı; iletim (kondüksiyon), taşınım (konveksiyon) ve ışıma (radyasyon) olmak üzere üç farklı yolla aktarılabilir (Çengel ve Ghajar, 2015).

İletim: Bir katı ya da durgun akışkan ortamında, bir sıcaklık gradyanı (farkı) mevcut ise bu ortamdaki ısı geçişini tanımlamak için iletim (kondüksiyon) terimi kullanılır. Isı transferinin bu modu, atomik ya da moleküler seviyedeki aktiviteler ile ilişkilidir. Bir maddenin partikülleri arasındaki ilişki esnasında daha fazla enerjiye sahip partiküllerden

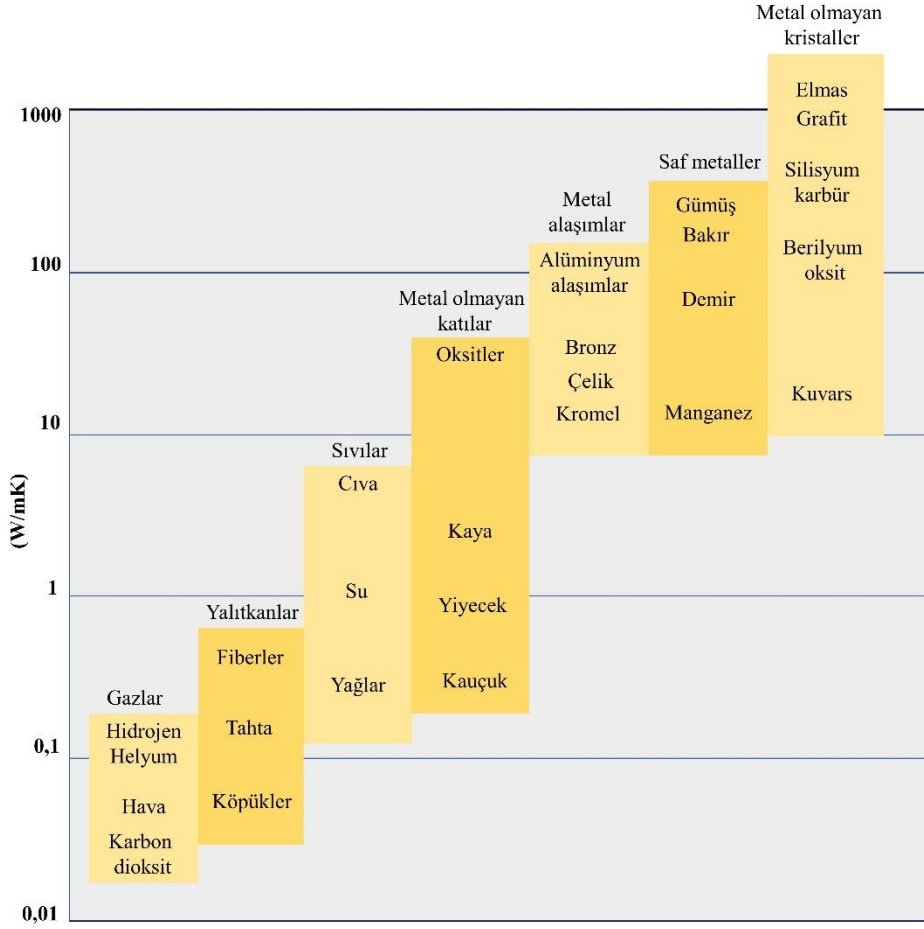
daha az enerjiye sahip partiküllere enerji transferi olarak ifade edilebilir (Kılıç ve Yiğit, 2008). Gazlarda ve sıvılarda iletim, moleküllerin gelişigüzel hareketleri sırasında çarpışmaları ve yayılmaları sebebiyle olur. Katılarda ise iletim, kafeslerdeki moleküllerin titreşimleri ve bunun yanında serbest elektronlarla enerji aktarımı sonucu olur.

Bir ortamda ısı iletiminin hızı, ortam boyunca sıcaklık farkına olduğu kadar ortamın geometrisine, kalınlığına ve malzemesine de bağlıdır. Bir sıcak su tankının cam yünü (yalıtım malzemesi) ile sarılmasıyla tanktan ısı kayıp hızının azalacağı bilinmektedir. Yalıtım ne kadar kalın olursa ısı kaybı o kadar az olur. Yine bilinmektedir ki, sıcak su tankının bulunduğu mekânın sıcaklığı düşürüldüğünde, tank daha yüksek hızla ısı kaybeder. Daha ileri olarak, tank ne kadar büyük olursa, daha büyük yüzey alanı ve dolayısıyla daha büyük ısı kaybı olur. \dot{Q} ısı transfer hızı, duvar boyunca ΔT sıcaklık farkı veya ısı transferine dik A alanı iki katına çıkarıldığında iki kat artar; L duvar kalınlığı iki katına çıkarıldığında ise yarıya düşer. Böylelikle, bir levhada ısı transfer hızının, tabaka boyunca sıcaklık farkı ve ısı transferi alanı ile doğru, tabakanın kalınlığıyla ters orantılı olduğu sonucuna varılır (Çengel ve Ghajar, 2015). Isı iletimi temel olarak Fourier Isı iletimi Kanunu (2.3) ile ifade edilir.

$$\dot{Q}_{iletim} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (W) \quad (2.3)$$

Denklemden; k , ısı iletim katsayısını (W/mK), A ise malzemenin alanını (m^2) ifade eder (Kılıç ve Yiğit, 2008).

Bir malzemenin ısı iletkenliği, o malzemenin birim kalınlığından, birim alan ve birim sıcaklık farkı başına olan ısı transfer hızı olarak tanımlanabilir. Bir malzemenin ısı iletkenliği ısıyı iletme kabiliyetinin ölçüsüdür. Şekil 2.21’de oda sıcaklığında çeşitli malzemelerin ısı iletkenlikleri verilmiştir.



Şekil 2.21. Oda sıcaklığında çeşitli malzemelerin ısı iletkenlik aralıkları (Çengel ve Ghajar, 2015'ten değiştirilerek alınmıştır).

Taşınım: Bir yüzey ile hareketli bir akışkan arasında sıcaklık gradyanı söz konusu ise bu iki ortam arasındaki ısı geçişi modunu tanımlamak için taşınım (konveksiyon) terimi kullanılır. Taşınım ile ısı geçişi rastgele moleküler hareket ve akışkanın kitlesel ya da yığın hareketi olmak üzere iki mekanizmadan oluşur. Akışkan hareketi ne kadar hızlı olursa taşınım ile ısı transferi o kadar büyük olur. Yığın akışkan hareketinin ortadan kalkması halinde, katı yüzeyle bitişindeki akışkan arasındaki ısı transferi saf iletim ile gerçekleşir (Çengel ve Ghajar, 2015; Kılıç ve Yiğit, 2008).

Eğer akışkan, yüzeyin üzerinden fan, pompa veya rüzgâr vasıtasıyla akmaya zorlanıyorsa, taşınım zorlanmış taşınım denir. Aksine, eğer akışkan hareketi -akışkan içerisinde sıcaklık değişiminin ortaya çıkardığı yoğunluk farklarının doğurduğu- kaldırma kuvveti sebebiyle oluyorsa, taşınım doğal (serbest) taşınım denir (Çengel ve Ghajar, 2015).

Birim zamandaki taşınım ile ısı transferini hesaplayabilmek için akışkanlar mekaniği, ısı iletimi ve sınır tabaka teorilerini bilmek gerekmektedir. Bu kompleks durum tek bir parametre üzerine indirgenip işlemler yapılabilir. Taşınım ile transfer edilen ısı sıcaklık farkı ile orantılı olduğu bulunmuştur. Bu durumda, bir orantı sabiti tanımlanarak denklem 2.4 elde edilmiştir.

$$\dot{Q}_{\text{taşınım}} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (\text{W}) \quad (2.4)$$

Bu ifade Newton'un Soğuma Kanunu olarak bilinir. Denklemde; h , ortalama ısı taşınım katsayısı ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$), A_s , taşınımın olduğu yüzeyin alanı, T_s yüzey sıcaklığı (K) ve T_∞ ise yüzeyden yeteri kadar uzaklıkta akışkan sıcaklığı (K) olarak ifade edilmiştir (Çengel ve Ghajar, 2015; Kılıç ve Yiğit, 2008). Taşınım katsayısı h , akışkanın bir özelliği değildir. Bu katsayı, deneysel olarak bulunan ve değeri yüzey geometrisine, akışkan hareketinin tabiatına, akışkanın özelliklerine ve yığın hızına bağlı bir parametredir (Çengel ve Ghajar, 2015).

Işınım: Işınım, atom ve moleküllerin elektronik düzenlerdeki değişmelerin sonucunda maddeden elektromanyetik dalgalar (veya fotonlar) şeklinde yayılan enerjidir. Gerçekte, ışınım ile ısı transferi en hızlı (ışık hızında) olanıdır ve boşlukta yavaşlamaz. Güneş enerjisinin yeryüzüne ulaşma şekli budur (Çengel ve Ghajar, 2015). İletim ve taşınımın aksine, ışınım ile ısı transferi için bir ortam gerekliliği bulunmamaktadır (Kılıç ve Yiğit, 2008). Elektromanyetik ışınım, X ışınları, gama ışınları, görülebilen ışık spektrumu, radyo dalgaları gibi yaygın olarak bilinen dalga boyu aralıklarını da kapsayan geniş bir spektruma sahiptir. Işıma olayı ışığın vakum içindeki hızıyla gerçekleşir. Mutlak sıfır sıcaklığının üzerinde sonlu sıcaklığa sahip bütün maddeler, çevrelerinden bağımsız olarak, ışınım ile enerji yayarlar. Net ısı transferi ise sıcak bölgeden soğuk bölgeye gerçekleşir. Dolayısıyla ortamdaki izafi olarak soğuk cisim, yaptığı ışımadan daha fazla enerji yutar (Kılıç ve Yiğit, 2008).

Işınım hacimsel bir olaydır; bütün katılar, sıvılar ve gazlar, ışınımı değişen seviyelerde yayar, soğurur veya geçirirler. Bununla birlikte, metal, ağaç ve kayalar gibi ısı ışınımına karşı geçirgen olmayan malzemelerin iç bölgelerinden yayılan ışınım asla yüzeye

ulaşamadığı ve bu tür cisimlerde genellikle yüzeyin birkaç mikron içerisinde soğurulduğu için, böylesi katılar için ışınım genellikle bir yüzey olayı olarak göz önüne alınır (Çengel ve Ghajar, 2015). T_s termodinamik sıcaklığına sahip bir yüzeyden birim zamanda yayılabilecek maksimum ışınım miktarı Stefan-Boltzman kanunu (2.5) ile belirlenir.

$$\dot{Q}_{yayilan,maks} = \sigma A_s T_s^4 \quad (W) \quad (2.5)$$

Burada; T_s yüzeyin mutlak sıcaklığı (K), σ , Stefan-Boltzman sabiti ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$) A_s , yüzey alanı (m^2) olarak ifade edilmiştir. Maksimum yayınım gücüne sahip böyle bir yüzey ideal ışığıcı veya siyah cisim olarak adlandırılmaktadır. Bütün gerçek yüzeylerden yayılan ışınım, aynı sıcaklıktaki siyah cisim tarafından yayılan ışınımdan daha azdır denklem 2.6 ile ifade edilebilir.

$$\dot{Q}_{yayilan} = \varepsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (W) \quad (2.6)$$

ε , yüzeyin ışınım yayma özelliği olan (emissivity) yayınım katsayısıdır. Bu değer; $0 \leq \varepsilon \leq 1$ aralığında değişir ve yüzeyin siyah cisme nazaran enerji yayma etkinliğini göstermektedir. Siyah cisim için ise ε değeri 1'dir. Yayınım oranı değerleri yüzeyin yapısına, büyük oranda, bağlıdır (Çengel ve Ghajar, 2015; Kılıç ve Yiğit, 2008).

Bir yüzeyin diğer önemli özelliği, yüzeye gelen ışınım enerjisinin soğurulma oranı olan soğurganlıktır. Işıma kaynağına bakmadan, yüzeyin birim alanında, birim zamanda absorbe edilen ışınım enerjisi, yüzeyin yutma ya da soğurma oranının (α) bilinmesi ile hesaplanabilir. Yüzeyin yapısına bağlı olarak yutma katsayısı değeri; $0 \leq \alpha \leq 1$ aralığındadır. Bir siyah cisim üzerine gelen ışınımın tamamını soğurur. Bu nedenle, mükemmel bir yayıcı olduğu kadar mükemmel bir soğurgandır ($\alpha=1$) (Çengel ve Ghajar, 2015). Yutma katsayısı, α , yüzeyin yapısına bağlı olduğu kadar, yüzey üzerine düşen ışınımın karakteristiğine de bağlıdır (Kılıç ve Yiğit, 2008).

Genel olarak bir yüzeyin ε ve α değerleri, sıcaklığa ve ışınımın dalga boyuna bağlıdır. Kirchoff ışınım kanunu, verilen bir sıcaklık ve ışınım dalga boyu için bir yüzeyin

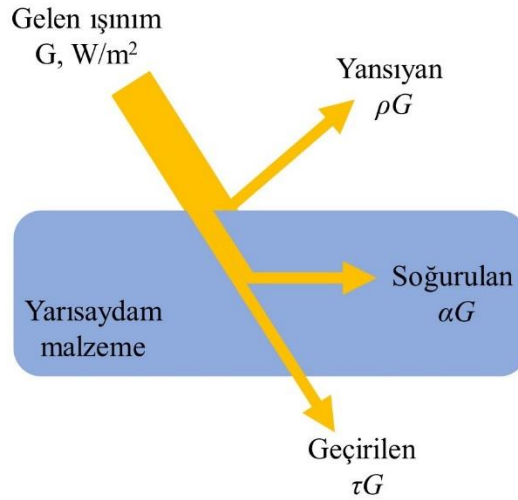
yayılcılığı ile soğurganlığının eşit olduğunu ifade eder. Bir yüzeyin ışınım soğurma hızı denklem 2.7 ile ifade edilebilir.

$$\dot{Q}_{soğrulan} = \alpha \dot{Q}_{gelen} \quad (W) \quad (2.7)$$

\dot{Q}_{gelen} yüzeye gelen ışınımı, α ise yüzeyin soğurganlığını gösterir. Geçirgen olmayan yüzeylere gelen ışınımın yüzey tarafından soğrulmayan kısmı geri yansıtılır. Bir cismin yaydığı ve soğurduğu ışınım arasındaki fark net ışınım ısı transferi olarak ifade edilir. Soğrulan ışınım miktarı yayılandan büyükse yüzey ışınım ile enerji kazanıyor, tersi durumda yüzey ışınım ile enerji kaybediyor demektir. Denklem 2.8'de yayıcılığı ε , yüzey alanı A_s ve sıcaklığı T_s olan bir yüzey, $T_{çevre}$ sıcaklığında çok geniş bir yüzeye tamamen çevrelenmiş ve aralarında ışınım ile etkileşmeyen hava gibi bir gaz olduğu zaman, bu iki yüzey arasında net ışınım ısı transfer hızı verilmiştir.

$$\dot{Q}_{ışınım} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{çevre}^4) \quad (W) \quad (2.8)$$

Işınım bir yüzeye düştüğünde Şekil 2.22'de görüldüğü gibi bir kısmı soğrulur, bir kısmı yansıtılır ve eğer varsa kalan kısmı geçirilir.



Şekil 2.22. Gelen ışınımın yarısaydam bir malzeme tarafından soğurulması, yansıtılması ve geçirilmesi (Çengel ve Ghajar, 2015'ten değiştirilerek alınmıştır).

Gelen ışınının yüzey tarafından soğrulan kesrine *soğurganlık* (α), yüzeyin yansıttığı kesrine *yansıtıcılık* (ρ) ve geçirdiği kesrine *geçirgenlik* (τ) denir. Bu değerler, yüzeye gelen ışınım G ile gösterildiğinde, 2.9-2.11 denklemleri ile ifade edilir.

$$\alpha = \frac{\text{Soğrulan ışınım}}{\text{Gelen ışınım}} = \frac{G_{abs}}{G} \quad (2.9)$$

$$\rho = \frac{\text{Yansıtılan ışınım}}{\text{Gelen ışınım}} = \frac{G_{ref}}{G} \quad (2.10)$$

$$\tau = \frac{\text{Geçirilen ışınım}}{\text{Gelen ışınım}} = \frac{G_{tr}}{G} \quad (2.11)$$

Termodinamiğin birinci kanunu, soğrulan, yansıtılan ve geçirilen ışınımların toplamının gelen ışınımına eşit olmasını gerektirir (Denklem 2.12).

$$G_{abs} + G_{ref} + G_{tr} = G \quad (2.12)$$

Her bir terim G 'ye bölünürse 2.13 eşitliği elde edilir.

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (2.13)$$

Çoğu katı ve sıvılar gibi opak yüzeyler için $\tau=0$ 'dır (Denklem 2.14).

$$\alpha + \rho = 1 \quad (2.14)$$

Çoğu gazlar için ise yansıtıcılık yoktur ve $\rho=0$ 'dır ve Denklem 2.15'e indirgenir.

$$\alpha + \tau = 1 \quad (2.15)$$

2.2.3. Enerji tasarrufu için termal yalıtım kaplamaları

Etkin ve ekonomik ısı yalıtım malzemelerinin geliştirilmesi, enerji tasarrufu ve emisyon azaltımı için acil ihtiyaçları karşılamanın anahtarıdır. Isı yalıtım malzemelerinin çeşitliliği karşısında, ısı yalıtım kaplaması, yüksek performansı, ekonomik oluşu, kullanım kolaylığı ve çok çeşitli yüzeylere uyarlanabilirliği nedeniyle giderek daha popüler hale gelmektedir. Kaplama sistemindeki ısı yalıtım fonksiyonel dolgu maddeleri ile filmler, ısıyı yansıtarak, yayarak veya yalıtarak belirli bir ısı yalıtım etkisi gösterebilir. Sonuç olarak, ısı yalıtım kaplamaları ile nesnenin yüzey sıcaklığı büyük ölçüde düşürülebilmektedir (Ye ve Chen, 2018).

Temelde kaplamalar reçineler, fonksiyonel dolgu maddeleri, katkı maddeleri, pigmentler ve çözücülerden oluşur. Diğer kaplamalarla karşılaştırıldığında, ısı yalıtım kaplamalarının en önemli özelliği, kullanılan fonksiyonel dolgu maddelerinin mükemmel ısı yalıtım performansına sahip malzemeler olmasıdır. Halihazırda, farklı yüzeyler için uygun, farklı reçinelerden oluşan çok sayıda kaplama ürünü bulunmaktadır. Yani teoride, sadece farklı reçine ve dolgu maddelerinin kombinasyonu ile duvarlar, çatılar, kapılar ve hatta pencereler için uygun çeşitli ısı yalıtım kaplamaları elde etmek mümkündür. Bu açıdan bakıldığında, istenen bir ısı yalıtım performansını elde etmek için en önemli konu, uygun dolgu maddelerinin seçimidir (Ye ve Chen, 2018).

Isı transferi yukarıda bahsedildiği gibi genellikle ısı iletimi, ısı taşınımı ve ısı radyasyonunun bir kombinasyonudur. Buna dayalı olarak, engelleyici, yansıtıcı ve radyan olmak üzere üç farklı ısı yalıtım formu ifade edilebilir. Bu formlara karşılık gelen dolgu maddeleri ile ısı yalıtım kaplamaları da engelleyici, yansıtıcı, radyan ve kompozit ısı yalıtım kaplamaları olarak dört farklı türe ayrılabilir (Bao, Kang, Ma ve Liu, 2017).

Engelleyici ısı yalıtım kaplaması: Belirli dolgu maddeleri ile ısı transferine direnç oluşturan bir kaplama türüdür. Ancak yukarıda da bahsedildiği gibi kaplamalar, dolgu maddelerinin yanı sıra pigmentler, çözücüler, çeşitli katkıları gibi farklı malzemeler de içermektedir. Bu nedenle, yalnızca dolgu maddelerinin değil, aynı zamanda diğer malzemelerin de termal iletkenliği kaplamanın ısı dayanımı için çok önemlidir.

Engelleyici bir termal yalıtım kaplaması üretmek için düşük termal iletkenliğe sahip pigmentler, katkı maddeleri ve film oluşturan polimerler, seçilir. Ancak mükemmel bir ısı yalıtım performansı elde etmenin anahtarı, çok düşük ısı iletkenliğe sahip dolgu maddelerinin kullanımı olacaktır. Böylelikle kaplama filminin düşük termal iletkenlik, yüksek termal direnç özelliği göstermesi sağlanır. Fonksiyonel dolgu maddelerinin ısı iletim katsayıları 0,065 W/mK'den düşüktür. Yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemeleri; inorganik silikat bazlı malzemeler, asbest lifleri, genişletilmiş perlit, kapalı hücreli perlit, sepiyolit vb. gibi içi boş bir yapıya sahip malzemelerdir. Bu malzemelerdeki sıkıca paketlenmiş içi boş parçacıklar, ısıya karşı bariyer olan ve “termal köprüyü” bloke eden bir gaz tabakası oluşturmaktadır (Ye ve Chen, 2018).

Yansıtıcı ısı yalıtım kaplaması: Solar enerjiyi absorblamaktan ziyade yansıtabilen kaplamalardır. Teorik olarak, herhangi bir malzeme güneş enerjisini az ya da çok yansıtabilir. Solar radyasyon enerji dalga boyu 200-2500 nm aralığında yoğunlaşmış olmakla birlikte, bunun yaklaşık %50'si görünür spektrum (400-720 nm) ve %43'ü yakın kızılötesi spektrumda (720-2500 nm) dağılmaktadır. 400-2500 nm aralığında daha yüksek yansıtma, daha iyi termal yalıtım özelliği anlamına geldiğinden; dolgu maddeleri seçiminde başlıca prensip, dolgu maddesinin görünür ve yakın kızılötesi spektrumda yüksek yansıtma değeri vermesidir (Ye ve Chen, 2018). Araştırmalar, bu dolgu maddelerinin, geleneksel ısı yalıtım malzemeleriyle karşılaştırıldığında, filmin ısı yalıtım performansını açıkça iyileştirebileceğini göstermektedir (Santamouris, Synnefa ve Karlessi, 2011).

Dolgu maddeleri, görünür bölgedeki seçimli yansıtma ve absorblans davranışlarına bağlı olarak belirli bir renk gösterir. Örneğin beyaz, dolgu maddesinin 400-720 nm arasındaki tüm görünür spektrumu neredeyse tamamen yansıttığı anlamına gelirken, siyah ise tamamen absorbladığı anlamına gelir. Bu sebeple beyaz, kızılötesi yansıtıcı dolgu maddeleri için en avantajlı renktir (Ye ve Chen, 2018).

Yansıtıcı ısı yalıtım kaplamalarında performansı geliştirmek amacı ile metaller, metal oksitler, içi boş cam küreler, seramik küreler, uçucu kil ve yansıtma özelliği yüksek çeşitli malzemeler fonksiyonel dolgu maddeleri olarak seçilebilir. Kaplama filminin yalıtım

performansında, dolgu maddesinin sadece renginin değil yapısının da etkisi vardır. Örneğin, nanokristal yapıya sahip metal oksit dolgu maddeleri, daha iyi yakın kızılötesi yansıtıcılığa sahiptir ve böylece sıradan metal oksitlere göre daha iyi ısı yalıtım performansı sağlarlar (Liu ve diğerleri, 2018; Qui, Xiang ve Zhang, 2017; Revel ve diğerleri, 2013). Yansıtıcı ısı yalıtım kaplama sistemlerinde, yansıma esas olarak filmin yüzeyinde meydana geldiğinden, daha kalın filmlerin her zaman daha iyi ısı yalıtım performansı vermesine dair bir genelleme yapılamaz. Bu açıdan durum, engelleyici ısı yalıtım kaplamalarından oldukça farklıdır.

Yansıtıcı ısı yalıtım kaplama için optimal bir kalınlık değeri olduğu ifade edilebilir. Filmin kalınlığı bu optimum değerden düşükse, bu kalınlık arttırıldıkça ısı yalıtım performansı iyileşir, ancak, optimum değeri aştıktan sonra kalınlığın arttırılması kaplamanın termal yansıtma verimliliği üzerinde çok az etki gösterebilir. Çünkü kaplama filmi ince olduğunda, solar radyasyon filme nüfuz edip kaplama altındaki zemin malzeme tarafından absorblanabilir ancak kalınlık belirli bir değere ulaşıp alt tabaka tamamen kaplandığında, yansıtıcılık ve buna bağlı olarak ısı yalıtım etkisi stabil hale gelir (Cheng, M. Ji, J. ve Chang 2009; Wang, Liu, Wang ve Yu, 2011).

Radyan ısı yalıtım kaplaması: Güneş ışığına maruz kalan herhangi bir nesne, solar enerjii yayarken aynı zamanda absorblayabilir. Eğer nesne, dış ortama yaydığından daha fazla enerji absorblar ise sıcaklığı artar, tersi durumda ise sıcaklığı düşer. Bu işlem sırasında enerji, görünmez kızılötesi ışık ve daha uzun dalga boylu elektromanyetik dalgalar şeklinde yayılır. Moleküler, atomik termal hareketin neden olduğu bu radyasyon termal radyasyon olarak ifade edilir. Teorik olarak, herhangi bir nesne kendi enerjisini dış uzaya yaydığında, dış uzay aynı anda enerjii nesneye geri yayar (Ye ve Chen, 2018).

Uzaydaki sıcaklık mutlak 0 K'ye yakındır. Bu nedenle dış uzay ideal bir enerji alıcısı gibi görünür, bu da herhangi bir nesnenin kendi enerjisini termal radyasyon olarak dış uzaya yayabileceği anlamına gelir. Ancak, yerdeki nesnelere uzaya yayılan enerji radyasyonu, her zaman dünyanın dış yüzey atmosferi tarafından engellenir. Atmosfer, nesne ile dış uzay arasında bir bariyer görevi gördüğünden, ideal bir termal radyasyon

elde etmek için her şeyden önce radyasyonun atmosferden dış uzaya başarılı bir şekilde iletilebildiğinden emin olunması gerekir.

Atmosfer esas olarak su buharı ve karbondioksitten oluşur ve bu iki madde 8-13 µm spektrumunda zayıf bir absorpsiyon gösterir. Yani atmosfer, 8-13 µm radyasyon sırasında yüksek bir geçirgenliğe sahiptir veya başka bir deyişle, nesne ile uzay arasındaki termal radyasyon 8-13 µm spektrumunda meydana geldiğinde, dünyanın dış yüzey atmosferi artık bir bariyer olmaktan çıkar ve pencere görevi görebilir. Bu pencere aracılığıyla da yerdeki ışımlar doğrudan dış uzaya yayılabilir. Bu durum, kızılötesi teknolojisinde “kızılötesi pencere” olarak adlandırılır (Ye ve Chen, 2018).

Radyan ısı yalıtım kaplamaları; absorblanan enerjiyi, moleküler titreşim ve rotasyon enerjisine dönüştürebilen özel dolgu maddelerine sahip sistemlerdir ve böylece absorblanan enerji, dış uzaya termal radyasyon şeklinde iletilebilir. Radyan film ile kaplanmış nesne, belirli bir dalga boyunda, güneşten emdiğinden daha fazla enerjiyi dış uzaya yayabilir ve sonuç olarak, radyan ısı yalıtım filmi, kapladığı nesneyi aktif olarak soğutabilir. Radyan kaplamalardaki bu ısı yalıtım mekanizması, diğer yansıtıcı kaplama mekanizmalarından oldukça farklıdır. Engelleyici ve yansıtıcı dolgu maddelerinde, kaplama filmi ekstra güneş enerjisini sadece pasif olarak bloke edebilir buna karşılık radyan dolgu maddeleri ile kaplama filmi bu ekstra enerjiyi aktif olarak dış alana yayabilir (Ye ve Chen, 2018).

Yukarıda ifade edildiği gibi, radyan dolgu maddeleri, dünyanın dış yüzey atmosferi bir "pencere" olarak çalıştığında mükemmel termal radyasyon yeteneği göstermektedir. Bu nedenle, daha yüksek film emisyonu sağlamak için, 8-13 µm aralığındaki bantta güçlü absorpsiyona sahip dolgu maddeleri kullanmak kaplamalarda kilit noktadır. Çalışmalar, kaplamalara belirli bir miktarda uzak kızılötesi dolgu maddesinin eklenmesinin filmin kızılötesi radyasyon yeteneğini büyük ölçüde artırabileceğini göstermiştir (Ye ve Chen, 2018). Radyan fonksiyonel dolgu maddeleri olarak genellikle yüksek emisyon özelliğine sahip Fe₂O₃, MnO₂, Cr₂O₃, TiO₂, SiO₂, Al₂O₃, La₂O₃ ve CeO kullanılır. Ayrıca, çeşitli metal oksitlerle katkılanmış anti-spinel yapıya sahip ATO (antimon kalay oksit), ITO (indiyum kalay oksit) vb. malzemeler de yüksek enerji emisyonu nedeniyle termal radyan

dolgu maddeleri olarak kullanılabilir (Cao, Vaßen , Stöver, 2004; Granqvist ve Hultåker, 2002; Wang ve diğerleri, 2010). Son yıllarda radyan dolgu maddelerindeki gelişmeler ile ısı yalıtım performansı yüksek kaplamalar elde edilebilmektedir ancak bu malzemelerin ısı radyasyon yeteneği; konsantrasyon, çap boyutu, yüzey özellikleri (pürüzlülük/periodyklilik) ve katkılı olup olmamaları gibi birçok faktörden etkilenir. Bu nedenle radyan kaplamaların ticari kullanımındaki temel sorun, istikrarlı ve yüksek bir ısı yalıtım performansına sahip dolgu maddelerinin pahalı olmasıdır (Ye ve Chen, 2018).

Kompozit ısı yalıtım kaplamaları: Nesnenin ısı transferi, iletim, taşınım ve ışınımın bir kombinasyonu olduğundan, ideal ısı yalıtım kaplaması, ısı transferine direnç gösterebilmeli, güneş enerjisini aktif olarak yansıtılabilmeli ve yayabilmelidir. Engelleyici, yansıtıcı veya radyan ısı yalıtım kaplamalarının kendi avantajları olmasına rağmen, tek bir mekanizma ile sağlanan performans, kapsamlı ısı yalıtımı isteğini karşılayamaz. Bu nedenle, engelleyici, yansıtıcı ve radyan ile sinerjik bir ısı yalıtımı elde etmek için kompozit ısı yalıtım kaplamaları tasarlanmıştır (Cui ve diğerleri, 2011; Xu, Jiang, Feng, Feng ve Yue, 2015).

Örneğin, fonksiyonel dolgu maddesi olarak nano titanyum oksitle modifiye edilmiş içi boş küreciklerin kullanıldığı kaplama filmi, titanyum oksidin yüksek yansıtıcılığı ve aynı zamanda içi boş küreciklerin düşük ısı iletkenliği nedeniyle mükemmel ısı yalıtım performansı gösterir (Gao, Wu, Xia ve Fan, 2017). Benzer şekilde termal direncinin yüksek olmasına ilave olarak solar reflektansı yüksek olan ve absorbladığı enerjiyi de yayarak alt tabakayı aktif olarak soğutabilen kaplama çalışmaları söz konusudur. Çok yönlü katkıları nedeni ile kompozit kaplamaların, ısı yalıtımına yönelik araştırmaların ana yönü haline geldiği görülmektedir (Ye ve Chen, 2018).

2.3. Tekstilde Isı Yalıtımı Uygulamalarıyla İlgili Çalışmalar

Wang, Kaynak, Wang ve Liu, (2006) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, yünlü kumaşların termal iletkenliği, polipirol ve karbon kaplama yapılarak iyileştirilmeye çalışılmıştır. Kumaşların termal iletkenliği pirol konsantrasyonu ve sentez süresi ile doğru orantılı olarak artmıştır.

Zhiying ve diğeri (2010) itfaiyeci giysilerinde kullanılan çok katmanlı malzeme kombinasyonlarının termal koruma özelliğini ve nem iletimini nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Üç katmanlı itfaiyeci koruyucu giysi sistemini simüle eden sekiz farklı malzeme kombinasyonu incelenmiştir. Nomex, güç tutuşur pamuk, %60 Polibenzimidazol (PBI) / %40 kevlar ve aramid olmak üzere dört farklı dış katman malzemesi, politetrafloretillen (PTFE) film kaplı aramid ve pamuk şeklinde iki farklı nem bariyeri katmanı ve aramid ve polisülfonamid (PSA) olmak üzere iki farklı termal bariyer kumaşı test edilmiştir. Çalışmada kullanılan ısı akısı %50 radyan, %50 konvektif ısı olacak şekilde $8,4 \pm 0.4 \text{ W/cm}^2$ olarak seçilmiştir. Termal koruma performansı açısından, üç katmanın öncelik sıralaması; dış katman, nem bariyeri ve termal astar katmanı şeklindedir. Termal koruma performansı açısından en ideal kombinasyon, PBI/Kevlar dış katman, PTFE film kaplı aramid nem bariyeri ve aramid termal astar katmanı olarak belirlenmiştir.

El-Hady ve El-Baky (2011) spor kıyafetlerinde kullanılmak üzere iyi ısı izolasyon özelliğine sahip fonksiyonel kumaşlar geliştirmek amacıyla bir seri karışım kumaş üzerinde çalışma yapılmıştır. %65/35 pamuk/PES, %65/28,5/6,5 pamuk/PES/karbon, %65/17,5/17,5 pamuk/PES/karbon olmak üzere farklı karışımlar hazırlanmış ve 2/1 dimi ve 5'li saten yapısında dokunmuştur. Ölçüm sonuçlarına göre, karışımlardaki karbon içeriği arttıkça kumaşların daha iyi termal koruma sağladığı görülmüştür.

Song ve diğeri (2011) farklı materyallerden oluşan çok katmanlı giysilerin sağladığı termal korumayı ve düşük seviyeli radyan ısı maruziyeti altında nemin etkisini incelemişlerdir. Dış katmanda %60 Lenzing FR / %40 Kevlar (dimi), ve iki farklı gramaj değerinde aramid kumaş (bezayağı), termal bariyer katmanında üç farklı teknikte üretilmiş %100 Nomex kumaş, iç katmanda ise %100 yün ve %100 CarbonX interlok örme kumaşlar kullanılmıştır. Numunelerin maruz bırakılacağı ısı akısı değerleri; 6,3, 7,5 ve 8,3 kW/m² olarak seçilmiştir. Çalışmada, deride ikinci derecede yanık oluşturacak tahmini yanma süreleri test edilmiştir. Tek katlı %60 Lenzing FR / %40 Kevlar kumaşın 6,3, 7,5 ve 8,3 kW/m² ısı akılarında sırası ile 45, 50 ve 64 saniye koruma sağlayabildiği görülmüştür. En yüksek korumanın ise %100 Nomex dış katman, %100 Nomex dokusuz yüzey nem bariyeri ve %100 yün iç astar malzemelerinden oluşan çok katlı konstrüksiyon

ile elde edildiği ve $6,3 \text{ kW/m}^2$ ısı akısında yanma görülmezken, $7,5$ ve $8,3 \text{ kW/m}^2$ ısı akısı değerlerinde yaklaşık olarak 206 ve 193 saniye koruma sürelerine ulaşıldığı görülmüştür. Düşük radyan ısı maruziyetlerinde kumaş sistemlerinde bulunan nemin, termal koruma performansını önemli ölçüde arttırdığı belirtilmiştir.

Ham ve geliştirilmiş perlitin tekstil kaplamacılığında kullanımı konusunda yapılan detaylı bir çalışmada, perlit ile kaplanan %100 pamuklu kumaşların, -ölçülen pek çok özellikleri yanında- radyan ısıya, sese ve UV ışınlarına karşı koruma özellikleriyle perde, çadır, branda, güneş şemsiyesi, şapka ve koruyucu elbise yapımında kullanılabilmesi belirtilmektedir. Burada söz edilen koruyucu özellikler konusunda geliştirilmiş perlitin ham perlite göre daha iyi sonuçlar verdiği de ortaya konulmuştur (Tiber, 2011).

Song ve diğerleri (2011) sanayi işçileri, itfaiyeciler, askeri personel vb. tarafından giyilen farklı seviyelerdeki koruyucu giysileri temsil edecek şekilde tek katmanlı kumaş, iki katmanlı ve çok katmanlı kompozit sistemlerden oluşan beş farklı koruyucu kumaş numunesinin termal koruma performansını araştırmışlardır. 84 kW/m^2 ısı akısı değerinde, ikinci derece cilt yanığı oluşturmak için gereken tahmini maruz kalma süreleri değerlendirildiğinde, tek katmandan oluşan %60 Kevlar/%40 Polibenzimidazol (PBI) kumaşta 6 saniye, %60 Kevlar/%40 PBI kumaş ve PTFE lamineli Nomex kumaştan oluşan iki katmanlı yapılarda yaklaşık 13 saniye ve %60 Kevlar/%40 PBI kumaş, PTFE lamineli Nomex ve %100 para aramid şeklindeki üç katmanlı sistemlerde yaklaşık 26 saniye olduğu görülmüştür. Ayrıca, maruziyet sonrası açığa çıkan depolanmış enerji miktarının ikinci derece bir cilt yanığı yaralanması için gereken toplam enerjinin %50'sini oluşturabileceği vurgulanmıştır. Çok katmanlı ve kalın kumaş sistemlerinin tek bir katmandan veya ince bir kumaş sisteminden daha fazla ısı depolayacağı ve özellikle kumaş sisteminde hava boşlukları mevcut ise depolanan enerjinin tahliyesinin sıkıştırma ile arttırılabileceği belirtilmiştir.

Ziaei ve Ghane (2013), ortada üç boyutlu polyester örme spacer kumaş ve her iki tarafında silika emdirilmiş örme pamuk kumaştan oluşan çok katmanlı kumaşların termal özelliklerini incelemiştir. Silika ve zirkonya olmak üzere iki tip seramik toz kullanılmıştır. Farklı kalınlıklarda (3 ve 6 milimetre) iki tip polyester spacer kumaş,

pamuklu dokuma kumaş ve pamuklu örme kumaş gibi çeşitli kumaş türleri kullanılmıştır. Spacer kumaşın örme kumaşlarla birleşimi, dokuma kumaşla olana kıyasla daha iyi bir ısı yalıtımı göstermiştir. Bu nedenle seramik tozunun ve oranının sonuçlara etkisi bu numuneler üzerinden değerlendirilmiştir. Solüsyondaki seramik konsantrasyonu arttıkça ısı iletiminin azaldığı görülmüştür. Ayrıca, silika tozu zirkonyaya kıyasla, kumaşların termal iletkenliğini azaltma ve termal direnci artırmada daha büyük bir etki göstermiştir.

Matkovic' ve diğerleri (2014), koruyucu/iş/spor giysisi kullanımına yönelik poliüretan kaplamalı farklı zemin konstrüksiyonuna sahip örme kumaş yapıları geliştirmişlerdir. Numuneler transfer kaplama metodu ile üretilmiş, 160°C'de 3 dakika süre ile fiksaj yapılmıştır. Kaplama kalınlığı 0,16 mm olacak şekilde çalışılmıştır. Numuneler yaz ve kış mevsimlerinde hava şartlarına maruz bırakılmıştır. Zemin kumaşın birim alan ağırlığı ile termal direnç değeri arasında net bir korelasyon olduğu görülmüştür. Kumaşların termal direnç değeri poliüretan kaplama ile yaklaşık olarak %143 artmıştır. Üç aylık açık hava maruziyetinin ardından, test edilen tüm malzemelerin termal direnci, yaz mevsiminden sonra %13 ve kış mevsiminden sonra %25 azalmıştır.

Jabbari ve diğerleri (2015), polyester dokuma kumaşlar üzerine bıçakla kaplama yöntemi kullanarak yüksek termal yalıtkan özellikli aerjel katkılı polivinil klorür kaplama çalışmışlardır. Kompozitlerin aerjel içeriği, termal yalıtım özelliği, termal bozunma, yüzey özellikleri, çekme ve fiziksel özelliklerinin etkisi araştırıldı. Sonuçlar, aerjelin, diğer özelliklerde önemli bir azalma olmaksızın kompozitlerin termal iletkenliğini, yoğunluğunu ve hidrofiliğini önemli ölçüde azaltabileceğini ortaya koymuştur. Deneysel sonuçlar, referansa göre ısı yalıtım özelliğinin %26 arttığını, yoğunluğun %17 azaldığını ve hidrofobikliğin %16,4 arttığını göstermiştir. Hazırlanan kompozitin, atık malzemelerden etanol/biyogaz üretimi için tekstil biyoreaktörlerinin geliştirilmesi, çadırlar, cephe kaplamaları, konteyner astarları ve brandalar gibi birçok alanda kullanım potansiyeli olduğu belirtilmiştir.

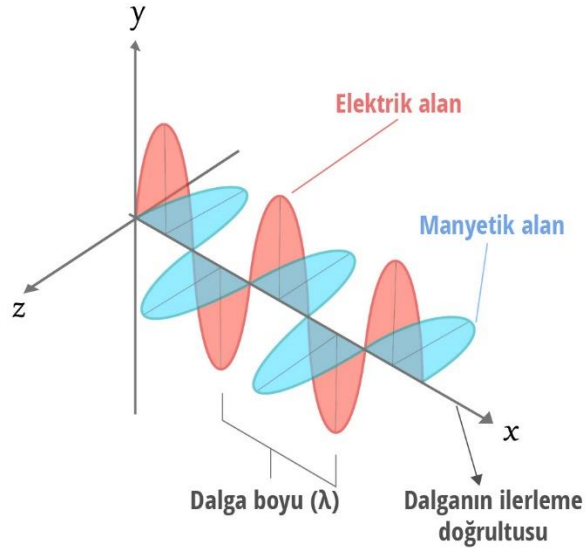
Rosace ve diğerleri (2016) sol-jel yöntemi ile uygulanan silika kaplamaların ve kullanılan dokuma yapılarının (bezayağı, saten ve pike) pamuklu kumaşların ısı yalıtım özelliklerine etkisini incelemiştir. Dokuma yapısının termal özellikleri yüksek ölçüde etkilediği

görülmüştür. Sol-jel kaplamanın etkisi değerlendirildiğinde; test edilen tüm pamuk kumaşlarda termal özelliklerdeki değişimin kimyasal konsantrasyonundaki artış ile paralel arttığı ve ardından stabil hale geldiği ifade edilmiştir. Test edilen tüm konsantrasyonlar (50,100 ve 200 g) için numunelerin termal iletkenliklerinde azalma, termal direnç değerlerinde ise artış görülmüştür.

Pakdel ve diğerleri (2020) pamuklu zemin kumaş üzerine nano boyutta titanyum dioksit ve içi boş cam mikro küreciklerle, farklı konsantrasyonlarda kaplama işlemi gerçekleştirmişlerdir. Kaplamalı kumaşların yalıtım, alev geciktirici özelliği, akustik performansı, ultraviyole koruma özelliği ve bazı mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Pamuklu kumaşın termal direnç değerinin %78 oranında iyileştiği, 0-3500 frekans aralığında üstün bir ses absorpsiyon özelliği gösterdiği görülmüş, geliştirilen çok fonksiyonlu kumaş yapılarının; yeni nesil perdeler, koruyucu giysiler ve otomotiv iç parçalarında uygulama alanı bulabileceği düşünülmüştür.

2.4. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik radyasyon, yüklü parçacıklar tarafından salınan ve absorblanan bir enerji formudur. Bu radyasyonun belirli elektriksel ve manyetik özellikleri vardır (Şekil 2.23). Elektromanyetik radyasyona karşılık gelen dalga boyu aralığı, “elektromanyetik spektrum” olarak adlandırılır ve üç temel faktör tarafından tanımlanır. Bunlar frekans (f), dalga boyu (λ) ve foton enerjisidir (E). Frekans, birim zamandaki (saniye) dalga döngüsü sayısı olarak ifade edilmektedir (Sankaran ve Ehsani, 2014). Bir dalga örüntüsünün tekrarlanan birimleri arasındaki mesafe olan dalga boyu, dalganın iki tepe noktası arasındaki mesafe olarak da tanımlanabilir (“Işık Tayfi”, 2015).



Şekil 2.23. Elektromanyetik dalganın şematik gösterimi (“Dalgaların Fiziği”, 2019).

Bu üç faktörün aralarındaki ilişki 2.16-2.18 denklemleri ile ifade edilmektedir. Dalga boyu, dalganın frekansı ile ters orantılı iken, foton enerjisi, frekans ile doğru orantılıdır.

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2.16)$$

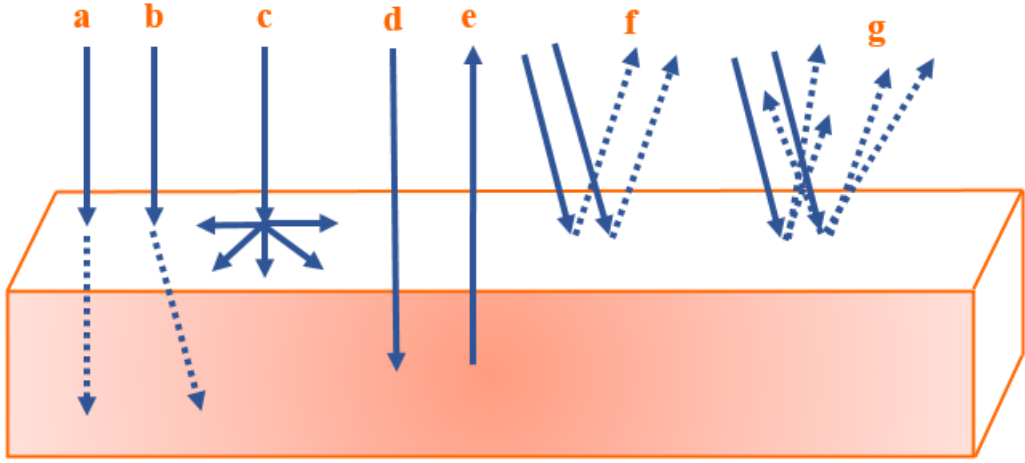
$$f = \frac{E}{h} \quad (2.17)$$

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.18)$$

Burada; c , ışığın boşluktaki hızı (299,792,458 m/s), h ise Planck sabitidir ($6,62606957 \times 10^{-34}$ J s) (Sankaran ve Ehsani, 2014).

Fotonlar veya elektronlar gibi parçacıklar söz konusu olduğunda enerjinin birimi olarak joule (J)’den ziyade elektron-volt (eV) birimi kullanılmaktadır. Bu ifade, elektronun bir voltluk potansiyel farkıyla yaratılmış elektrik alanı içinde hızlanmasından kazanacağı kinetik enerji miktarına denk gelir ve 1 eV; 1.602×10^{-19} J değerine eşittir (“Güneş Enerjisi: Teori ve Uygulama, 2016).

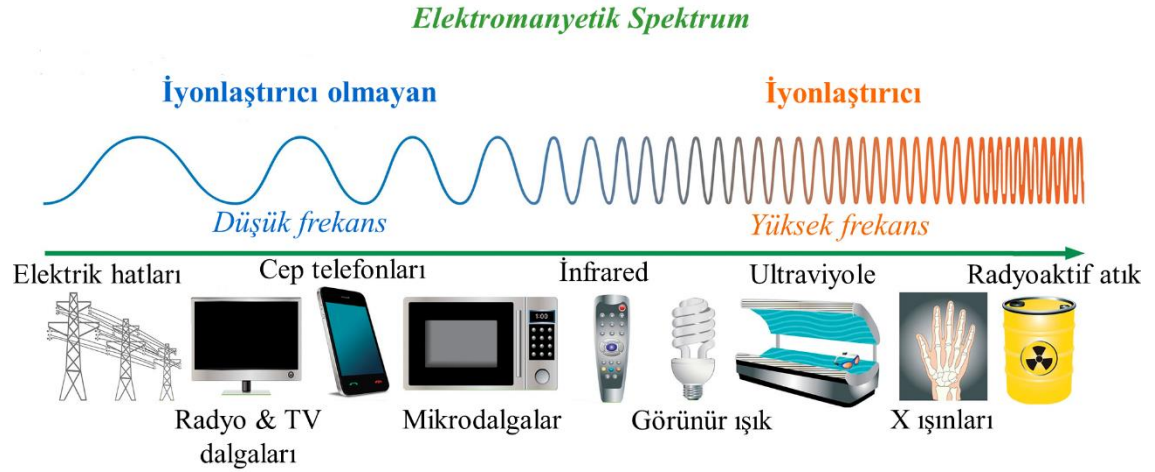
Elektromanyetik radyasyon, farklı spektroskopik tekniklerde kullanılmaktadır. Bu teknikler ile malzemelerin özelliklerini incelemek için farklı etkileşim türleri kullanılabilir. Gıda ve tarım uygulamalarında yaygın olarak kullanılan etkileşimler Şekil 2.24’te verilmiştir. Bunlar; elektromanyetik radyasyonun nesne tarafından absorblanması (fotosentez örneği), nesnenin elektromanyetik radyasyonların geçişine izin verdiği iletim durumu (pencere panelinden geçen ışık örneği), radyasyonun bir veya daha fazla yönde geri döndüğü yansıma durumu (ayna örneği) ve nesnenin enerji durumundaki geçişlerden kaynaklı elektromanyetik radyasyon yaydığı emisyon durumu (floresan örneği) olarak sıralanabilir (Sankaran ve Ehsani, 2014).



Şekil 2.24. Nesnelere ve elektromanyetik spektrum arasındaki olası etkileşimler: (a) iletim, (b) kırılma, (c) yayılım, (d) soğurma, (e) yansıma, (f) düzgün yansıma, (g) dağınık yansıma (Sankaran ve Ehsani, 2014’ten değiştirilerek alınmıştır).

Tüm elektromanyetik dalgalar bir boşlukta ışık hızında hareket etmesine rağmen, bunu çok çeşitli frekanslarda, dalga boylarında ve foton enerjilerinde yaparlar. Bu parametrelere ilave olarak dalgaların emisyon, iletim ve absorpsiyonundaki davranış farklılıklarına ve ayrıca farklı pratik uygulamalarına dayalı olarak spektrum aralıkları farklı isimler taşır. Spektrum bölümlerinin herhangi biri arasında kesin olarak kabul edilen sınırlar olmayıp daha ziyade bir gökkuşağındaki bantlar gibi birbirlerinin içinde kaybolarak örtüşme eğilimindedirler. Her frekans ve dalga boyunun radyasyonu; spektrumun, kendisini sınırlayan iki bölgesinin özelliklerinin bir karışımına sahiptir. Şekil 2.25’te görüldüğü üzere, en düşükten en yüksek frekansa (en uzundan en kısa dalga boyuna) elektromanyetik spektrum, tüm radyo dalgalarını (örneğin, ticari radyo ve

televizyon), mikrodalgaları, kızılötesi radyasyonu, görünür ışığı, ultraviyole radyasyonunu, X ışınlarını ve gama ışınlarını kapsar (“Electromagnetic Spectrum”, 2019; “The Electromagnetic Spectrum”, 2018).



Şekil 2.25. Elektromanyetik spektrum (“Electric & Magnetic Fields”, t.y).

Spektrumun temel bölgeleri için, elektromanyetik radyasyonun davranışını belirleyen frekans, dalga boyu ve foton enerjisi aralıkları Çizelge 2.9’da verilmiştir.

Çizelge 2.9. Elektromanyetik spektrum bölgelerine ait dalga boyu, frekans ve enerji aralıkları (Sankaran ve Ehsani, 2014)

Spektrum bölgesi	Dalga boyu (m)	Frekans (Hz)	Enerji (eV)
Gama ışınları	$< 10^{-11}$	$> 3 \times 10^{19}$	$> 12 \times 10^8$
X ışınları	$10^{-9} - 10^{-11}$	$3 \times 10^{17} - 3 \times 10^{19}$	12×10^4
Ultraviyole	$4 \times 10^{-7} - 10^{-9}$	$7,5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{17}$	12×10^2
Görünür bölge (mavi)	4×10^{-7}	$7,5 \times 10^{14}$	3,1
Görünür bölge (kırmızı)	7×10^{-7}	$4,3 \times 10^{14}$	1,8
İnfrared bölge	$1 \times 10^{-5} - 7 \times 10^{-7}$	$3 \times 10^{12} - 4,3 \times 10^{14}$	0,12
Mikrodalga	$0,01 - 1 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^9 - 3 \times 10^{12}$	$1,2 \times 10^{-4}$
Radyo dalgaları	$> 0,01$	$< 3 \times 10^9$	$> 1,2 \times 10^{-8}$

Uzun dalga boyları için sınır, evrenin kendisi iken, kısa dalga boyu sınırının Planck uzunluğu civarında olduğu düşünülmektedir. Fotonları atomları iyonize etmek için yeterli enerjiye sahip olup, kimyasal reaksiyonlara neden olan Gama ışınları, X ışınları ve yüksek

ultraviyole, iyonlaştırıcı radyasyon olarak sınıflandırılmaktadır. Bu ışıklara maruz kalmak bir sağlık tehlikesi oluşturarak akut radyasyon sendromuna, DNA hasarına ve kansere neden olabilmektedir. Görünür ışık ve daha düşük frekanslı dalgalar, bu tarz etkilere neden olmadıkları için iyonlaştırıcı olmayan radyasyon olarak adlandırılır ve genellikle zararsız olarak algılanmaktadır (“The Electromagnetic Spectrum”, 2018).

2.4.1. Ultraviyole (morötesi) ışınlar

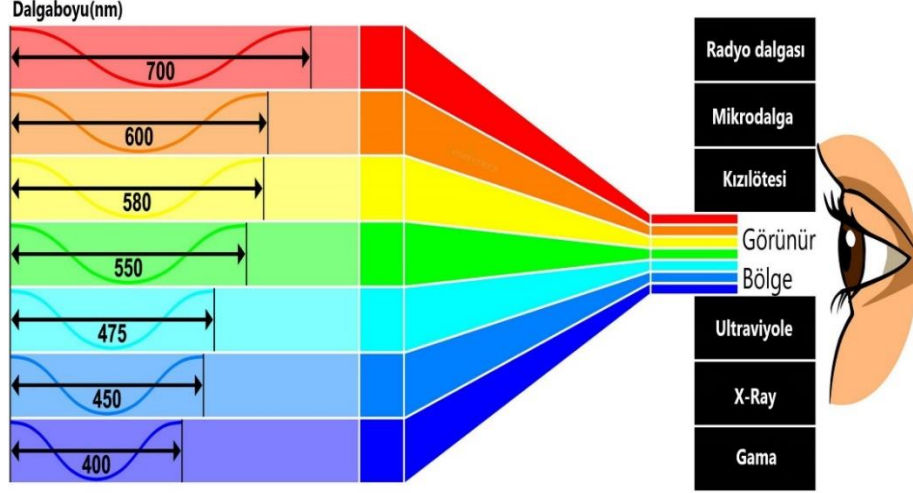
Ultraviyole radyasyon, elektromanyetik spektrumun görünür ışık aralığının kısa dalga boylu mor bölümünden, X ışınlarına kadar uzanan kısmıdır. Ultraviyole (UV) radyasyonu insan gözüyle algılanamaz, ancak belirli malzemelerin üzerine düştüğünde floresan ışık saçmasına, yani görünür ışık gibi daha düşük enerjili elektromanyetik radyasyon yaymasına neden olabilir. Bununla birlikte, birçok böcek ultraviyole radyasyonu görebilir. Ultraviyole radyasyonun dalga boylarının biyolojik malzemelerle etkileşimine dayanarak üç bölüm belirlenmiştir. Bunlar; siyah ışık olarak da adlandırılan UVA (400-315 nm), radyasyonun organizmalar üzerindeki en iyi bilinen etkilerinden sorumlu olan UVB (315-280 nm) ve Dünya yüzeyine ulaşmayan UVC (280-100 nm) bölümleridir.

Ultraviyole radyasyon Güneş gibi çok sıcak cisimler tarafından sürekli bir spektrumda yayılır. Güneş ışığındaki ultraviyole radyasyonun çoğu, ozon tabakası tarafından emilir. Dünya yüzeyine ulaşan ultraviyolenin neredeyse %99'u UVA radyasyonudur. Ancak ozon tabakası incelendiğinde, daha fazla UVB radyasyonu Dünya yüzeyine ulaşır ve organizmalar üzerinde tehlikeli etkileri olabilir. Araştırmalar, UVB radyasyonunun okyanus yüzeyine nüfuz ettiğinde, 30 metre derinliğe kadar deniz planktonları için öldürücü olabileceğini göstermiştir (“Ultraviolet Radiation”, 2022).

2.4.2. Görünür bölge ışınları

Ultraviyole radyasyondan biraz daha uzun dalga boyuna sahip olan görünür ışık, elektromanyetik dalgaların en iyi bilinen şeklidir ve spektrumun insan gözü tarafından algılanan kısmıdır (“Güneş Spektrumu”, t.y). Görünür ışığın farklı dalga boyları, gökkuşağının renkleri olarak görülen; kırmızı, turuncu, sarı, yeşil, mavi, çivit mavisi ve

mordur (Şekil 2.26). En uzun dalga boyları (yaklaşık 700 nanometre) kırmızı ve en kısa dalga boyları (380 nanometre) mor renktedir.



Şekil 2.26. Görünür ışık spektrumu yaklaşık dalga boyu dağılımı (“Şeffaf Güneş Pilleri”, 2021).

2.4.3. İnfrared (kızılötesi) radyasyon

Kızılötesi dalgalar, sıcak cisimler ve moleküller tarafından üretilir. Bu bant, görünür spektrumun düşük frekanslı veya uzun dalga uzunluğundaki ucuna bitişiktir. Kızılötesi dalgalara bazen “ısı dalgaları” da denir. Bunun nedeni, çoğu malzemede bulunan su moleküllerinin kızılötesi dalgaları kolayca absorblamasıdır (diğer birçok molekül, örneğin CO₂ ve NH₃ de kızılötesi dalgaları emer) (“Electromagnetics Waves”, 2015).

Infrared ışınların enerjileri elektronların enerjilerini değiştirmek için çok küçüktür. Bunun yerine, infrared radyasyon; moleküllerin titreşim durumlarını değiştirme eğilimindedir ki bu, bir moleküldeki atomların çok hızlı ileri ve geri salınımı anlamına gelir. Moleküller kızılötesi ışınları emdiklerinde atomları daha hızlı hareket eder ve böylece moleküllerin sıcaklıkları artar ve çevrelerini de ısıtırlar (“Güneş Spektrumu”, t.y).

İnsan gözü tarafından görülemeyen infrared radyasyon ciltte sıcaklık hissi olarak algılanabilir. İnfrared radyasyon spektrumu genellikle üç alt bölgeye ayrılır. Bunlar; dalga boyu 0,78-2,5 mikrometre aralığında olan yakın infrared (görünür spektruma en yakın),

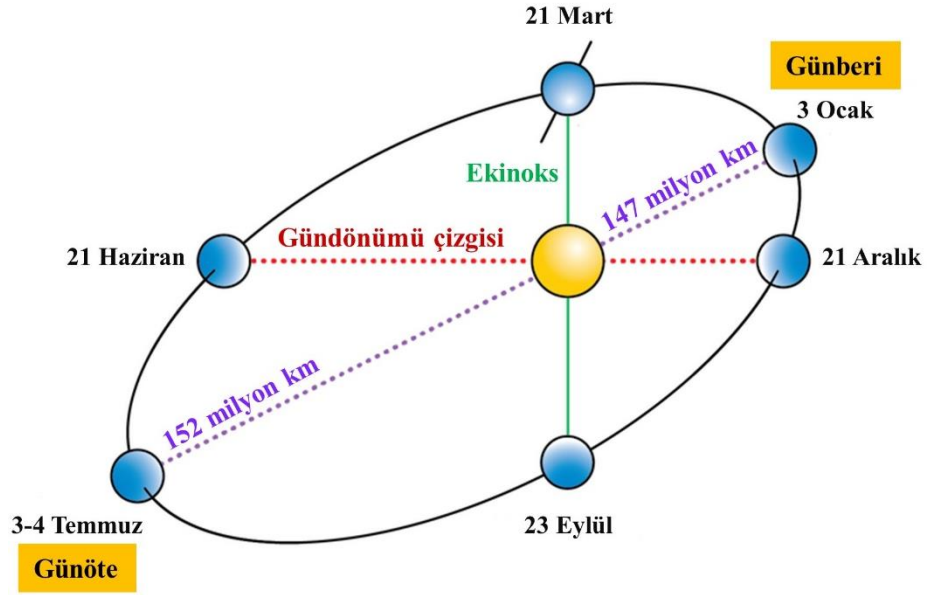
dalga boyları 2,5-50 mikrometre olan orta infrared ve 50-1000 mikrometre dalga boylarına sahip uzak infrared bölgeleridir (“Infrared Radiation”, 2020). Kızılötesi radyasyon, sera etkisi yoluyla Dünya'nın ısısının veya ortalama sıcaklığının korunmasında da önemli bir rol oynar. Gelen görünür ışık (atmosferden nispeten kolay geçer) dünya yüzeyi tarafından emilir ve kızılötesi (daha uzun dalga boylu) radyasyonlar olarak yeniden yayılır. Bu radyasyon, karbondioksit ve su buharı gibi sera gazları tarafından tutulur. Elektronik cihazlar (örneğin yarı iletken ışık yayan diyotlar) da kızılötesi yayar ve TV setleri, video kaydediciler ve hi-fi sistemleri gibi ev elektronik sistemlerinin uzaktan kumanda anahtarlarında yaygın olarak kullanılır (“Electromagnetics Waves”, 2015).

2.5. Solar Radyasyon ve Pencereleden Solar Isı Kazanımı

Yaklaşık olarak bir küre şeklinde olan Güneş, enerjisini tüm yönlerde homojen bir şekilde ışığa yolu ile yayar (Kılıç, 2015). Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon işlemi, yani hidrojen gazının helyuma dönüşmesi ile açığa çıkan ışığa enerjisidir. Bu enerji, yeryüzü ve atmosferde yer alan fiziksel ve biyolojik etkileşimleri yönlendiren temel bir enerji kaynağıdır.

Güneş, $1,99 \times 10^{30}$ kg kütlede sıcak bir gaz küresi olup, merkezindeki sıcaklık $8 \times 10^6 - 40 \times 10^6$ K arasında değişmektedir. Güneşin bu olağan üstü yüksek sıcaklıkta, saniyede yaydığı ışığa enerjisi, yaklaşık 4×10^{23} kW'tır (Kılıç, 2015).

Güneşin en dıştaki ve nispeten ince olan 400 km'lik katmanına fotosfer denir ve yaklaşık 5770 K sıcaklığa sahiptir. Aynı zamanda burası, insan gözünün görebildiği ve “ışık” olarak adlandırılan radyasyon spektrumunu yayan katmandır. Dünya ile Güneş arasındaki ortalama uzaklık yaklaşık 150 milyon kilometredir. Şekil 2.27’de de gösterildiği gibi Dünya, Güneş’in en yakın noktasına (Günberi/Perihelion-147 milyon kilometre) her yıl Ocak ayının başında ulaşırken, 6 ay sonra Temmuz ayında Güneş’ten en uzak mesafeye ulaşır (Günöte/Aphelion-152 milyon kilometre) (“Solar Radiation”, t.y).



Şekil 2.27. Dünya'nın eliptik yörüngesi ("Solar Radiation", t.y).

Yere ulaşan güneş radyasyonunun yoğunluğu üzerinde önemli bir etkiye sahip olan Dünya atmosferi yaklaşık %78 moleküler azot, %21 moleküler oksijen, %0,9 argon ve %0,1 diğer gazlardan oluşur. Eser miktarda karbondioksit, metan, su buharı ve neon kalan %0,1'i oluşturan diğer gazlardan bazılarıdır ("Atmosphere", t.y).

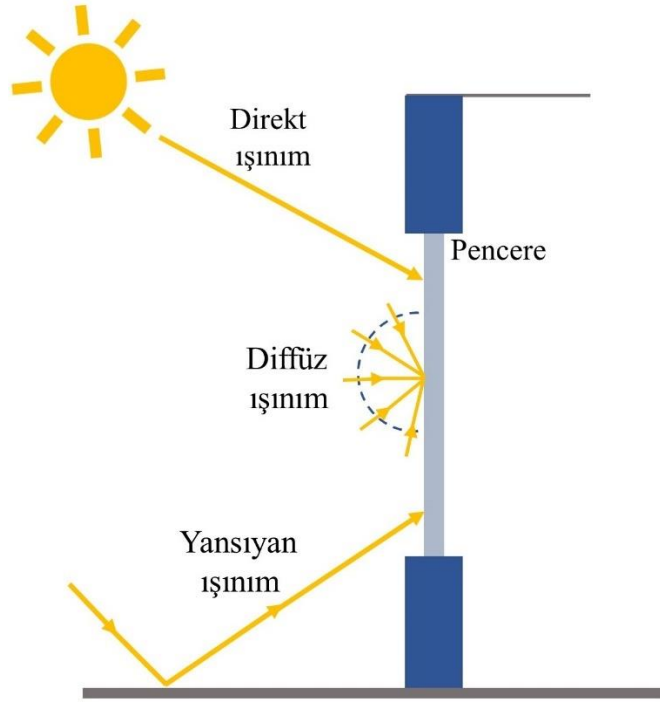
Güneş radyasyonu en yüksek yoğunluğuna, ışınlarının geliş açısının 90° olduğu ve atmosferin kalınlığının minimum olduğu durumda ulaşır. Güneşin gökyüzündeki konumu ne kadar düşüğe, radyasyonun o kadar fazla atmosferden geçmesi gerekir ve böylece atmosfer tarafından daha fazla radyasyon saçılır, absorblanır ve yer yüzeyine daha az radyasyon ulaşmış olur. Yer yüzeyine düşen radyasyon miktarı ve türü, atmosferin değişen özelliklerine bağlıdır. Gezegenimizin boyutu ve uzaydaki konumu da önemli faktörler olsa da Dünya tarafından absorblanan veya ondan yansıyan radyasyon miktarı için en önemli faktör, yer yüzeyinin bileşimidir ("Solar Radiation", t.y).

Yeryüzündeki her yüzey, rengine ve dokusuna göre değişen derecelerde, enerjiyi emer ve yansır. Koyu renkli nesnelere görünür radyasyonu daha çok absorblar, açık renkli nesnelere ise daha çok yansır. Parlak veya pürüzsüz nesnelere daha fazla yansırken,

donuk veya pürüzlü nesnelere daha fazla absorblarlar. Yansımadaki farklılıklar sıcaklığı, hava durumunu ve iklimi etkiler.

Bir nesne veya yüzey tarafından uzaya geri yansıyan güneş radyasyonunun yüzdesini tanımlamak için “Albedo” terimi kullanılır. Mükemmel siyah bir yüzeyin albedo değeri 0'dır (tüm radyasyon absorblanır). Mükemmel beyaz bir yüzeyin albedo değeri ise 1'dir (tüm radyasyon yansıtılır). Kar, buz, tundra, okyanus ve bulutlar gibi farklı yeryüzü yapıları, farklı albedolara sahiptir. Örneğin, kara ve okyanus düşük albedolara sahip olup (tipik olarak 0,1-0,4 arasında) yansıtıklarından daha fazla enerji absorblarlar. Kar, buz ve bulutlar yüksek albedolara sahiptir (tipik olarak 0,7-0,9 arasında) ve absorbladıklarından daha fazla enerji yansıtırlar. Dünyanın ortalama albedosu yaklaşık 0,3'tür. Başka bir deyişle, gelen güneş radyasyonunun yaklaşık yüzde 30'u uzaya geri yansıtılmakta ve yüzde 70'i absorblanmaktadır (“Solar Energy, Albedo, and The Polar Regions”, 2008).

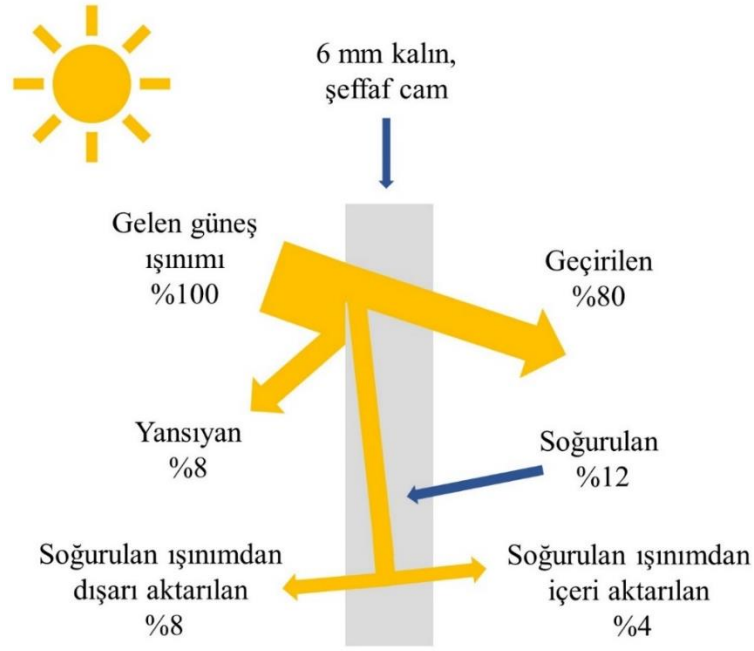
Güneş ışınımının yerküre atmosferine giren kısmı saçılmakta; hava ve su buharı molekülleri, toz parçacıkları ve bulutlardaki su damlacıkları tarafından soğurulmaktadır. Bu nedenle de yeryüzüne gelen güneş ışınımı, güneş sabitinden (1366 W/m^2) daha azdır. Güneş ışınımının zayıflama miktarı, atmosferin yol boyunca yapısına (bulutlar, toz, nem ve duman) bağlı olduğu kadar, ışınların atmosfer boyunca geçeceği yola da bağlıdır. Ultraviyole (morötesi) ışınımın çoğu atmosferdeki ozon tabakası tarafından soğurulmaktadır. Güneş 41,8° yüksekteyken, açık bir günde deniz seviyesine gelen direkt güneş ışınımının toplam enerjisi; %3 morötesi, %38 görünür ve %59 kızılötesi ışınım kaynaklıdır. Güneş ışınımının saçılmaksızın veya soğurulmaksızın yeryüzüne ulaşan kısmına direkt ışınım denir. Atmosferin bileşenleri tarafından saçılan veya tekrar yayılan ışınım diffüz ışınımıdır (Şekil 2.28). Diffüz ışınım gökyüzünde bütün yönlerden gelirken, direkt ışınım düz bir yol tutarak doğrudan güneşten gelir. Kapalı bir günde yere ulaşan ışınımın tamamı diffüz ışınımıdır. Genel olarak bir yüzeye ulaşan ışınımın üç bileşeni vardır: Direkt ışınım, diffüz ışınım ve çevre yüzeylerden yüzeye yansıyan ışınım (Çengel ve Ghajar, 2015).



Şekil 2.28. Bir pencereye gelen güneş radyasyonunun direkt, diffüz ve yansıyan bileşenleri (Çengel ve Ghajar, 2015'ten değiştirilerek alınmıştır).

Çim, ağaç, kaya ve beton gibi genel yüzeyler, ışınımın %20 kadarını yansıtır, gerisini soğurur. Ancak kar kaplı yüzeyler gelen ışınımın %70'ini yansıtır. Direkt güneşi görmeyen bir yüzeye gelen ışınım, diffüz ve yansıyan ışımdan oluşur.

Şekil 2.29'da görüldüğü gibi bir cam yüzeye düşen güneş ışınımının bir kısmı (kaplanmamış şeffaf cam için %8) dışarıya yansır, bir kısmı (yapı ve kalınlığa bağlı olarak %5-50) cam içerisinde soğurulur ve geri kalanı içeriye geçirilir.



Şekil 2.29. Şeffaf bir cama gelen güneş radyasyonunun dağılımı (Çengel ve Ghajar, 2015'ten değiştirilerek alınmıştır).

Denklem 2.19'da görüldüğü gibi enerjinin korunumu gereği geçirilen, yansıtılan ve soğurulan ışınımın toplamı gelen güneş ışınımına eşit olur.

$$\tau_s + \rho_s + \alpha_s = 1 \quad (2.19)$$

Burada; güneş enerjisi için camın geçirgenliği τ_s , yansıtıcılığı ρ_s ve soğurganlığı α_s ; gelen güneş ışınımının kesirleri ise sırasıyla geçirilen, yansıtılan ve soğurulandır. Standart 3 mm'lik tek camlı, çift dayanımlı şeffaf pencere camı gelen güneş enerjisinin %86'sını geçirir, %8'ini yansıtır ve %6'sını soğurur. Genellikle dik gelişe göre verilen malzeme ışınım özellikleri, farklı açılarla gelen ışınım için de kullanılabilir; çünkü cam malzemelerin geçirgenlikleri, yansıtıcılıkları ve soğurganlıkları normale 60° 'ye kadar geliş açıları için aslında sabit kalır.

İçeri geçen güneş ışınımı kısmen soğurulur ve her seferinde bir başka yüzeye düşecek şekilde kısmen yansıtılır; fakat sonuçta tamamı duyulabilir ısı olarak mobilyalar, duvarlar, insanlar vb. tarafından soğurulur. Böylelikle bir binanın içerisine geçen güneş enerjisi bina için ısı kazancını gösterir. Yine cam tarafından soğurulan güneş ışınımı, daha

sonra konveksiyon ve ışınlım yoluyla içeriye ve dışarıya aktarılır. Geçirilen güneş ışınlımının toplamı ve soğurulan ışınlımın içeri akan kısmı binanın güneş ısı kazancını oluşturur. Güneş'ten gelen ışınlımın camdan giren kesri güneş ısı kazanç katsayısı (GIKK) adını alır ve denklem 2.20 ile ifade edilmektedir.

$$GIKK = \frac{\text{Pencerede ısı kazancı}}{\text{Pencereye gelen güneş ışınlımı}} = \frac{\dot{q}_{\text{güneş,kazanç}}}{\dot{q}_{\text{güneş,gelen}}} = \tau_s + f_i \alpha_s \quad (2.20)$$

α_s , camın güneş soğurganlığı ve f_i , cam tarafından soğurulan güneş ışınlımının içeriye akma kesridir. Yani boyutsuz GIKK değeri, cama gelen ışınlımın direkt geçirilen ve yutulup tekrar yayılan kısımlarının toplamına eşittir ve bu değer 0 ile 1 arasında değişir. Bir camın GIKK değerinin bilinmesi durumunda bu camdan toplam güneş ısı kazancı denklem 2.21 ile bulunabilir.

$$\dot{Q}_{\text{güneş,kazanç}} = GIKK \times A_{\text{cam}} \times \dot{q}_{\text{güneş,gelen}} \quad (W) \quad (2.21)$$

Burada; A_{cam} , pencerenin cam alanı (m^2), $\dot{q}_{\text{güneş,gelen}}$ ise W/m^2 cinsinden pencere dış yüzeyine gelen güneş ısı akısıdır.

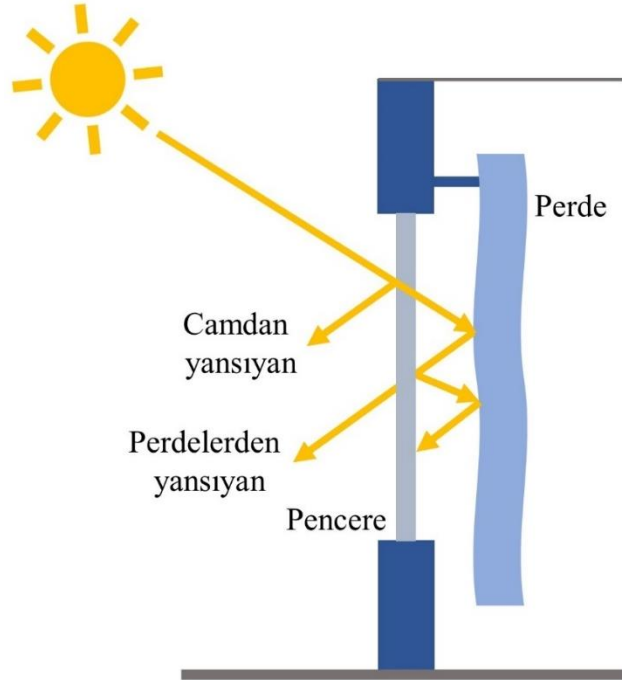
Çeşitli cam ve gölgeleme araçlarının güneş geçirgenlik özelliklerini tanımlamak için esas olarak alınabilecek iyi bilinen bir cam malzeme ile kıyaslama yoluna gidilebilir. GIKK'sı 0,87 olan 3 mm'lik standart çift dayanımlı şeffaf pencere cam referans alındığında gölgeleme katsayısı (GK) denklem 2.22 ile tanımlanabilir;

$$GK = \frac{\text{Ürünün güneş ısı kazancı}}{\text{Referans camın güneş ısı kazancı}} = \frac{GIKK}{0,87} = 1,15 \times GIKK \quad (2.22)$$

Gölgeleme katsayısı büyüdükçe gölgeleme etkisi küçülmekte ve güneş ısı kazanç miktarı artmaktadır. Gölgeleme katsayısı büyük olan bir cam malzeme, güneş ışınlımının büyük bir kısmının içeri girmesine izin verir. Gölgeleme araçları içeri veya dışarı yerleştirilmiş olmalarına bağlı olarak iç gölgeleme ve dış gölgeleme araçları (düşey veya yatay mimari çıkıntılar, sineklik, gölgeleme veya güneş kafesleri) olarak ikiye ayrılır. Dış gölgeleme

araçları ışınları cama henüz ulaşmadan engellediğinden ısı kazancının azaltmada daha etkilidir ve pencereden güneş ısı kazancı %80 kadar azaltılabilir. Çoğu pencerede güneş ısı kazancını kontrolüne ilave, gizlilik ve estetik amaçlı bazı iç gölgeleme araçları kullanılır. Bunlar camdan geçen güneş ışınımını, soğrulup bina içerisinde ısıya çevrilmeden önce geri yansıtarak ısı kazancını azaltır. Perdeler türlerine ve kullanıcı alışkanlıklarına göre değişmekle birlikte bir binanın yıllık ısıtma ve soğutma yüklerini %5-20 oranında azaltır. Şekil 2.30’da görüldüğü gibi perdeler yazın direkt güneş ışınımını geri yansıtarak ısı kazancını düşürür. Ayrıca oluşturdukları yarı kapalı hava aralığı yazın ve kışın ısı transferine karşı ek bir engel oluşturur (Çengel ve Ghajar, 2015).

Perdenin cama bakan yüzeyinin yansıtıcılığı, güneş ısı kazancını önemli ölçüde etkiler (Şekil 20.30). Örneğin sık dokulu veya kapalı ve açık renkli kumaşlardan üretilen perdeler, en üst düzeyde geri yansıma sağlar ve güneş kazanımını en aza indirir. Gevşek dokulu ve koyu renkli yapılarda ise durum tam tersidir.



Şekil 2.30. Solar enerjinin pencere ve perde sistemleri üzerindeki davranışı (Çengel ve Ghajar, 2015’ten değiştirilerek alınmıştır).

Bir iç gölgeleme aracının öncelikli fonksiyonu ısı konfor sağlamaktır. Gölgeleme kullanılmayan bir pencere camı, gelen ışınımın çoğunun girmesine izin verir ve soğurduğu enerjinin bir bölümünü iç ortama kızılötesi ışınım olarak yayar. Bu ve doğrudan geçen güneş ışığı pencere yanında oturanlar için rahatsız edici olacaktır. Kışın ise camın sıcaklığı iç ortamın hava sıcaklığından daha düşüktür ve oturanlardan ışınım yolu ile fazladan ısı kaybına yol açar. Gölgeleme araçları gizlilik ve dış görüş sağlarken, direkt güneş ışınımı ve kızılötesi ışınım kontrolünü de yapar. Kışın camdan daha yüksek sıcaklıkta olan gölgeleme elemanı iç ortamdakilerin ışınım kaybını azaltır (Çengel ve Ghajar, 2015).

2.6. Solar Özelliklerle İlgili Çalışmalar

Mahmoudifard ve Safi (2012) çalışmalarında, tek ve çok duvarlı karbon nano-tüplerin (SWCNT ve MWCNT) pamuklu kumaş bitim işlemleri için bir ultraviyole (UV) radyasyon absorblayıcı olarak kullanılma imkânını araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, geleneksel nano ve mikro mineral ZnO ve TiO₂ UV absorblayıcıları ve UV absorblayıcı kimyasal, Ciba Fast W ile karşılaştırılmıştır. Tek duvarlı karbon nano-tüplerin (SWCNT) çok duvarlı karbon nano-tüplerden (MWNT) çok daha iyi absorbe etme özelliği olduğu görülmüştür. Sonuçlar, karbon nano-tüplerin, özellikle tek duvarlı olanların, kumaşların UV geçirgenliğini azaltmada en verimli olduğunu göstermektedir. Ağırlıkça %2 SWCNT ile işlem gören kumaşlar hem UVB hem de UVA bölgelerinde en az geçirgenliği göstermiştir. Ayrıca, mikro boyutlu parçacıklarla karşılaştırıldığında, nano boyutlu TiO₂ ve ZnO kullanımı ile iletilen UV radyasyon miktarının daha fazla azaltılabildiği görülmüş ve bu sonuç nano malzemelerin yüksek yüzey alanına dayandırılmıştır.

Zhang ve diğerleri (2015) birincil film oluşturma malzemesi olarak bir jeopolimer kullanarak yansıtıcı bir ısı yalıtım kaplaması hazırlamışlardır. Pigment ve dolgu türlerinin, titanyum dioksit içeriğinin kaplamanın çeşitli mekanik özelliklerine ve ısı yalıtım performansına etkisi incelenmiştir. Dolgu maddesi olarak serisit tozu, talk ve içi boş cam kürecik kullanılmıştır. Titanyum dioksitin reflektans özelliği üzerinde önemli bir rol oynadığı görülmüş, kaplamanın reflektivitesi artan titanyum dioksit oranı ile paralel

olarak artmıştır. %6 oranında içi boş cam kürelerin kullanımında %12 titanyum dioksit katkısı ile en iyi termal izolasyon etkisine ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Miao ve diğerlerinin yürüttüğü çalışmada (2015) pamuk kumaşlar üzerine, radyo frekans magnetron saçtırma tekniği kullanılarak, gümüş ve AZO/Ag/AZO (AZO: Alüminyum katkılı çinko oksit) seramik filmler kaplanmıştır. İleri analiz prosedürlerinin yanı sıra, kaplamalı kumaşların fiziksel özellikleri, kızılötesi yansıtma oranı, hava geçirgenliği ve ultraviyole koruma faktörü incelenmiştir. İşlem görmüş pamuklu kumaşların %9,5'tan daha yüksek olmasa da hava geçirgenliği değerlerinde bir miktar azalma olduğu, ancak iyi bir ultraviyole koruma etkisi verdiği görülmüştür. AZO/Ag/AZO kaplamalı pamuk kumaşların %18, gümüş kaplı kumaşların ise %16 kızılötesi yansıtma değeri verdiği ve numunelerin, yüksek esnekliğe sahip solar kontrol filmlerinde kullanım için umut verici malzemeler olabileceği düşünülmüştür.

Tawiah, Narh, Li, Zhang ve Fu (2015), polimer kapsüllü renkli alüminyum pigment (PCAP) ile kaplanmış pamuk, polyester ve ipek kumaşlara kaplama işlemi uygulamış, yakın kızılötesi (NIR) yansıtma ve ultraviyole koruma faktörlerini (UPF) incelemiştir. TG, DSC, SEM ve anti-solvent test sonuçları, reaktif boyaların kimyasal olarak KH-550 modifiye Al pigmentine kovalent bağ yoluyla bağlandığını kanıtlamıştır. Pamuk, polyester ve ipek için sırasıyla %79,99, %71,67 ve %61,94 NIR yansıma değerleri elde edilmiştir. Polyester ve ipek zeminlerdeki nispeten daha düşük değerlerin, PCAP'in bu kumaşlara olan zayıf afinitesinden kaynaklı olduğu düşünülmüş, yine de numunelerin "serin malzeme" olarak nitelendirilebileceği ifade edilmiştir. Pul formuna alüminyum ile kaplanmış numuneler, bilye formunda alüminyum ile kaplanana kıyasla daha yüksek NIR yansıma değeri vermiştir. Özellikle pamuklu numuneler kaplama kalınlığından bağımsız şekilde mükemmel UPF değeri vermiş ve sürtünme ve yıkamaya karşı yüksek haslık göstermiştir.

Miao ve diğerleri (2017) solar kontrol amacı ile infrared kalkanlama özelliğine sahip tekstiller geliştirmek için 200 nm kalınlığında bakır ve titanyum dioksit filmleri, magnetron püskürtme tekniği ile pamuk ve polyester kumaşlar üzerine kaplamışlardır. Hazırlanan numunelerin yüzey morfolojisi, kristal yapısı, infrared seviyesi, ultraviyole

koruma değeri ve su iticilik özellikleri değerlendirilmiştir. Numunelerin yüksek hidrofobluğa ve oldukça iyi ultraviyole koruma özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Bakır kaplı kumaşların infrared emisyon oranı, kaplanmamış kumaşlara kıyasla %20-30 azalma göstermiştir. Kaplamasız kumaşlarda %5-10 aralığında kalan infrared yansıtma değerlerine kıyasla, bakır kaplamalı numunelerde bu değer %20-30 aralığına yükselmiştir. Titanyum dioksit kaplanmış numuneler ise her iki değer açısından da kaplamasız numune ile benzer sonuçlara sahiptir.

Jiang ve diğerleri (2017), magnetron püskürtme yöntemi ile polyester kumaş üzerine alüminyum katkılı çinko oksit (AZO) filmi kaplamışlardır. Kumaş numuneleri üzerindeki AZO film kalınlığının yanı sıra, su iticilik, ultraviyole koruma faktörü (UPF) ve kızılötesi yayma (emisyon) özellikleri değerlendirilmiştir. AZO film kalınlığı 450 nm olduğunda, AZO kaplı polyester kumaş, 146° temas açısı ve 362 UPF değeri vermiştir. Bu sonuçlar, AZO filmlerinin mükemmel hidrofobiklik ve ultraviyole koruma özelliklerine sahip polyester kumaş sağladığını göstermektedir. İşlem görmemiş kumaşta 0,979 olan kızılötesi yayma değeri, AZO kaplı kumaşta 0,916'ya kadar düşmüştür. Su iticilik, ultraviyole koruma ve düşük kızılötesi emisyonda performansları nedeni ile AZO kaplı kumaşın UV bloke edici ve kızılötesi gizlilik özelliklerine sahip umut verici bir tekstil malzemesi olabileceği ifade edilmiştir.

Peng ve diğerleri (2018) magnetron püskürtme tekniği kullanarak polyester kumaşlar üzerine titanyum dioksit/bakır/titanyum dioksit ($TiO_2/Cu/TiO_2$; TCT) şeklinde sandviç kaplamalar çalışmışlardır. TCT kaplı kumaşların 8-14 μm arasında değişen IR dalga boylarındaki yansıtma davranışına ilave olarak eğilme sertliği, mekanik ve adezyon mukavemetleri değerlendirilmiştir. Üst TiO_2 kaplamasının kalınlığı sabit tutulup 50 nm olarak çalışılmıştır. Cu katmanının kalınlığı ise 5, 10, 20 ve 30 dakikalık kaplama süreleri sonunda 55, 106, 134 ve 200 nm olarak elde edilmiştir. Sonuçlar, 30 dakika boyunca bakır püskürtülen ve 200 nm kalınlığında bir bakır filmi oluşturan polyester kumaş üzerindeki TCT sandviç benzeri yapının, IR dalga boylarında maksimum oranda yansıtma özelliğine sahip olduğunu göstermiştir. Cu ile 5, 10, 20 ve 30 dakika boyunca püskürtülen TCT kaplı polyester kumaş numunelerinin rengi sırasıyla yeşil, sarı, kahverengi ve mor olarak elde

edilmiştir. TCT kaplı kumaşların UV geçirgenliği de işlem görmemiş kumaşa göre %30 oranında azalmıştır.

Lv ve diğerleri (2020) florür içermeyen füme silika nanopartikülleri ile infrared reflektif pigmentleri karıştırıp etanol içine ilave ederek üniform bir süspansiyon elde etmişlerdir. Numuneler düzenli bir şekilde bir yapıştırıcı (stiren-bütadien kauçuk) çözelti ve infrared reflektif pigment/füme silika süspansiyonuna daldırılarak kaplama işlemi gerçekleştirilmiş ve polyester kumaşlar üzerinde süperhidrofobik kaplamalar elde edilmiştir. Yapıştırıcı çözeltisi 250 g/l olacak şekilde seyreltilmiş kumaşların hava geçirgenliği, yapıştırıcının doğrudan püskürtüldüğü kumaşlara kıyasla 10 kat artmıştır. Süperhidrofobik kaplamaların yüksek kızılötesi yansıtma ve ısı yalıtımı sağladığı ve 30 gün boyunca açık alana bırakıldığında bile kızılötesi yansıtma özelliğinin etkilenmediği gözlenmiştir.

Esen, İlhan, Karaaslan ve Esen (2020) çalışmalarında alüminyum (Al) ve çinko (Zn) gibi metal malzemelerle kaplanmış tekstil kumaş numunelerinin EMI (elektromanyetik girişim) ve UV/IR (ultraviyole/kızılötesi) koruma özelliklerini incelemiştir. Çalışmada kullanılan tekstil materyali, %95 pamuk ve %5 elastan lifli dokuma kumaştır. Numuneler metal partiküller ile vakum ortamında termal buharlaştırma tekniği kullanılarak kaplanmıştır. Bu yöntemin temel prensibi, vakum/inert ortamda ısıtılan metal partiküllerin buharlaştırılması ve termal olarak buharlaştırılmış nano-partiküllerin kaplanacak yüzeye üç boyutlu olarak yayılmasıdır. Hem Zn hem de Al kaplamanın tekstil numunelerinin EMI ve UV/IR koruma özelliklerini iyileştirmede etkili olduğu görülürken Zn kaplamanın daha etkili olduğu ifade edilmiştir. Özellikle Zn kaplı kumaş numuneleri yüksek etkili UV-A (< 420 nm dalga boyu) koruma özelliği sergilemiştir. Her iki kumaş numunesinde de EMI absorpsiyon analizinde güçlü absorpsiyon frekans bölgeleri gözlemlenmiştir. Zn kaplı kumaş numunelerinin Al kaplı kumaşlardan daha iyi EMI ekranlama performansı sağladığı belirtilmiştir.

Ruffen ve Mahltig (2021) tarafından yapılan çalışmada, bazalt lifleri tekstil zemin kumaşlara uygulanan polimerik kaplamalarda katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Kullanılan bazalt lifleri yaklaşık 13 µm çapında ve 0,16-4 mm uzunluklarında kısa

liflerdir. Çalışmada pamuklu zemin kumaş kullanılmış olup, akrilat ve poliüretan bazlı kaplamalar gerçekleştirilmiştir. Akrilat esaslı binder grubuna ait deneylerin bir kısmında, bir silikat bileşiği olan Aerosil ile modifikasyon yapılarak değerlendirilmiştir. Kaplanmış numuneler taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve optik spektroskopi ile incelenmiştir. Optik spektrumlar 220-1400 nm arasındaki spektral aralıkta kaydedilmiştir. 0,16 mm olarak en kısa lif uzunluğu için alınan SEM sonuçlarına göre, bazalt lif konsantrasyonu %30 veya daha yüksek olduğunda, tüm kumaşın liflerle tamamen kaplandığı görülmüştür. Araştırılan en düşük konsantrasyonlarda (%2,5 ve %5) bazalt lifleri pamuk malzeme üzerinde neredeyse rastgele yönlendirilmiş şekildedir. Kaplama reçetesinde daha yüksek lif konsantrasyonunun çıkılmasıyla, birçok bazalt lifinin paralel yönelimine doğru bir eğilim gözlemlenmiştir. Aynı konsantrasyonda bazalt liflerine (%20) sahip ancak farklı bağlayıcı reçetelerine sahip numunelerin iletim spektrumları karşılaştırılmıştır. Kullanılan binder tipinin, kaplanmış numunelerin optik geçirgenliği üzerinde neredeyse hiçbir etkisinin olmadığı görülmüştür. Böylece kaplamaların geçirgenliğini belirleyen bileşenin bazalt lifi olduğu söylenebilmektedir. Geliştirilmiş bazalt lifli kaplamalar IR yansımada bir azalmaya ve aynı zamanda IR ışığının geçirgenliğinde de ciddi bir azalmaya yol açmıştır. Bu düşünün, bazalt lifleri tarafından IR ışığının güçlü bir şekilde absorblanmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Maksimum bazalt lifi konsantrasyonunda özellikle 370-400 nm spektral aralıkta çok düşük geçirgenlik değerlerine ulaşılmıştır. Güneş ışığının UV içeriği özellikle bu aralıkta olduğundan, maksimum konsantrasyonda bazalt içeren kaplamaların UV koruyucu özellik gösterdiği ifade edilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kumaş

Tez çalışmasında kullanılan zemin kumaşı, Küçükçalık Tekstil San. ve Tic. A.Ş. (Bursa) firmasından haşılı sökülmüş ve termofiksajı yapılmış şekilde kaplamaya hazır formda temin edilmiştir. Piyasada stor, güneşlik ve karartma perde üretiminde yaygın olarak kullanılan bir kumaş türü tercih edilmiştir. Zemin kumaşının teknik özellikleri Çizelge 3.1’de belirtilmiştir. Eşit ölçülerde numune elde edilmesi için toplar halinde temin edilen kumaşın, kaplama makinesinde kullanıma uygun ebatlarda Safran Tekstil A.Ş. (Bursa) firmasında kesim işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1. Zemin kumaşının özellikleri

	Çözü	Atkı
İplik cinsi	Tekstüre polyester	Tekstüre polyester
İplik numarası (denye)	300/72	300/72
Sıklık (adet/cm)	30	18
İplik kıvrımı (%)	1,16	0,30
Kumaş yapısı	1/1 Bezayağı	
Kumaş birim alan ağırlığı (g/m ²)	169	

3.1.2. Kaplama kimyasalları

Kullanılan temel kaplama kimyasalları Rudolf-Duraner (Bursa) firmasından temin edilmiştir. Maddelerin özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kaplama kimyasalları ve özellikleri

Kimyasal Madde	Özellik
Binder (AC 111)	Akrilik binder, anyonik / noniyonik, %50 katı madde oranı
Binder (Ruco-Coat PU 111)	Polieter poliüretan dispersiyonu, anyonik, %40 katı madde oranı
Binder (Ruco-Coat VA 3210)	Vinil asetat etilen kopolimer, anyonik, %50 katı madde oranı
Binder (AC 223)	Stiren-akrilik kopolimer, anyonik, %36 katı madde oranı

Çizelge 3.2. Kaplama kimyasalları ve özellikleri (devam)

Fiksator (Ruco-Coat FX 8011)	Bütanon okzim içermeyen bloke izosiyonat bazlı çapraz bağlama maddesi, anyonik
Sentetik kıvamlaştırıcı (Ruco-Coat TH 5020)	Nötralize edilmiş poliakrilat, anyonik
Köpük kesici (Ruco-Coat DA 3000)	Hidrokarbonlar, etoksile yağ asitleri ve silisik asit kombinasyonu, noniyonik
Amonyak	%25'lik sıvı (teknik kalite)
Su	Ters ozmozdan geçirilmiş yumuşak su

3.1.3. Dolgu malzemeleri

Tez çalışmasında kullanılan dolgu malzemeleri; yaygın olarak kullanılan geleneksel malzemeler, düşük ısı iletim katsayısına sahip yalıtkan malzemeler ve yüksek yansıtıcılık özelliği gösteren malzemeler olarak üç grupta toplanarak incelenmiştir. Referans malzeme olarak çalışılan geleneksel dolgu malzemelerinden kalsit ve titanyum dioksit için sadece konsantrasyonun sonuçlar üzerindeki etkisi incelenirken; araştırma kapsamına alınan diğer tüm alternatif dolgu malzemelerinde ise farklı tanecik boyutu ve farklı konsantrasyon değerleri için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

- **Kalsit**

Ucuz ve kolay temin edilebilir olma özellikleri nedeniyle, piyasada kaplamalı perdelik kumaş üretiminde dolgu maddesi olarak yaygın şekilde kullanılan kalsit (CaCO_3 , kalsiyum karbonat), standart numunelerin oluşturulmasında tercih edilen malzemelerden biridir. Kullanılan kalsit $5,5 \pm 0,5$ mikron boyutunda doğal kalsit tozu olup, Aydın Madencilik (Bursa) tarafından tedarik edilmiştir.

- **Titanyum dioksit**

Deneylerde kullanılan ikinci geleneksel dolgu maddesi, yüksek örtücülük özelliği (refraktif indeksi) ile piyasada çok kullanılan titanyum dioksittir. Deneylerde rutil tipi 0,28 mikron tanecik boyutunda titanyum dioksit kullanılmış olup, Motan Metal Kimya Sanayi A.Ş. (İstanbul) tarafından tedarik edilmiştir.

- **Pomza**

Yalıtkan özellikli alternatif dolgu malzemelerinden biri olarak kullanılan pomza tozu, Soylu Grup (İzmir) tarafından 0-106 ve 63-180 mikron olmak üzere iki farklı tanecik boyutu aralığında temin edilmiştir. Ancak tanecik boyutu aralığının çok geniş olması ve tez çalışmasında üç farklı tanecik boyutuna ihtiyaç duyulması nedeni ile Fritsch marka eleme cihazında eleme işlemi yapılmıştır. İşlem sonrası 0-25, 50-75 ve 100-150 mikron pomza tozu elde edilerek deneylerde kullanıma hazır hale getirilmiştir.

- **Perlit**

Termal yalıtım özelliğiyle bilinen bir diğer malzeme olan genişletilmiş perlit, 0-150 µm tanecik boyutu aralığında Cevahirler Madencilik'ten (İzmir) temin edilmiştir. Ancak pomzada olduğu gibi uygun tanecik boyutlarını elde edebilmek için eleme işlemi yapılmıştır. Eleme işlemi sonrası 10-38, 50-63 ve 100-150 mikron olmak üzere üç farklı tanecik boyutu aralığında perlit tozu elde edilmiştir.

- **Selüloz tozu**

Doğal kökenli ve yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip bir malzeme olarak bilinen selüloz tozları JRS GMBH+CO KG (Almanya) firmasından 18, 120 ve 300 mikron olmak üzere üç farklı tanecik boyutunda temin edilmiştir. Üretimde kullanılan kaynak odundur. Kimyasal olarak modifiye edilmemiş, üretim sırasında yapıdaki amorf bölgeler yok edilmemiştir. Ürünler, yıkanmış, öğütülmüş ve istenen tanecik boyutuna göre elenmiş ham selülozdur.

- **Alüminyum ve bakır tozu**

Yüksek yansıtıcı özellikleri nedeni ile tercih edilen metalik tozlar, Elso Kimya San. ve Tic. A.Ş. (İstanbul) tarafından temin edilmiştir. Alüminyum tozunda 14, 20 ve 40 mikron, bakır tozunda ise 15, 28 ve 42 mikronda çalışılmıştır.

3.2. Yöntem

Tez çalışmasında, piyasada yaygın olarak kullanılan dolgu malzemeleri ile termal yalıtım ve solar yansıtma amaçlarına yönelik olarak kullanılan üç farklı malzeme sınıfı kullanılmıştır. Çalışmanın amaçlarından biri; kullanılan dolgu malzemesinin tanecik boyutunun ve çalışılan konsantrasyon değerinin test edilecek farklı özellikler üzerindeki etkisinin incelenmesidir. Bu sebeple, geleneksel olanlarda endüstride yaygın kullanılan birer tanecik boyutu ile; diğerleri için üç farklı tanecik boyutunda malzeme ile ve bunların özellikleri de dikkate alınarak belirlenen dört farklı konsantrasyon değerinde kaplama çalışmaları yapılmıştır. Yansıtıcı özellikli metal tozların kullanım konsantrasyonları, kaplamalarda gösterdikleri yüksek örtücülük yetenekleri ve toz üreticilerinin tavsiyeleri göz önüne alınarak diğer dolgu maddelerine göre 1/2 oranında alınmıştır. Her malzemeye ait tanecik boyutu ve konsantrasyon değerleri Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Dolgu malzemelerinin tanecik boyutları ve çalışma konsantrasyonları

Sınıflandırma	Dolgu Malzemesi	Tanecik Boyutu (μm)	Konsantrasyon (g/kg)
Geleneksel Dolgu Malzemeleri	Kalsit	5,5 \pm 0,5	20, 40, 60, 80
	Titanyum dioksit	0,28	20, 40, 60, 80
Yalıtkan Dolgu Malzemeleri	Pomza	0-25, 50-75, 100-125	20, 40, 60, 80
	Perlit	10-38, 50-63, 100-150	20, 40, 60, 80
	Selüloz tozu	18, 120, 300	20, 40, 60, 80
Yansıtıcı Özellikli Dolgu Malzemeleri	Alüminyum tozu	14, 20, 40	10, 20, 30, 40
	Bakır tozu	15, 28, 42	10, 20, 30, 40

Tez kapsamında ön çalışma olarak incelenen bir konu da deneylerde kullanılan binder (kaplama polimeri) türünün ve çalışılan konsantrasyonun test edilecek özellikler üzerinde önemli bir etkisi olup olmadığıdır. Bu amaçla Çizelge 3.4'te görüldüğü gibi, kaplamada yaygın olarak kullanılan dört farklı binder türü ile farklı konsantrasyon değerlerinde denemeler yapılmıştır. Elde edilen ön deneme sonuçları değerlendirilerek seçilen tek binder ile deneysel çalışmalara devam edilmiştir.

Çizelge 3.4. Binder çeşitleri ve çalışma konsantrasyonları

Binder Türü	Konsantrasyon (g/kg)
Akrilik	400, 600, 800
Poliüretan	400, 600, 800
Vinil asetat	400, 600, 800
Stiren-Akrilik	400, 600, 800

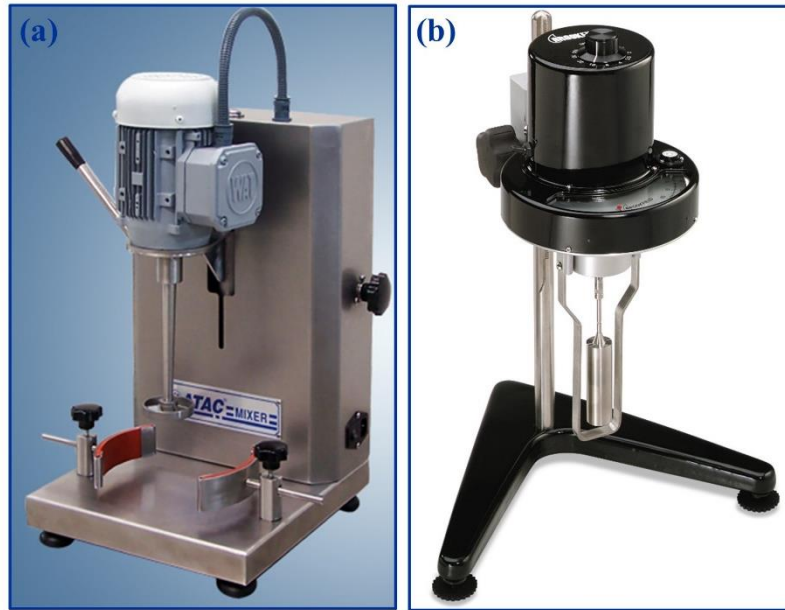
3.2.1. Stok patının hazırlanması

Temel kaplama kimyasalları kullanılarak hazırlanan stok patlarına ait reçete örneği Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Stok patı reçetesi

Kimyasal Madde	Miktar (g)
Su	597
Binder	350
Amonyak	5
Fiksator	25
Köpük Kesici	5
Kıvamlaştırıcı	18
Toplam	1000

Stok patı reçetedeki sıraya göre malzeme ilaveleri yapılarak hazırlanmıştır. Binder, su ile karıştırılmış ve pH ayarı için amonyak ilave edilmiştir. Şekil 3.1’de gösterilen Ataç marka yüksek devirli karıştırıcı ile homojen bir şekilde karıştırmaya devam edilirken fiksator ilavesi yapılmıştır. Devamında sentetik kıvamlaştırıcı belli aralıklarla eklenmiş ve bu esnada karıştırma hızı da artırılmıştır. Bu hızla birlikte kıvam maddesi etkisi ile gereken viskozite değerine ulaşılmıştır.



Şekil 3.1. (a) Ataç laboratuvar tipi mikser (‘‘ATC-MX01/01P’’, t.y.), (b) Brookfield RVT viskozimetre (‘‘Labomar’’, t.y.).

Hazırlanan stok patlarının pH değeri 9,5-10 olarak ayarlanmıştır. Viskozite ölçümünde Şekil 3.1’de görülen Brookfield marka RVT analog viskozimetre kullanılmıştır. Ölçümler 50 rpm hızda 6 numaralı mil ile yapılmıştır. Tüm stok patlarında 4000 ± 200 cP aralığında viskozite değeri elde edilecek şekilde çalışılmıştır.

3.2.2. Kaplama patının hazırlanması

Stok patlarına materyal bölümünde bahsedilen dolgu malzemelerinin farklı konsantrasyon değerlerinde ilavesi ile hazırlanan kaplama patlarına ait örnek reçete Çizelge 3.6’da verilmiştir. Dolgu maddesi miktarında x ile gösterilen değer; Çizelge 3.3’te belirtilen şekilde, malzemelerin çalışılacağı konsantrasyon değerlerine bağlı değişmektedir.

Çizelge 3.6. Örnek kaplama patı reçetesi 1

Kimyasal Madde	Miktar (g)
Stok patı	800
Dolgu maddesi	x
Köpük Kesici	4
Denge (su/kıvamlaştırıcı)	y
Toplam	1000

Kaplama patları hazırlanırken, dolgu maddelerinin pat içerisinde düzgün dağılımını sağlamak ve topaklanma problemini önlemek adına, denge olarak ifade edilen kısımdan (y) bir miktar su ayrılmış ve ilave edilecek dolgu maddesi suda disperse olacak şekilde karıştırılmıştır. Stok patına ilave edilen köpük kesici sonrası disperse olmuş bu karışım eklenerek bir süre daha karıştırma işlemine devam edilmiştir. Viskozite sonucuna göre reçetede denge kapsamında kalan miktar, su veya kıvam maddesi ile tamamlanmıştır. Hazırlanan tüm kaplama patlarının viskozite değeri 7000 ± 200 cP olacak şekilde ayarlanmıştır.

Farklı binder türleri ile hazırlanan kaplama patlarına ait örnek reçete ise Çizelge 3.7’de verilmiştir. 400, 600 ve 800 g/kg olarak üç farklı konsantrasyonda binder ilavesine göre viskozite ölçümleri yapılarak denge olarak ifade edilen su/kıvamlaştırıcı miktarları belirlenmiştir. Çalışılan viskozite değeri diğer kaplama patları ile benzer şekilde 7000 ± 200 cP aralığındadır.

Çizelge 3.7. Örnek kaplama patı reçetesi 2

Kimyasal Madde	Miktar (g)
Binder	x
Amonyak	5
Fiksator	25
Köpük kesici	7
Kıvamlaştırıcı	y
Toplam	1000

3.2.3. Kaplama ve fiksaj

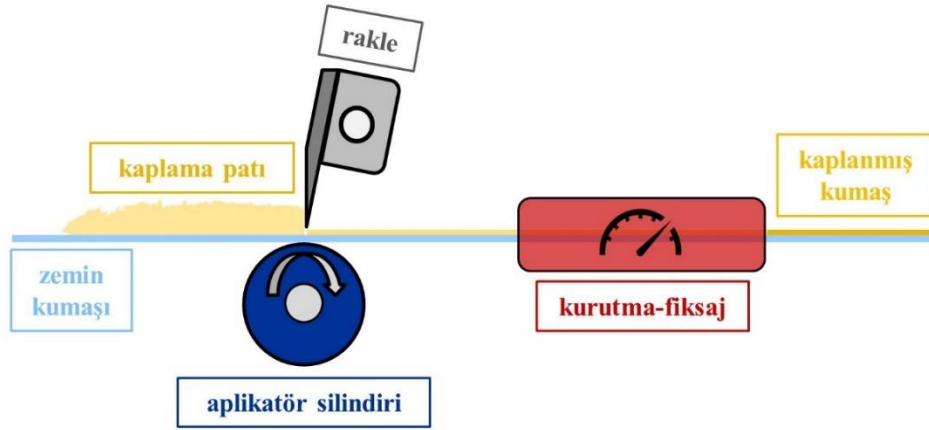
Daha önceden çözgü yönünde 42, atkı yönünde 32 cm olarak kesimi yapılmış olan zemin kumaşlarının kaplama ve kurutma işlemleri Şekil 3.2’de görülen Ataç GK40 RKL laboratuvar tipi kaplama makinesinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. (a) Laboratuvar tipi kaplama makinesi (“GK40 RKL”, t.y.) ve (b) Laboratuvar tipi kurutucu (“Rapid”, t.y.).

Kaplama yapılırken, Şekil 3.3’te şematik olarak gösterilen silindir üzerinde bıçak (rakle) prensibine göre çalışılmıştır. Bıçak ile silindir arasındaki mesafe her kaplamada sabit olmak üzere, sentil yardımıyla 0,5 mm olarak ayarlanmıştır. Keskin uçlu bıçak kullanılmış ve 90° bıçak açısı ile çalışılmıştır. Kaplama işlemi yapılan numuneler, yine aynı makine içerisinde 120°C’de 4 dakika süre ile kurutulmuştur. Ancak bu sürede metalik tozlarda, tam kurumama sorunu ortaya çıktığı için kurutma süresi 120°C’de 6

dakika olarak değiştirilmiştir. Kurutma işlemi tamamlanan numuneler, Şekil 3.2'de görülen Rapid marka laboratuvar tipi kurutma makinesi içinde 160°C'de 3 dakika süre ile fiksaj (kondenzasyon) işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.3. Silindir üstü bıçak(rakle) yöntemiyle kaplama ve kurutmanın şematik gösterimi

Her malzeme ve konsantrasyon değeri için yedi adet kumaş kaplanmış, aralarından en düzgün olan beş tane numune-test ve ölçümler için ayrılmıştır.

3.2.4. Kumaşların kalınlık ve birim alan ağırlığı ölçümü

Kumaşların kalınlık ölçümleri James Heal firmasının R&B Cloth Thickness Tester cihazı ile TS 7128 EN ISO 5084 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm öncesi cihaz kalibre edilmiştir. Test edilecek numune sabit bir mesnete ve dairesel baskı ayağı arasına yerleştirilmiş ve hareketli baskı ayağı ile kumaşı sıkıştırmak için sabit bir basınç uygulanmıştır. Kumaş üzerine yük uygulandığı anda göstergeden kalınlık değeri milimetre olarak alınmıştır. Kumaşların birim alan ağırlığı (g/m^2) ölçümleri TS 251 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Her iki testte de numunelerden beşer ölçüm alınmıştır.

3.2.5. Kumaşlara aktarılan madde miktarının hesaplanması

Hazırlanan kaplama patı su bazlı bir sistem olduğundan kurutma işlemi sonrası su uzaklaşacak ve kumaş üzerinde sadece aktarılan madde kalacaktır. Aktarılan madde miktarının tespiti (3.1)'deki denkleme göre yapılmıştır.

$$K_3 = K_2 - K_1 \quad (3.1)$$

K_1 : Kaplamasız kumaş gramajı (g/m^2)

K_2 : Kaplamalı kumaş gramajı (g/m^2)

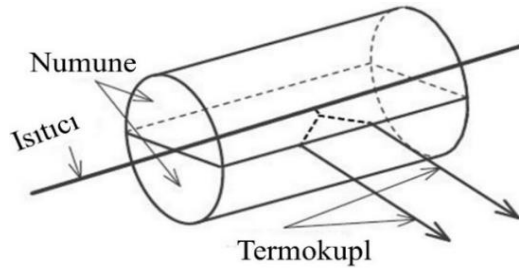
K_3 : Aktarılan madde miktarı (g/m^2)

3.2.6. Taramalı elektron mikroskop (SEM) analizi

Kumaşların SEM analizi Bursa Uludağ Üniversitesi'nde Zeiss marka EVO 40 model cihazında yapılmıştır. Analizden önce numunelere, 1-3 nm kalınlığında altın paladyum kaplama işlemi uygulanmıştır. Uygulanan voltaj değeri 20 kV'dur. Metalik pigment içeren numunelerin analizinde, görüntüler hem ikincil elektronlarla hem de geri saçılmış elektronlarla alınmıştır.

3.2.7. Kumaşların termal iletkenlik katsayısı ölçümü

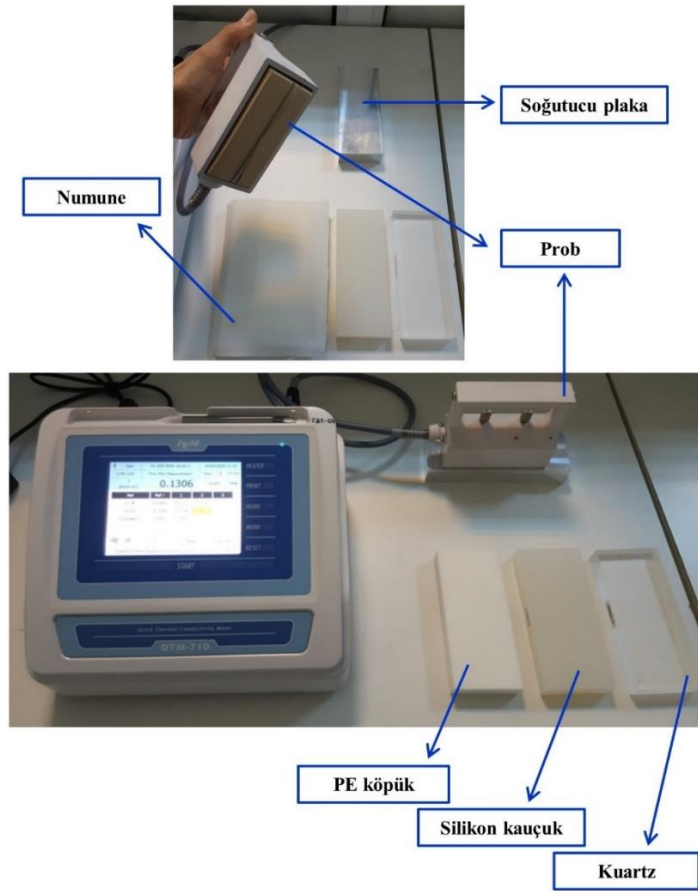
Kumaş numunelerinin termal iletkenlik katsayılarının ölçümünde JIS R 2618 (testing method for thermal conductivity of insulating fire bricks by hot wire) standardına göre çalışan Quick Thermal Conductivity Meter (QTM) cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Sıcak tel metodu.

Cihazın çalışma prensibi, “Hot Wire (sıcak tel)” veya “Probe Method” olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.4). Bu prensibe göre, bir ısıtıcı tel sonsuz silindirik homojen bir numunenin merkezinden uzatıldığında ve sabit ısı verildiğinde, telin sıcaklığı süreyle üstel bir artış hızında yükselecektir. Referans plaka üzerine bir örnek yerleştirildikten sonra, başlangıç durumundan sapmayı bulmak için bir süre boyunca sıcaklık artışı,

logaritmik zamana göre izlenir. Numune ısı iletkenliği referans plakasından daha yüksekse sapma pozitif, düşük ise negatif olur. Şekil 3.5'te grldğg üzere polietilen köpük, silikon kauçuk ve kuartz olmak üzere ısı iletim katsayıları bilinen üç farklı referans plakası ile 'ince film ölçümü (thin film measurement)' olarak ifade edilen ölçüm prensibine göre ölçümler gerçekteşirilmіştir. lçm öncesinde tüm numuneler, %65±2 bağıl nem ve 20±2 °C sıcaklıkta kondsyonlanmıştır.



Şekil 3.5. Quick Thermal Conductivity Meter (QTM)-710 termal iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı.

Numunelerin ısı iletim katsayıları (3.2)'deki denkleme göre hesaplanmaktadır:

$$\lambda = q \cdot \ln (t_2/t_1) / 4\pi(T_2 - T_1) \quad (3.2)$$

λ ; numunelerin termal iletkenlik katsayısı (W/mK), q ; sıcak telin birim zamanda birim uzunluğu başına sabit ısı üretim miktarı (W/m), t ; süre (sn) ve T ; sıcaklıktır (K).

3.2.8. Kumaşların radyan ısı geçişi ölçümü

İletimle (kontakt) ısı transferi prensibine dayanan ısı iletim katsayısı testlerine ilave olarak, özellikle perdelik kullanıma yönelik numunelerde radyan ısı geçişinin de değerlendirilmesi gerektiği görülmüştür. Bu kapsamda Haşimoğlu Mamatlar Makine tarafından Şekil 3.6’da görülen cihaz geliştirilmiştir. EN ISO 6942 (protective clothing-protection against heat and fire-method of test: evaluation of materials and material assemblies when exposed to a source of radiant heat) standardına göre çalışan cihaz radyan ısı transferini ölçerek, ısı geçiş faktörü (TF, %) ve kumaştan geçen ısı akısı yoğunluğunu (Q_c , kW/m²) belirlemektedir. Bu iki parametre test başlangıç sıcaklığına göre $12\pm 0,1$ ve $24\pm 0,2$ °C artışlar için gereken sürelerin (t_{12} ve t_{24}) ölçülmesi ve kaydedilmesi ile hesaplanmaktadır. Geçen ısı akısı yoğunluğu Q_c , (3.3) denklemine göre belirlenmektedir:

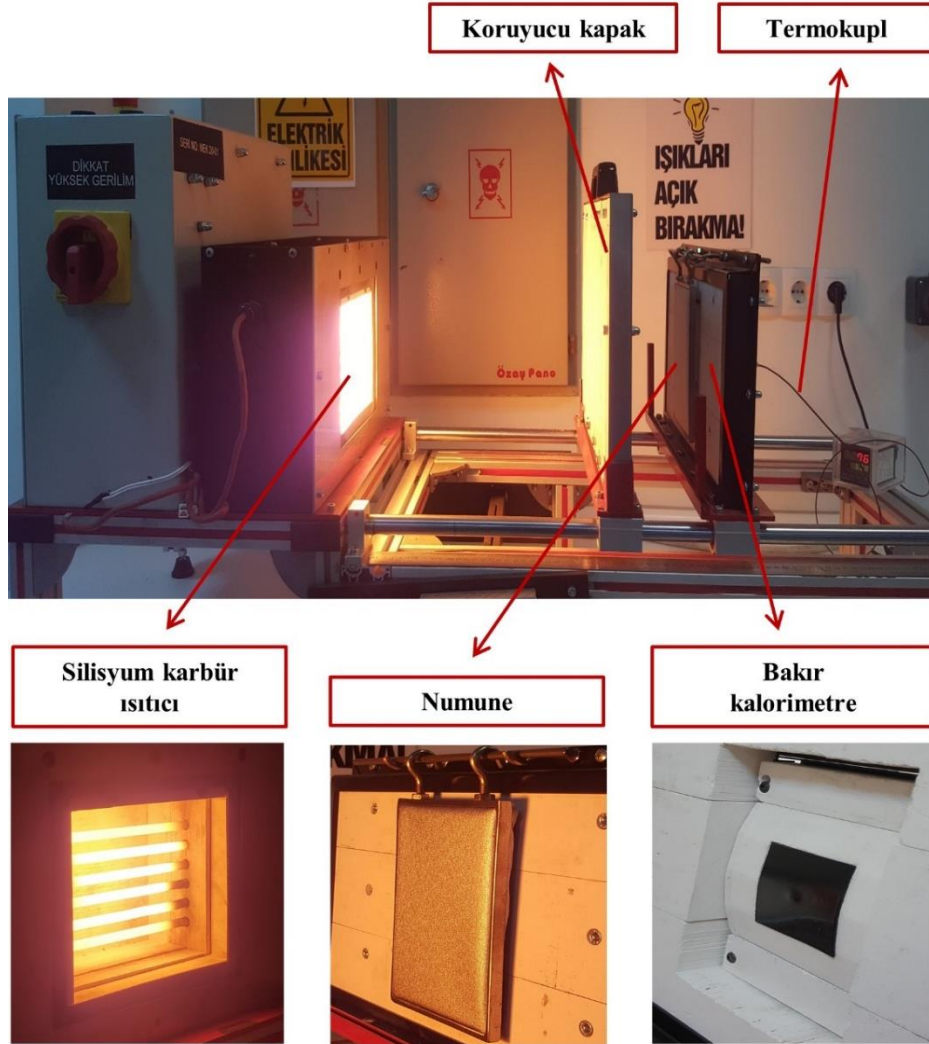
$$Q_c = \frac{M \cdot C_p \cdot 12}{A \cdot (t_{24} - t_{12})} \quad (3.3)$$

Burada M ; bakır levhanın kütlesi (22×10^{-3} kg), C_p ; bakırın özgül ısısı (0,385 kJ/kg°C), $12/(t_{24}-t_{12})$; 12°C ile 24°C sıcaklık artışı arasındaki bölgede kalorimetre sıcaklığının ortalama artış hızı (°C/s), A ; bakır levhanın alanı (25×10^{-4} m²) olarak ifade edilmektedir. Isı geçiş faktörü TF (Q_0) başlangıç ısı akısının (Q_0 , kW/m²) seviyesine göre denklem (3.4) ile hesaplanmaktadır;

$$TF(Q_0) = \frac{Q_c}{Q_0} \quad (3.4)$$

Başlangıç ısı akısı yoğunluğu (Q_0) standartta düşük seviye olarak ifade edilen 5 kW/m² olarak seçilmiştir. Gerekli ısı akısı, silisyum karbür ısıtıcı çubuklar ile sağlanmaktadır. Numuneler çerçeve şeklinde bir numune tutucuya yerleştirilerek radyan ısıya maruz bırakılmıştır. Maruziyet süresi manuel olarak kullanılan bir koruyucu kapak (ısı kalkanı) yardımı ile kontrol edilmektedir. Kalorimetredeki $12\pm 0,1$ ve $24\pm 0,2$ °C sıcaklık artışları için geçen süreler kaydedilmiş ve gerekli veriler girilerek yukarıdaki denklemlere göre

hesaplamalar yapılmıştır. Tüm numuneler ölçümlerden önce 65 ± 2 bağıl nem ve 20 ± 2 °C sıcaklıkta kondüsyonlanmıştır.



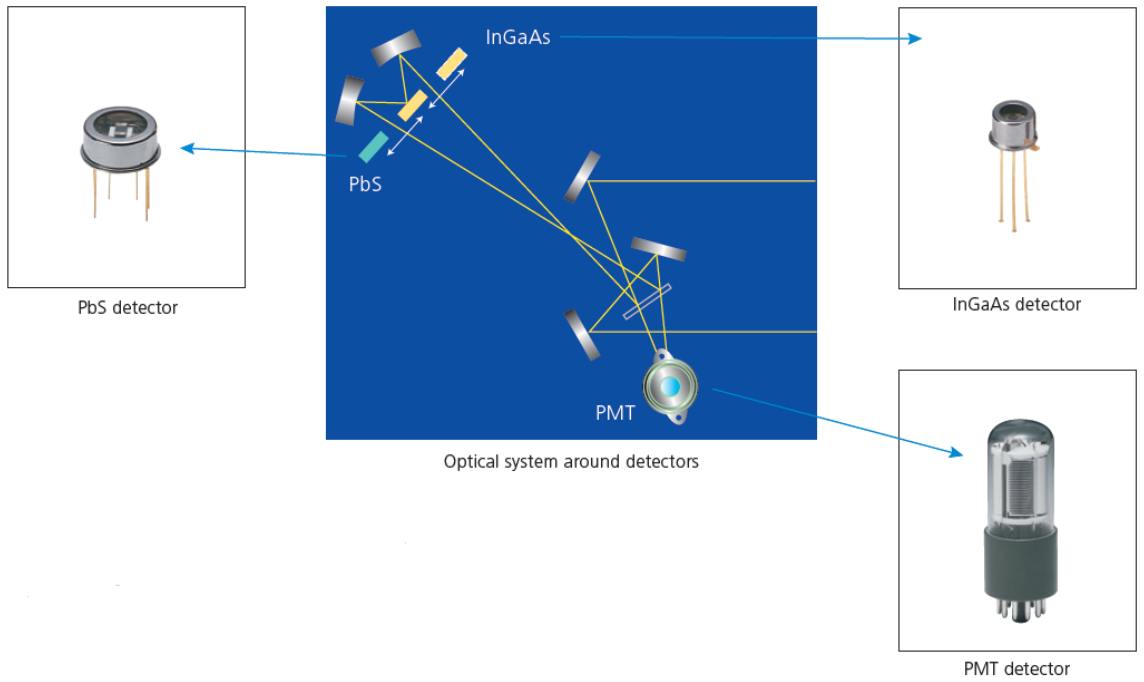
Şekil 3.6. Radyan ısı geçişi ölçümü.

3.2.9 Kumaşların solar özelliklerinin ölçümü

Numunelerin solar özelliklerinin değerlendirilmesinde EN 14500:2008 standardına göre çalışan Shimadzu (Japonya) firmasına ait UV-3600 Plus model spektrofotometre (Şekil 3.7) kullanılmıştır. Cihazda üç adet dedektör bulunmaktadır. Ultraviyole ve görünür bölgede PMT (photomultiplier tube), yakın kızılötesi bölgede ise InGaAs ve soğutmalı PbS dedektörleri kullanılmaktadır (Şekil 3.8).

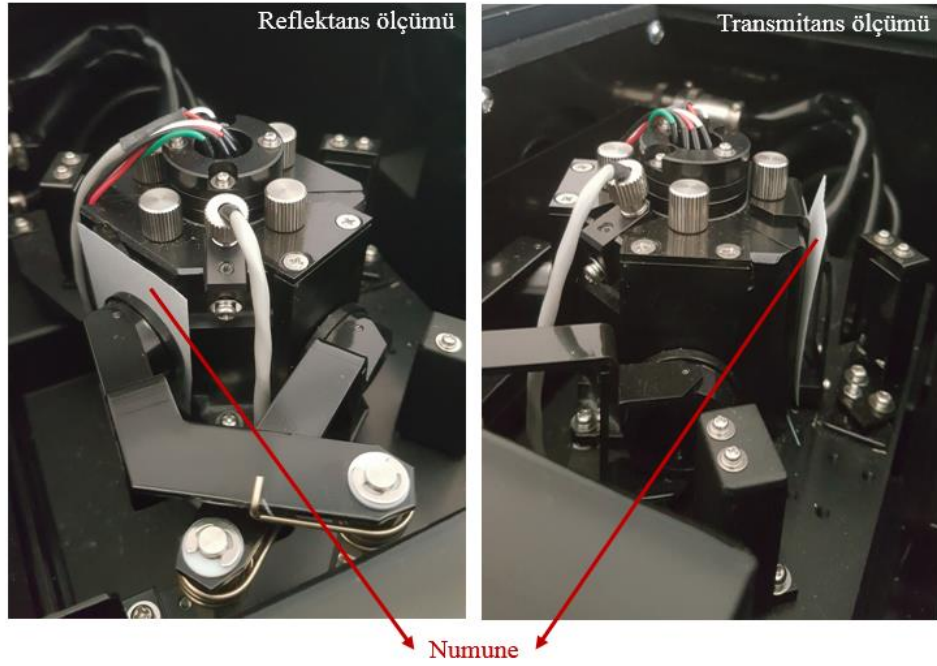


Şekil 3.7. Shimadzu UV-3600 plus spektrofotometre (“ANT Teknik”, t.y.)



Şekil 3.8. Shimadzu UV-3600 plus spektrofotometre dedektör sistemi (“ANT Teknik”, t.y.)

Elde edilmek istenen çıktılara bağlı olarak, cihazın numune yerleştirme bölümünde hazır olan klasik ekipman çıkarılmış ve onun yerine Şekil 3.9’da gösterilen ISR 603 Integrating Sphere ekipmanı kullanılmıştır.



Şekil 3.9. ISR 603 Integrating Sphere

280-2500 nm dalga boyu aralığında 5 nm örnekleme aralığı seçilerek taramalar gerçekleştirilmiştir. Teste başlamadan önce ölçülen parametreye göre (geçirgenlik veya yansıtma) doğrulama ölçümleri (base-line) alınmıştır. Her numune için geçirgenlik ve yansıtma ölçümleri yapılmış, elde edilen sonuçlar EN 410 standardına göre çalışan bir excel programı aracılığı ile anlamlı ortalama verilere dönüştürülmüştür. Hesaplamalarda kullanılan denklemler (3.5-3.11) arasında verilmiştir. Hesaplama programına ait çıktılar Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Spektrofotometre program çıktıları

Program çıktıları	Tanımı	Dalga boyu aralığı (nm)
T _{UV}	Ultraviyole bölge geçirgenliği	280-380
T _V	Görünür bölge geçirgenliği	380-780
T _S	Solar geçirgenlik	300-2500
R _V	Görünür bölge yansıtması	380-780
R _S	Solar yansıtma	300-2500
R _{NIR}	Yakın infrared bölge yansıtması	800-2500
A _S	Solar absorbens	300-2500

$$T_V(\%) = \frac{\sum_{\lambda=380}^{780} D_{\lambda} \tau(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{780} D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (3.5)$$

$$R_V(\%) = \frac{\sum_{\lambda=380}^{780} D_{\lambda} \rho(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380}^{780} D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (3.6)$$

$$T_S(\%) = \frac{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (3.7)$$

$$R_S(\%) = \frac{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_{\lambda} \rho(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300}^{2500} S_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (3.8)$$

$$A_S(\%) = 1 - (T_S + R_S) \quad (3.9)$$

$$T_{UV}(\%) = \frac{\sum_{\lambda=280}^{380} U_{\lambda} \tau(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=280}^{380} U_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (3.10)$$

$$R_{NIR}(\%) = \frac{\sum_{\lambda=800}^{2500} D_{\lambda} \rho(\lambda) V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=800}^{2500} D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (3.11)$$

Burada, D_{λ} ; D65 ışığının bağıl spektral dağılımıdır, $\tau(\lambda)$; malzemenin spektral geçirgenliği, $V(\lambda)$; fotopik görme için spektral aydınlatma verimi, $\Delta\lambda$; dalga boyu aralığı, $\rho(\lambda)$; malzemenin spektral yansımaları, S_{λ} ; güneş ışınımının bağıl spektral dağılımı ve U_{λ} ; küresel güneş ışınımının UV bölgesinin bağıl dağılımıdır (Yıldırım, Kanber, Karahan ve Karahan, 2018).

3.2.10. İstatistiksel analiz

Elde edilen ölçüm sonuçlarının istatistiksel analizi için SPSS 23 programı kullanılmıştır. Binder polimerinin türü ve konsantrasyonunun numune özellikleri (kalınlık, birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı, radyan ısı geçişi ve solar özellikler) üzerine etkisinin istatistiksel önemini belirlemek için iki yönlü ANOVA uygulanmıştır.

Kalsit ve titanyum dioksit dolgu maddeleri için yalnızca konsantrasyonun; perlit, pomza, selüloz tozu, alüminyum ve bakır tozu için ise hem konsantrasyon hem de tanecik

boyutunun; numunelerin kalınlık, birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı, ısı iletim katsayısı, radyan ısı geçişi ve solar özellikleri üzerine etkisinin istatistiksel önemini belirlemek için iki yönlü ANOVA uygulanmıştır. Anlamlılık seviyeleri Student–Newman–Keuls (SNK) testi ile karşılaştırılmış, tüm istatistiksel testler için anlamlılık seviyesi (α) değeri 0,05 olarak seçilmiştir. Etki dereceleri ortalama değerlere göre belirlenmiş olup, aralarında önemli ölçüde farklılık olduğunu ifade etmek için farklı harflerle gösterilmiştir.

Ölçüm sonuçlarına ait verilerin değerlendirilmesinde kullanılan tek faktörlü ve iki faktörlü tamamen tesadüfi dağılımlı varyans analiz tekniklerinin matematiksel modelleri şu şekildedir:

Tek faktörlü varyans analiz tekniği

$$Y_{ij} = \mu + A_i + \epsilon_{ij}$$

Y_{ij} : (A) faktörün i'inci seviyesindeki j'inci gözlem

μ : Faktörün bütün seviyeleri için ortak etki (her zaman sabit)

A_i : Faktörün i'inci seviyesindeki etkisi $i = 1, 2, \dots, a$

ϵ_{ij} : A faktörünün i'inci seviyesindeki j'inci gözlemde bulunan tesadüfi hata

İki faktörlü varyans analiz tekniği

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \epsilon_{k(ij)}$$

Y_{ijk} : Birinci (A) faktörün i'inci ve ikinci (B) faktörün j'inci seviyelerindeki k'ıncı gözlem

μ : Her iki faktörün bütün seviyeleri için ortak etki (her zaman sabit)

A_i : Birinci faktörün i'inci seviyesindeki etkisi $i = 1, 2, \dots, a$

B_j : İkinci faktörün j'inci seviyesindeki etkisi $j = 1, 2, \dots, b$

AB_{ij} : A ve B faktörlerinin ij'deki kesişimlerinin etkisi

$E_{k(ij)}$: A ve B faktörlerinin ij 'deki kesişimindeki k 'inci gözlemde bulunan tesadüfi hata

$k = 1, 2, \dots, n$

Çizelge 3.9. Farklı polimerler ile kaplı kumaşlara uygulanan istatistiksel analizlere ait hipotezler

İki faktörlü tamamen tesadüfi dağılımlı varyans analizi tekniği		
Değişken 1: Kalınlık		
Faktör 1: Konsantrasyon	Hipotezler	
	H₀	H_A
	H ₀₁ : Konsantrasyonun kumaş kalınlığına etkisi yoktur.	H _{A1} : Konsantrasyonun kumaş kalınlığına etkisi vardır.
Faktör 2: Binder türü	H ₀₂ : Binder türünün kumaş kalınlığına etkisi yoktur.	H _{A2} : Binder türünün kumaş kalınlığına etkisi vardır.
	H ₀₃ : Konsantrasyonun ve binder türünün kumaş kalınlığına birlikte etkisi yoktur.	H _{A3} : Konsantrasyonun ve binder türünün kumaş kalınlığına birlikte etkisi vardır.
	Değişken 2: Birim alan ağırlığı	
Faktör 1: Konsantrasyon	H₀	H_A
	H ₀₁ : Konsantrasyonun kumaş birim alan ağırlığına etkisi yoktur.	H _{A1} : Konsantrasyonun kumaş birim alan ağırlığına etkisi vardır.
	Faktör 2: Binder türü	H ₀₂ : Binder türünün kumaş birim alan ağırlığına etkisi yoktur.
H ₀₃ : Konsantrasyonun ve binder türünün kumaş birim alan ağırlığına birlikte etkisi yoktur.		H _{A3} : Konsantrasyonun ve binder türünün kumaş birim alan ağırlığına birlikte etkisi vardır.
Değişken 3: Aktarılan madde miktarı		
Faktör 1: Konsantrasyon	H₀	H_A
	H ₀₁ : Konsantrasyonun kumaşa aktarılan madde miktarına etkisi yoktur.	H _{A1} : Konsantrasyonun kumaşa aktarılan madde miktarına etkisi vardır.

Çizelge 3.9. Farklı binnerler ile kaplı kumaşlara uygulanan istatiksels analizlere ait hipotezler (devam)

Faktör 2: Binner türü	H ₀₂ : Binner türünün kumaşa aktarılan madde miktarına etkisi yoktur.	H _{A2} : Binner türünün kumaşa aktarılan madde miktarına etkisi vardır.
	H ₀₃ : Konsantrasyonun ve binner türünün kumaşa aktarılan madde miktarına birlikte etkisi yoktur.	H _{A3} : Konsantrasyonun ve binner türünün kumaşa aktarılan madde miktarına birlikte etkisi vardır.
Değişken 4: Geçen ısı akısı yoğunluğu (Q _C)		
Faktör 1: Konsantrasyon	H₀	H_A
	H ₀₁ : Konsantrasyonun kumaştan geçen ısı akısı yoğunluğuna etkisi yoktur.	H _{A1} : Konsantrasyonun kumaştan geçen ısı akısı yoğunluğuna etkisi vardır.
Faktör 2: Binner türü	H ₀₂ : Binner türünün kumaştan geçen ısı akısı yoğunluğuna etkisi yoktur.	H _{A2} : Binner türünün kumaştan geçen ısı akısı yoğunluğuna etkisi vardır.
	H ₀₃ : Konsantrasyonun ve binner türünün kumaştan geçen ısı akısı yoğunluğuna birlikte etkisi yoktur.	H _{A3} : Konsantrasyonun ve binner türünün kumaştan geçen ısı akısı yoğunluğuna birlikte etkisi vardır.
Değişken 5: Radyan ısı geçiş faktörü (TF)		
Faktör 1: Konsantrasyon	H₀	H_A
	H ₀₁ : Konsantrasyonun kumaşın radyan ısı geçiş faktörüne etkisi yoktur.	H _{A1} : Konsantrasyonun kumaşın radyan ısı geçiş faktörüne etkisi vardır.
Faktör 2: Binner türü	H ₀₂ : Binner türünün kumaşın radyan ısı geçiş faktörüne etkisi yoktur.	H _{A2} : Binner türünün kumaşın radyan ısı geçiş faktörüne etkisi vardır.
	H ₀₃ : Konsantrasyonun ve binner türünün kumaşın radyan ısı geçiş faktörüne birlikte etkisi yoktur.	H _{A3} : Konsantrasyonun ve binner türünün kumaşın radyan ısı geçiş faktörüne birlikte etkisi vardır.

Çizelge 3.9. Farklı binderler ile kaplı kumaşlara uygulanan istatistiksel analizlere ait hipotezler (devam)

Değişken 6: Solar özellikler (T_{UV}, T_V, T_S, R_V, R_S, R_{NIR}, A_S)		
	H₀	H_A
Faktör 1: Konsantrasyon	H ₀₁ : Konsantrasyonun kumaşın solar özellikleri üzerine etkisi yoktur.	H _{A1} : Konsantrasyonun kumaşın solar özellikleri üzerine etkisi vardır.
Faktör 2: Binder türü	H ₀₂ : Binder türünün kumaşın solar özellikleri üzerine etkisi yoktur.	H _{A2} : Binder türünün kumaşın solar özellikleri üzerine etkisi vardır.
	H ₀₃ : Konsantrasyonun ve binder türünün kumaşın solar özellikleri üzerine birlikte etkisi yoktur.	H _{A3} : Konsantrasyonun ve binder türünün kumaşın solar özellikleri üzerine birlikte etkisi vardır.

Çizelge 3.10. Kalsit ve titanyum dioksit kaplı kumaşlara uygulanan istatistiksel analizlere ait hipotezler

Tek faktörlü tamamen tesadüfi dağılımlı varyans analizi tekniği		
Değişken 1: Kalınlık		
Faktör: Konsantrasyon	Hipotezler	
	H₀	H_A
	H ₀ : Konsantrasyonun kumaş kalınlığına etkisi yoktur.	H _A : Konsantrasyonun kumaş kalınlığına etkisi vardır.
Değişken 2: Birim alan ağırlığı		
Faktör: Konsantrasyon	H₀	H_A
	H ₀ : Konsantrasyonun kumaş birim alan ağırlığına etkisi yoktur.	H _A : Konsantrasyonun kumaş birim alan ağırlığına etkisi vardır.
Değişken 3: Aktarılan madde miktarı		
Faktör: Konsantrasyon	H₀	H_A
	H ₀ : Konsantrasyonun kumaşa aktarılan madde miktarına etkisi yoktur.	H _A : Konsantrasyonun kumaşa aktarılan madde miktarına etkisi vardır.

Çizelge 3.10. Kalsit ve titanyum dioksit kaplı kumaşlara uygulanan istatistiksel analizlere ait hipotezler (devam)

Değişken 4: Termal iletkenlik katsayısı (λ)		
	H₀	H_A
Faktör: Konsantrasyon	H ₀ : Konsantrasyonun kumaşın termal iletkenlik katsayısına etkisi yoktur.	H _A : Konsantrasyonun kumaşın termal iletkenlik katsayısına etkisi vardır.
Değişken 5: Geçen ısı akısı yoğunluğu (Q_C)		
	H₀	H_A
Faktör: Konsantrasyon	H ₀ : Konsantrasyonun kumaştan geçen ısı akısı yoğunluğuna etkisi yoktur.	H _A : Konsantrasyonun kumaştan geçen ısı akısı yoğunluğuna etkisi vardır.
Değişken 6: Radyan ısı geçiş faktörü (TF)		
	H₀	H_A
Faktör: Konsantrasyon	H ₀ : Konsantrasyonun kumaşın radyan ısı geçiş faktörüne etkisi yoktur.	H _A : Konsantrasyonun kumaşın radyan ısı geçiş faktörüne etkisi vardır.
Değişken 6: Solar özellikler (T_{UV} , T_V , T_S , R_V , R_S , R_{NIR} , A_S)		
	H₀	H_A
Faktör: Konsantrasyon	H ₀ : Konsantrasyonun kumaşın solar özellikleri üzerine etkisi yoktur.	H _A : Konsantrasyonun kumaşın solar özellikleri üzerine etkisi vardır.

Çizelge 3.11. Perlit, pomza, selüloz tozu, alüminyum ve bakır tozu kaplı kumaşlara uygulanan istatistiksel analizlere ait hipotezler

İki faktörlü tamamen tesadüfi dağılımlı varyans analizi tekniği		
Değişken 1: Kalınlık		
Faktör 1: Konsantrasyon	Hipotezler	
	H₀	H_A
	H ₀₁ : Konsantrasyonun kumaş kalınlığına etkisi yoktur.	H _{A1} : Konsantrasyonun kumaş kalınlığına etkisi vardır.
Faktör 2: Tanecik boyutu	H ₀₂ : Tanecik boyutunun kumaş kalınlığına etkisi yoktur.	H _{A2} : Tanecik boyutunun kumaş kalınlığına etkisi vardır.
	H ₀₃ : Konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kumaş kalınlığına birlikte etkisi yoktur.	H _{A3} : Konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kumaş kalınlığına birlikte etkisi vardır.
Değişken 2: Birim alan ağırlığı		
Faktör 1: Konsantrasyon	H₀	H_A
	H ₀₁ : Konsantrasyonun kumaş birim alan ağırlığına etkisi yoktur.	H _{A1} : Konsantrasyonun kumaş birim alan ağırlığına etkisi vardır.
Faktör 2: Tanecik boyutu	H ₀₂ : Tanecik boyutunun kumaş birim alan ağırlığına etkisi yoktur.	H _{A2} : Tanecik boyutunun kumaş birim alan ağırlığına etkisi vardır.
	H ₀₃ : Konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kumaş birim alan ağırlığına birlikte etkisi yoktur.	H _{A3} : Konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kumaş birim alan ağırlığına birlikte etkisi vardır.
Değişken 3: Aktarılan madde miktarı		
Faktör 1: Konsantrasyon	H₀	H_A
	H ₀₁ : Konsantrasyonun kumaşa aktarılan madde miktarına etkisi yoktur.	H _{A1} : Konsantrasyonun kumaşa aktarılan madde miktarına etkisi vardır.
Faktör 2: Tanecik boyutu	H ₀₂ : Tanecik boyutunun kumaşa aktarılan madde miktarına etkisi yoktur.	H _{A2} : Tanecik boyutunun kumaşa aktarılan madde miktarına etkisi vardır.

Çizelge 3.11. Perlit, pomza, selüloz tozu, alüminyum ve bakır tozu kaplı kumaşlara uygulanan istatistiksel analizlere ait hipotezler (devam)

	H ₀₃ : Konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kumaşa aktarılan madde miktarına birlikte etkisi yoktur.	H _{A3} : Konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kumaşa aktarılan madde miktarına birlikte etkisi vardır.
Değişken 4: Termal iletkenlik katsayısı (λ)		
	H₀	H_A
Faktör 1: Konsantrasyon	H ₀₁ : Konsantrasyonun kumaşın termal iletkenlik katsayısına etkisi yoktur.	H _{A1} : Konsantrasyonun kumaşın termal iletkenlik katsayısına etkisi vardır.
Faktör 2: Tanecik boyutu	H ₀₂ : Tanecik boyutunun kumaşın termal iletkenlik katsayısına etkisi yoktur.	H _{A2} : Tanecik boyutunun kumaşın termal iletkenlik katsayısına etkisi vardır.
	H ₀₃ : Konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kumaşın termal iletkenlik katsayısına birlikte etkisi yoktur.	H _{A3} : Konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kumaşın termal iletkenlik katsayısına birlikte etkisi vardır.
Değişken 5: Geçen ısı akısı yoğunluğu (Q _C)		
	H₀	H_A
Faktör 1: Konsantrasyon	H ₀₁ : Konsantrasyonun kumaştan geçen ısı akısı yoğunluğuna etkisi yoktur.	H _{A1} : Konsantrasyonun kumaştan geçen ısı akısı yoğunluğuna etkisi vardır.
Faktör 2: Tanecik boyutu	H ₀₂ : Tanecik boyutunun kumaştan geçen ısı akısı yoğunluğuna etkisi yoktur.	H _{A2} : Tanecik boyutunun kumaştan geçen ısı akısı yoğunluğuna etkisi vardır.
	H ₀₃ : Konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kumaştan geçen ısı akısı yoğunluğuna birlikte etkisi yoktur.	H _{A3} : Konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kumaştan geçen ısı akısı yoğunluğuna birlikte etkisi vardır.

Çizelge 3.11. Perlit, pomza, selüloz tozu, alüminyum ve bakır tozu kaplı kumaşlara uygulanan istatistiksel analizlere ait hipotezler (devam)

Değişken 6: Radyan ısı geçiş faktörü (TF)		
	H₀	H_A
Faktör 1: Konsantrasyon	H ₀₁ : Konsantrasyonun kumaşın radyan ısı geçiş faktörüne etkisi yoktur.	H _{A1} : Konsantrasyonun kumaşın radyan ısı geçiş faktörüne etkisi vardır.
Faktör 2: Tanecik boyutu	H ₀₂ : Tanecik boyutunun kumaşın radyan ısı geçiş faktörüne etkisi yoktur.	H _{A2} : Tanecik boyutunun kumaşın radyan ısı geçiş faktörüne etkisi vardır.
	H ₀₃ : Konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kumaşın radyan ısı geçiş faktörüne birlikte etkisi yoktur.	H _{A3} : Konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kumaşın radyan ısı geçiş faktörüne birlikte etkisi vardır.
Değişken 7: Solar özellikler (T_{UV}, T_V, T_S, R_V, R_S, R_{NIR}, A_S)		
	H₀	H_A
Faktör 1: Konsantrasyon	H ₀₁ : Konsantrasyonun kumaşın solar özellikleri üzerine etkisi yoktur.	H _{A1} : Konsantrasyonun kumaşın solar özellikleri üzerine etkisi vardır.
Faktör 2: Tanecik boyutu	H ₀₂ : Tanecik boyutunun kumaşın solar özellikleri üzerine etkisi yoktur.	H _{A2} : Tanecik boyutunun kumaşın solar özellikleri üzerine etkisi vardır.
	H ₀₃ : Konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kumaşın solar özellikleri üzerine birlikte etkisi yoktur.	H _{A3} : Konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kumaşın solar özellikleri üzerine birlikte etkisi vardır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Farklı Kaplama Polimerleri ile Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar

Termal ve solar özellikler üzerinde kaplama polimeri (binder) türünün önemli bir etkisi olup olmadığını görmek amacıyla yapılan ön deneme çalışmalarına ait sonuçlar bu bölümde sunulmuştur.

4.1.1. Birim alan ağırlığı sonuçları

Akrilik, stiren-akrilik, poliüretan ve vinil asetat ile 400, 600 ve 800 g/kg konsantrasyon değerinde kaplanan numunelere ait birim alan ağırlığı sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Konsantrasyon artışına bağlı olarak her binder türünde birim alan ağırlığı değerlerinde artış görülmüştür. Farklı polimer türleriyle aynı konsantrasyon oranında kaplanan numunelerin birim alan ağırlık değerleri arasında %10’u geçmeyecek düzeyde meydana gelen farklılıkların polimerlerin katı madde oranları (%) arasında var olan farklılıklardan kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Nitekim, katı madde oranı diğerlerine göre daha yüksek (%50 katı madde) olan saf akrilik esaslı polimere ait değerlerin en yüksek; stiren-akrilik esaslı polimerde (%36 katı madde) ise genelde en düşük olması bu sonucu doğrulamaktadır.

Çizelge 4.1. Farklı polimerler ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı sonuçları

Birim alan ağırlığı (g/m ²)						
Polimer türü	Polimer Konsantrasyonu (g/kg)					
	400		600		800	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Akrilik	299,17	0,92	344,26	4,09	393,13	1,91
Stiren-akrilik	271,16	4,74	310,86	0,53	354,57	1,85
Poliüretan	276,70	4,16	305,63	4,03	358,57	1,41
Vinil asetat	294,27	3,11	335,80	3,50	375,19	4,16
Zemin kumaşı	169					

4.1.2. Aktarılan madde miktarı (add-on) sonuçları

Akrilik, stiren-akrilik, poliüretan ve vinil asetat ile 400, 600 ve 800 g/kg konsantrasyon değerinde kaplanan numunelere ait aktarılan madde miktarı sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Beklenen şekilde dört binder türü için de konsantrasyon değeri arttıkça kumaşa aktarılan madde miktarı değerlerinde de artış görülmektedir. Aynı konsantrasyonda farklı polimerler arasında ortaya çıkan farkların, birim alan ağırlığı sonuçlarına benzer şekilde polimer dispersiyonlarının katı madde oranlarındaki farklılıklar nedeniyle kaplama sonunda kumaş üzerinde oluşan filmlerin yoğunluk farklarından ileri geldiği düşünülmektedir.

Çizelge 4.2. Farklı polimerler ile kaplanmış kumaşların aktarılan madde miktarı sonuçları

Aktarılan madde miktarı (g/m ²)						
Polimer türü	Polimer Konsantrasyonu (g/kg)					
	400		600		800	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Akrilik	130,17	0,92	175,26	4,09	224,13	1,91
Stiren-akrilik	102,16	4,74	141,86	0,53	185,57	1,85
Poliüretan	107,7	4,16	136,63	4,03	189,57	1,41
Vinil asetat	125,27	3,11	166,80	3,50	206,19	4,16

4.1.3. Kalınlık sonuçları

Akrilik, stiren-akrilik, poliüretan ve vinil asetat ile 400, 600 ve 800 g/kg konsantrasyon değerinde kaplanan numunelere ait kalınlık sonuçları Çizelge 4.3’te verilmiştir. Vinil asetat haricindeki tüm polimerlerde aynı konsantrasyonlarda benzer kalınlık değerleri elde edilmiş iken, vinil asetatta diğerlerine göre tüm konsantrasyonlarda daha yüksek kalınlık değerlerinin elde edilmiş olması, bu polimerin diğerlerine göre daha düşük yoğunluklu dolayısıyla daha hacimli filmler oluşturduğunu düşündürmektedir.

Çizelge 4.3. Farklı polimerler ile kaplanmış kumaşların kalınlık sonuçları

Kumaş kalınlığı (mm)						
Polimer türü	Polimer Konsantrasyonu (g/kg)					
	400		600		800	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Akrilik	0,43	0,01	0,49	0,01	0,52	0,03
Stiren-akrilik	0,40	0,01	0,42	0,01	0,53	0,02
Poliüretan	0,45	0,02	0,49	0,01	0,53	0,02
Vinil asetat	0,47	0,01	0,53	0,03	0,61	0,01
Zemin kumaşı	0,34					

Çizelge 4.4'te görülen istatistiksel analiz sonuçlarına göre konsantrasyonun ve kaplama polimeri türünün; numunelerin birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kumaş kalınlığı değerleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde hem ayrı ayrı hem de birlikte etkisi olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4. Farklı polimerler ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Faktör		Birim alan ağırlığı (g/m ²)		Aktarılan madde miktarı (g/m ²)		Kalınlık (mm)	
Konsantrasyon	400	0,00*	285,32 a	0,00*	116,32 a	0,00*	0,44 a
	600		324,15 b		155,15 b		0,48 b
	800		370,40 c		201,40 c		0,55 c
Binder türü	Akrilik	0,00*	345,58 c	0,00*	176,58 c	0,00*	0,48 b
	Stiren-akrilik		312,20 a		143,20 a		0,45 a
	Poliüretan		313,63 a		144,63 a		0,49 b
	Vinil asetat		335,09 b		166,09 b		0,54 c
Konsantrasyon *		0,00*		0,00*		0,00*	
Binder türü							

(a), (b) ve (c) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

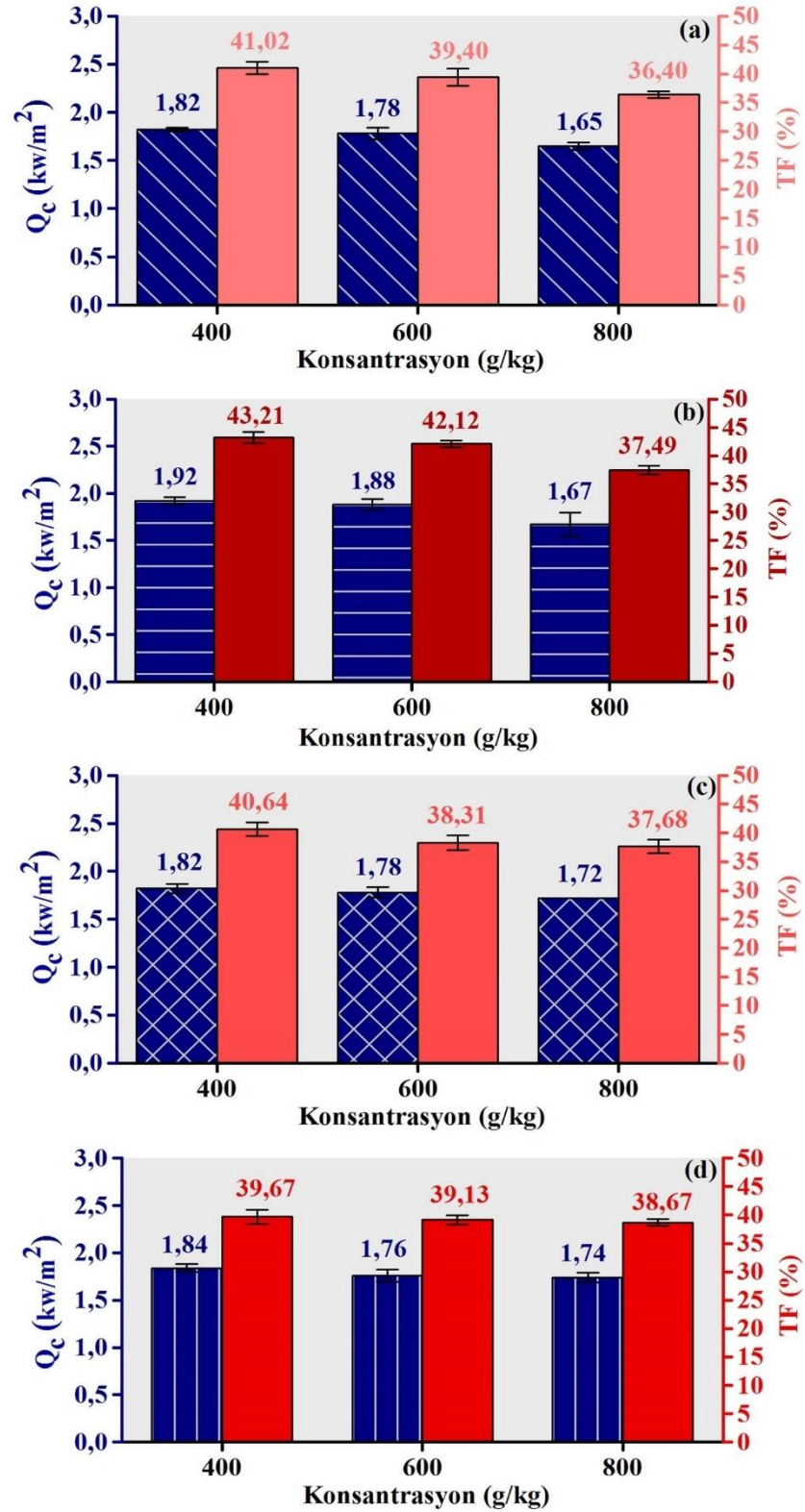
*%5 anlamlılık seviyesi

4.1.4. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları

Akrilik, stiren-akrilik, poliüretan ve vinil asetat ile 400, 600 ve 800 g/kg konsantrasyon değerinde kaplanan numunelere ait ısı geçişi faktörü (TF) ve geçen ısı akısı yoğunluğu (Q_c) değerleri Şekil 4.1’de verilmiştir.

Her polimer türü için konsantrasyon arttıa TF ve Q_c değerlerinin bir miktar azaldığı grlmştir. Stiren-akrilik polimeri maksimum konsantrasyon (800 g/kg) için %37,79 ile vinil asetata kıyasla daha düşük TF değeri verse de 400 ve 600 g/kg değerlerinde hepsinden daha yüksek TF sonuçlarına sahiptir.

En düşük TF değeri %36,40 ile 800 g/kg akrilik polimer ile elde edilmiştir. En yüksek konsantrasyonda TF değeri akrilikten bir miktar yüksek olsa da her üç konsantrasyon değeri için bakıldığında termal yalıtım açısından poliüretan polimerinin de avantajlı olacağı görülmektedir. Ancak poliüretanın daha maliyetli olması ve bunun yanı sıra termal test sonuçlarında önemli bir fark (akriliğe göre) yaratmaması nedeni ile tez çalışmasının devamında kullanılacak binder türü olarak akrilik uygun bulunmuştur.



Şekil 4.1. Akrilik (a), stiren-akrilik (b), poliüretan (c) ve vinil asetat (d) ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi sonuçları.

Çizelge 4.5'te sunulan istatistiksel analiz sonuçlarına göre konsantrasyonun ve polimer türünün geçirilen ısı akısı ve ısı geçiş faktörü değerleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde etkisi olduğu görülmektedir. SNK test sonuçlarına göre yapılan harf gruplamasından da anlaşılacağı üzere polimer türüne kıyasla konsantrasyonun etkisi daha barizdir.

Çizelge 4.5. Farklı polimerler ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Faktör		Qc (kW/m ²)		TF (%)	
Konsantrasyon	400	0,00*	1,85 c	0,00*	41,13 c
	600		1,79 b		39,74 b
	800		1,70 a		37,56 a
Binder türü	Akrilik	0,24*	1,75 a	0,00*	38,94 a
	Stiren-akrilik		1,81 a		40,94 b
	Poliüretan		1,77 a		38,88 a
	Vinil asetat		1,78 a		39,16 a
Konsantrasyon * Binder türü		0,20*		0,01*	

(a), (b) ve (c) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

4.1.5. Solar ölçüm sonuçları

400, 600 ve 800 g/kg konsantrasyon değerlerinde akrilik, stiren-akrilik, poliüretan ve vinil asetat ile kaplanmış kumaş numunelerine ait solar ölçüm sonuçları Çizelge 4.6' da verilmiştir. Tüm binder türleri için artan konsantrasyon ile solar absorbans değerlerindeki artışa paralel olarak reflektans değerlerinde (R_V , R_S , R_{NIR}) bir miktar azalma görülmüştür. Çizelge 4.6'da verilen SNK testi sonuçları da göz önüne alınarak incelendiğinde özellikle görünür ve tüm solar bölge olmak üzere geçirgenlik değerlerinde ise konsantrasyon ile doğru veya ters orantılı anlamlı bir değişim görülmemiştir.

Çizelge 4.6. Farklı polimerler ile kaplanmış kumaşlara ait solar sonuçlar

Dolgu maddesi	Konsantrasyon (g/kg)	T _{UV}		T _V		T _S		R _V		R _S		R _{NIR}		A _S	
		Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS
Akrilik	400	7,88	0,06	39,15	0,15	38,43	0,11	58,28	0,17	53,87	0,19	51,76	0,23	7,70	0,25
	600	7,38	0,31	39,05	0,33	38,11	0,33	57,61	0,18	52,69	0,24	50,48	0,23	9,20	0,50
	800	7,81	0,10	41,20	0,41	40,32	0,42	54,20	0,46	48,81	0,43	46,08	0,47	10,87	0,40
Stiren-Akrilik	400	8,22	0,06	40,58	0,13	39,89	0,14	55,82	0,42	51,08	0,42	49,52	0,46	9,02	0,37
	600	8,36	0,38	40,87	0,37	40,18	0,42	54,81	0,40	49,97	0,38	48,13	0,34	9,85	0,25
	800	7,40	0,55	39,26	0,68	38,29	0,61	55,63	0,80	50,84	1,10	49,15	0,73	10,86	1,06
Poliüretan	400	2,54	0,18	37,52	0,23	36,45	0,27	59,77	0,05	54,62	0,04	53,31	0,12	8,93	0,25
	600	1,88	0,03	38,88	0,67	37,59	0,74	58,77	1,07	53,33	1,09	51,88	1,23	9,09	0,35
	800	1,06	0,06	38,12	0,19	36,63	0,12	59,05	0,37	53,11	0,35	51,46	0,42	10,25	0,45
Vinil asetat	400	7,49	0,20	38,92	0,36	38,10	0,38	57,55	0,07	53,12	0,19	51,49	0,36	8,78	0,26
	600	6,64	0,10	38,64	0,47	37,51	0,50	57,23	0,46	52,19	0,51	50,87	0,66	10,30	0,08
	800	6,95	0,59	38,43	0,26	37,30	0,31	56,50	0,51	51,68	0,58	50,04	0,23	11,02	0,82

Deneysel referans olan kör kaplama numunesi dahil olmak üzere tüm numuneler için stok patı reçetesinde kullanılan binder miktarının da 350 g/kg (Çizelge 3.5) olduğu göz önüne alındığında, çalışılan minimum binder konsantrasyonundaki (400 g/kg) sonuçlar daha önemlidir. Tüm polimerlerde en yüksek reflektans değerlerine en düşük konsantrasyon değerinde ulaşılmıştır. Maksimum R_V , R_S , R_{NIR} değerleri; akrilik için %58,28, %53,87 ve %51,76, stiren-akrilik için %55,63, %51,08 ve %49,52, poliüretan için %59,77, %54,62 ve %53,31, vinil asetat için ise %57,55, %53,12 ve %51,49 olarak elde edilmiştir.

Yine 400 g/kg konsantrasyon değerinde T_{UV} , T_V , ve T_S değerleri; akrilik için %7,88, %39,15 ve %38,43, stiren-akrilik için %8,22, %40,58 ve %39,89, poliüretan için %2,54, %37,52 ve %36,45, vinil asetat için ise %7,49, %38,92 ve %38,10 olarak elde edilmiştir. Aynı konsantrasyonda solar absorbans (A_S) değerleri ise akrilik için %7,70, stiren-akrilik için %9,02, poliüretan için %8,93 ve vinil asetat için %8,78'dir.

Reflektans değerleri açısından polimerler büyükten küçüğe doğru; poliüretan, akrilik, vinil asetat ve stiren- akrilik olarak sıralanmaktadır. Şekil 4.1'deki radyan ısı geçişi sonuçlarına göre deneysel çalışmaların devamında kullanılmak üzere seçilen akrilik polimerinin, poliüretandan sonra solar reflektans açısından da avantajlı olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.7'de kaplamada kullanılan binder türünün ve konsantrasyonunun, numunelerin solar özellikleri üzerindeki etkisine ait istatistiksel analiz sonuçları verilmiştir. T_V ve T_S değerleri konsantrasyon değişimine göre aynı seviyelerde ifade edilmiş olsa da sonuçlar incelendiğinde; konsantrasyonun ve binder türünün solar parametreler üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde hem ayrı ayrı hem de birlikte etkisi olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.7. Farklı kaplama polimerleri ile kaplanmış kumaşların solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

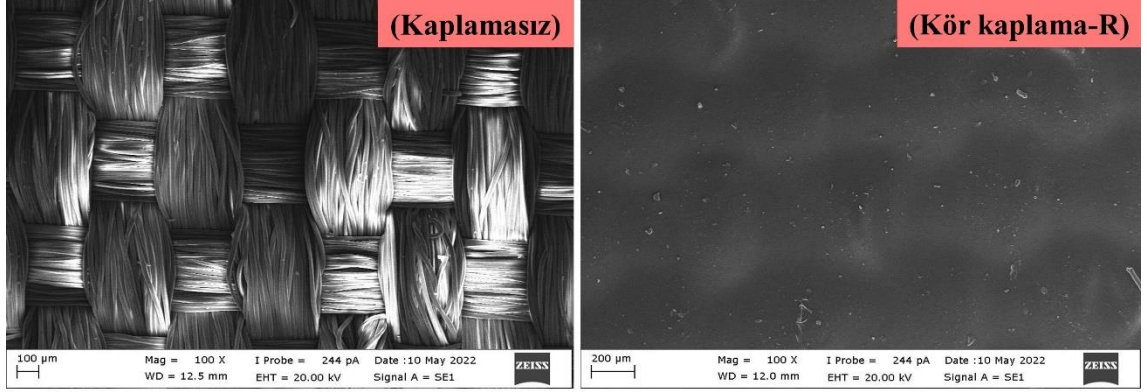
Faktör		T _{UV}	T _V	T _S	R _V	R _S	R _{NIR}	A _S
Konsantrasyon	400	6,53 c	39,04 a	38,22 a	57,81 c	53,17 c	51,52 c	8,61 a
	600	6,06 b	39,36 a	38,35 a	57,10 b	52,04 b	50,34 b	9,61 b
	800	5,81 a	39,25 a	38,14 a	56,39 a	51,11 a	49,18 a	10,75 c
Binder türü	Akrilik	7,69 c	39,80 c	38,95 c	56,70 b	51,79 b	49,44 a	9,26 a
	Stiren-	7,99 d	40,24 d	39,46 d	55,42 a	50,63 a	48,93 a	9,91 b
	Polüretan	1,83 a	38,17 a	36,89 a	59,20 c	53,69 c	52,22 c	9,42 a
	Vinil asetat	7,03 b	38,66 b	37,64 b	57,09 b	52,33 b	50,80 b	10,03 b
Konsantrasyon * Binder türü	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,01*	

(a), (b), (c) ve (d) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

4.1.6. SEM analizi sonuçları

Şekil 4.2’de kaplamasız zemin polyester dokuma kumaş ve 350 g/kg akrilik binder polimeri içeren stok patı ile kaplanmış kumaş (kör kaplama-R) numunelerine ait SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.2. Kaplamasız zemin kumaş ve akrilik polimer ile kaplanmış referans kumaşın SEM görüntüleri (Büyütme oranı:100x)

4.2. Kalsit ve Titanyum dioksit ile Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar

4.2.1. Birim alan ağırlığı sonuçları

Geleneksel dolgu malzemeleri kapsamında çalışılan kalsit ve titanyum dioksit ile 20, 40, 60 ve 80 g/kg konsantrasyon değerlerinde kaplanmış kumaşlara ait birim alan ağırlığı sonuçları Çizelge 4.8’de sunulmuştur. Beklenildiği üzere, dolgu maddesi konsantrasyonu arttıkça numunelerin birim alan ağırlığı değerlerinde artış görülmüştür.

Titanyum dioksit kaplı kumaşlar için minimum konsantrasyon değerinden (20 g/kg) maksimum konsantrasyona (80 g/kg) geçişte, numunelerin birim alan ağırlığı %19,79 oranında artarken; maksimum konsantrasyonda birim alan ağırlığı değeri, kör kaplamaya kıyasla %35,52 oranında artış göstermiştir.

Kalsit kaplı kumaşlar için ise minimum konsantrasyon değerinden (20 g/kg) maksimum konsantrasyona (80 g/kg) geçişte, numunelerin birim alan ağırlığı %12,66 oranında artarken; maksimum konsantrasyonda kalsit kaplı numunelerin birim alan ağırlığı değeri kör kaplamaya kıyasla %28,73 oranında artış göstermiştir.

Çizelge 4.8. Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı sonuçları

Birim alan ağırlığı (g/m ²)								
Dolgu Maddesi	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)							
	20		40		60		80	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Titanyum dioksit	294,37	3,35	316,71	3,47	326,85	1,53	352,62	2,88
Kalsit	297,30	3,97	310,09	1,59	318,41	1,75	334,95	1,58
Kör kaplama	260,20							0,53

4.2.2. Aktarılan madde miktarı (add-on) sonuçları

Geleneksel dolgu malzemeleri kapsamında çalışılan kalsit ve titanyum dioksit ile 20, 40, 60 ve 80 g/kg konsantrasyon değerlerinde kaplanmış kumaşlara ait aktarılan madde miktarı sonuçları Çizelge 4.9’da sunulmuştur. Kaplamalı numunelerin, kaplamasız kumaş birim alan ağırlığına (169 g/m²) göre farkı alınarak add-on miktarları hesaplanmıştır. Birim alan ağırlığı sonuçlarına paralel olarak, her iki dolgu malzemesi için de konsantrasyon artışı ile birlikte aktarılan madde miktarı artmıştır. Minimum konsantrasyon değerinden (20 g/kg) maksimum konsantrasyona (80 g/kg) geçişte, titanyum dioksit kaplı kumaşlar için numunelerin add-on değeri %46,46 oranında artarken; kalsit kaplı numunelerde bu artış %29,35 oranındadır.

Çizelge 4.9. Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların aktarılan madde miktarı sonuçları

Aktarılan madde miktarı (g/m ²)								
Dolgu Maddesi	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)							
	20		40		60		80	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Titanyum dioksit	125,37	3,35	147,71	3,47	157,85	1,53	183,62	2,88
Kalsit	128,30	3,97	141,09	1,59	149,41	1,75	165,95	1,58
Kör kaplama	91,20							0,53

4.2.3. Kalınlık sonuçları

Geleneksel dolgu malzemeleri kapsamında çalışılan kalsit ve titanyum dioksit ile 20, 40, 60 ve 80 g/kg konsantrasyon değerlerinde kaplanmış kumaşlara ait kalınlık sonuçları

Çizelge 4.10'da sunulmuştur. 80 g/kg titanyum dioksit ile kaplı numunelerin kalınlık değeri; 0,37 mm kalınlık değerine sahip kör kaplamaya göre %13,51 artarak 0,42 mm olarak elde edilmiştir. Kalsit kaplı numunelerde ise %10,81 oranında artış ile kalınlık değeri 0,41 mm'ye yükselmiştir. Dolgu malzemelerinin tanecik boyutlarının büyük olmamasına da bağlı olarak; konsantrasyon artışı, kalınlık sonuçlarında bariz farklılıklara neden olmamış, genellikle birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

Çizelge 4.10. Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların kalınlık sonuçları

Kumaş kalınlığı sonuçları (mm)								
Dolgu Maddesi	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)							
	20		40		60		80	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Titanyum dioksit	0,39	0,01	0,40	0,01	0,40	0,01	0,42	0,00
Kalsit	0,40	0,02	0,40	0,00	0,41	0,01	0,41	0,10
Kör kaplama	0,37							0,01

Çizelge 4.11. Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık verileri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Faktör		Birim alan ağırlığı (g/m ²)	Aktarılan madde miktarı (g/m ²)	Kalınlık (mm)
<i>Titanyum dioksit</i>				
Konsantrasyon	R	260,20 a	91,20 a	0,37 a
	20	294,37 b	125,37 b	0,39 b
	40	316,71 c	147,71 c	0,40 b, c
	60	326,85 d	157,85 d	0,40 b, c
	80	352,62 e	183,62 e	0,42 c
<i>Kalsit</i>				
Konsantrasyon	R	260,20 a	91,20 a	0,37 a
	20	297,30 b	128,30 b	0,40 b
	40	310,09 c	141,09 c	0,40 b
	60	318,41 d	149,41 d	0,41 b
	80	334,95 e	165,95 e	0,41 b

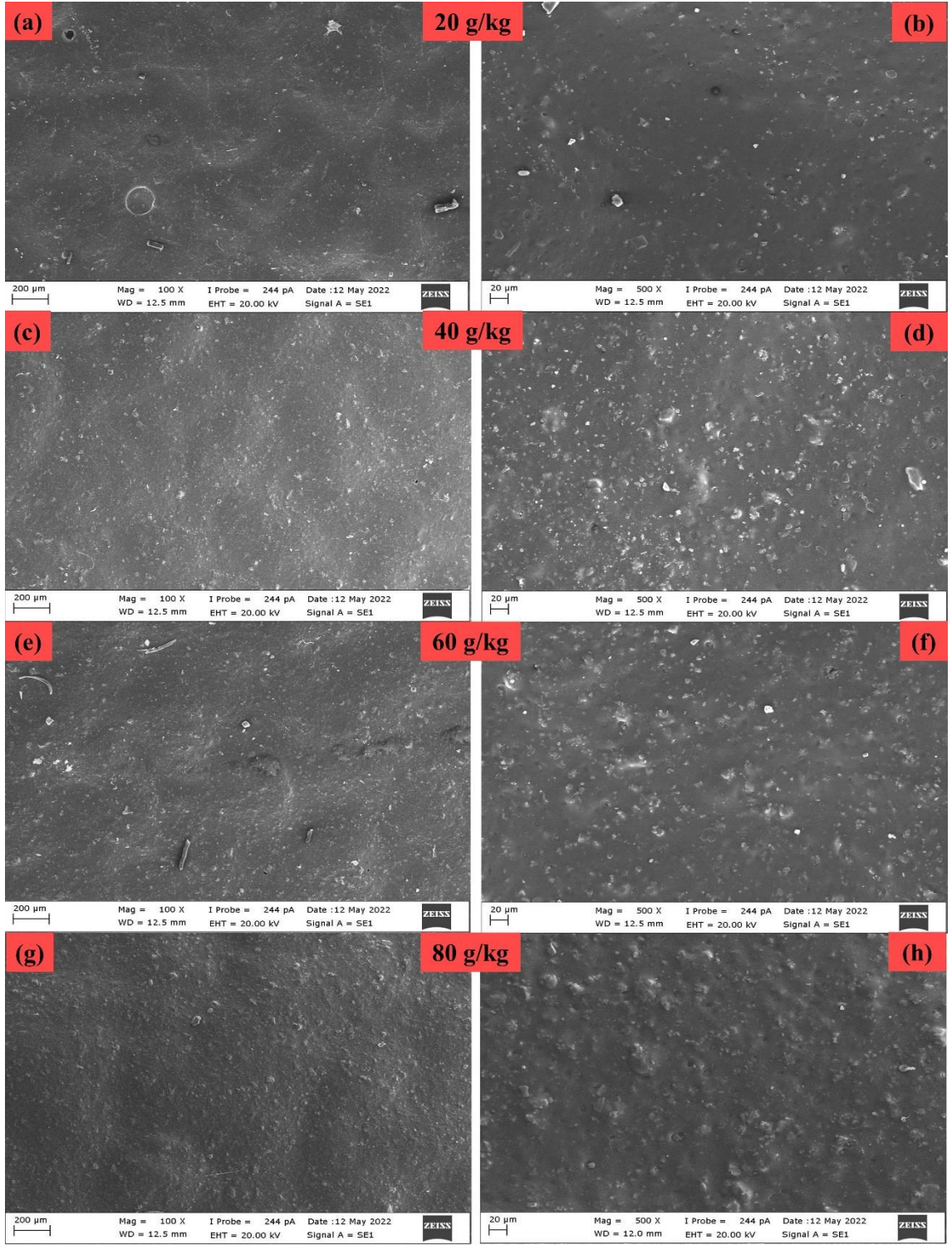
(a), (b), (c), (d) ve (e) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

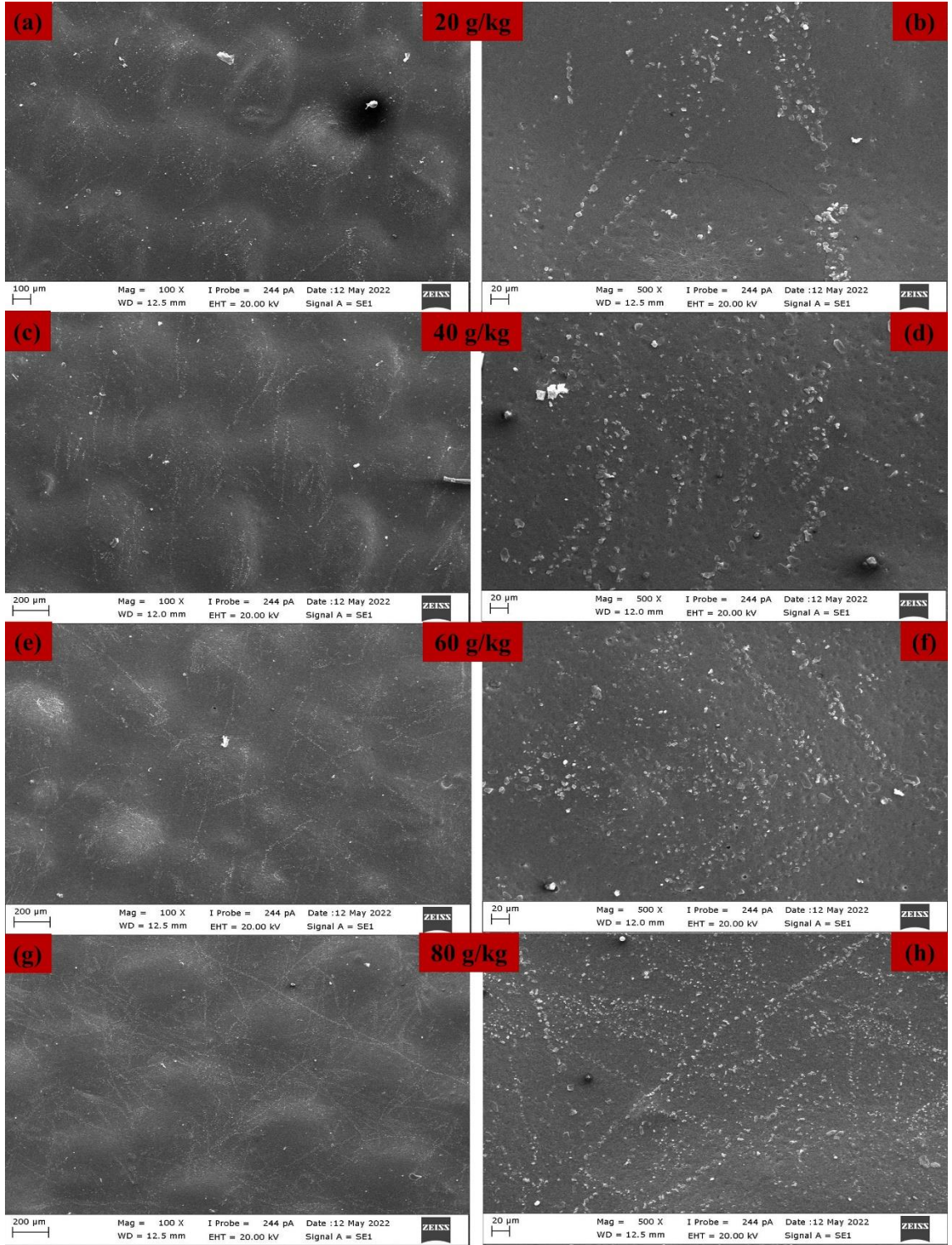
Çizelge 4.11’de görülen istatistiksel analiz sonuçlarına göre konsantrasyonun hem kalsit hem de titanyum dioksit kaplamalı numunelerin birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kumaş kalınlığı değerleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde etkisi olduğu görülmektedir. Bu durumda, Çizelge 3.10’da söz konusu değişkenler için verilen alternatif hipotezler kabul edilmektedir.

4.2.4. SEM analizi sonuçları

Şekil 4.3 ve 4.4’te sırasıyla 5 µm kalsit ve 0,28 µm titanyum dioksit ile 20, 40, 60 ve 80 g/kg konsantrasyonda kaplanmış numunelerin 100 ve 500x olmak üzere iki farklı büyütme oranında SEM analizi görüntüleri verilmiştir. Atkı ve çözgü ipliklerinin kesişim noktalarından kaynaklı tepe ve çukurlara ait görüntü, artan dolgu konsantrasyonuna bağlı olarak örtücülük etkisi ile gittikçe hafiflemiştir. Bu farkın kalsit kaplı numunelerde titanyum dioksite göre daha belirgin olmasında tanecik boyutunun etkisi olabileceği düşünülmektedir.



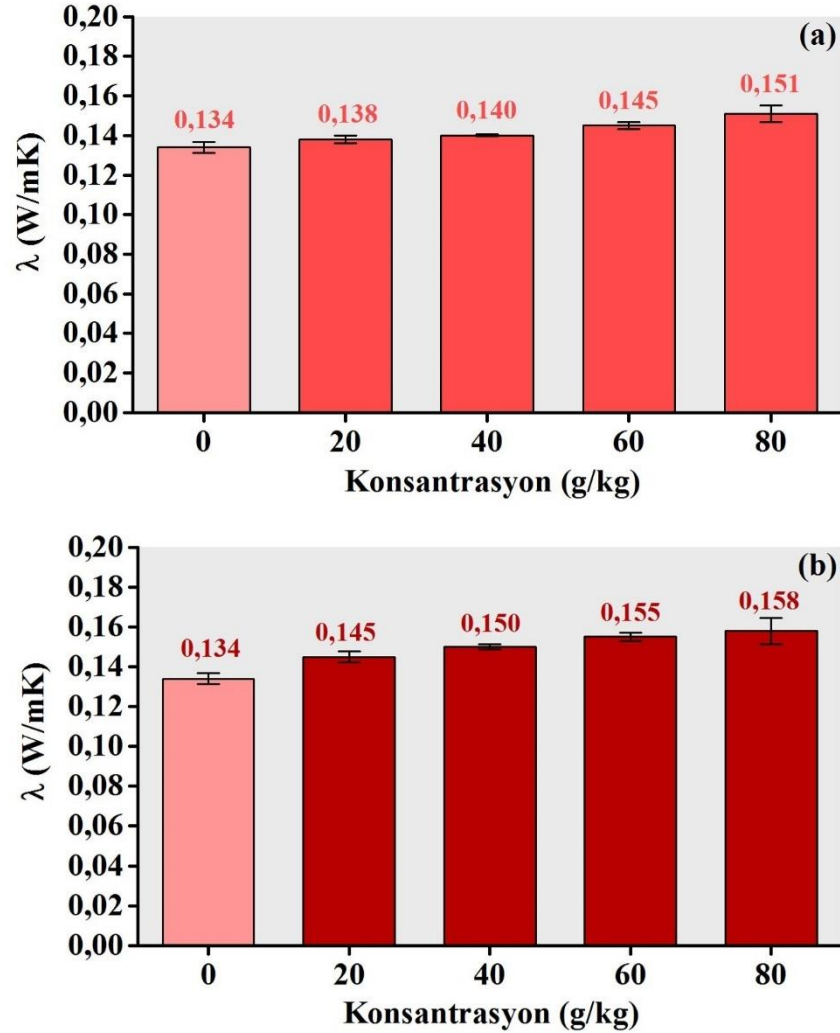
Şekil 4.3. Farklı konsantrasyonlarda kalsit ile kaplanmış kumaşların 100x (a, c, e, g) ve 500x (b, d, f, h) büyütme oranında SEM görüntüleri.



Şekil 4.4. Farklı konsantrasyonlarda titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların 100x (a, c, e, g) ve 500x (b, d, f, h) büyütme oranında SEM görüntüleri.

4.2.5. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları

Geleneksel dolgu malzemelerinden olan kalsit ve titanyum dioksit ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşlara ait termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları Şekil 4.5'te verilmiştir. Beklenildiği gibi her iki malzemede de numunelerin termal iletkenlik katsayıları artan konsantrasyona bağlı olarak artmıştır. Ölçüm prensibi göz önüne alındığında bu durum, özellikle iletim yolu ile ısı transferinin önemli olduğu yerlerde termal yalıtım açısından olumlu bir sonuç değildir. Zaten tez çalışmasının amaçlarından biri de ısı iletim katsayıları yüksek olan bu iki geleneksel malzemeye alternatif dolgu maddeleri araştırmaktır.



Şekil 4.5. Kalsit (a) ve titanyum dioksit (b) ile kaplanmış kumaşların termal iletkenlik katsayısı sonuçları.

Minimum konsantrasyon değerinden (20 g/kg) maksimum konsantrasyona (80 g/kg) geçişte, kalsit kaplı kumaşların termal iletkenlik katsayısı %9,42 oranında artarken; titanyum dioksit kaplı numunelerde bu artış %8,97 oranındadır. Maksimum dolgu konsantrasyonu için elde edilen değerler kör kaplama ile karşılaştırıldığında; kalsit kaplamanın, termal iletkenlik katsayısı değerinde %12,69, titanyum dioksit kaplamanın ise %17,91 oranında artışa neden olduğu görülmüştür. Kalsit ve titanyum dioksit dolgu malzemeleri kendi aralarında kıyaslandığında, tüm konsantrasyon değerlerinde titanyum dioksitin daha yüksek termal iletkenlik katsayısına sahip olduğu görülmüştür. En yüksek termal iletkenlik katsayısı, 0,158 W/mK olarak 80 g/kg titanyum dioksit kaplı numunede elde edilirken, aynı konsantrasyonda kalsit kaplı numunede bu değer 0,151 W/mK'dir.

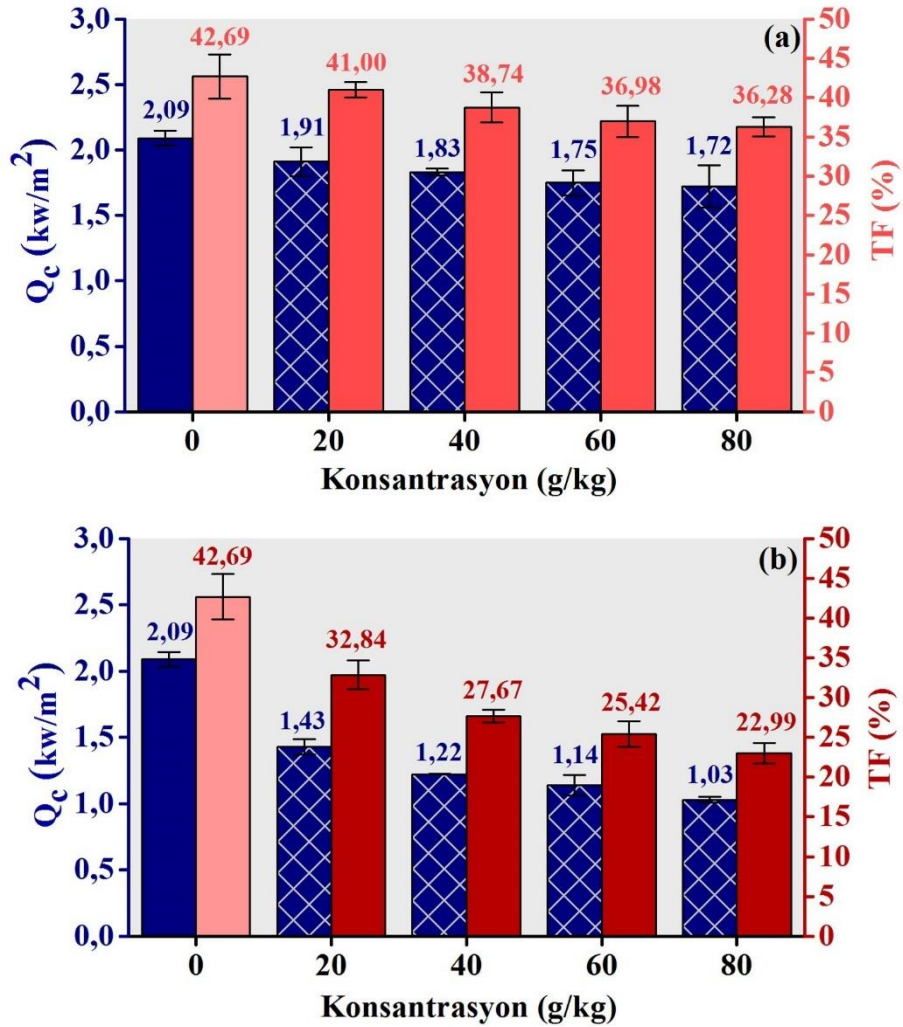
Literatürdeki bilgilere de dayanarak titanyum dioksitin kalsite göre daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip bir malzeme olduğu göz önüne alındığında, bu sonuçlar uyumlu ve beklenildiği gibidir (“Calcite”, 2012; Wypych, 2016).

4.2.6. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları

Geleneksel dolgu malzemelerinden olan kalsit ve titanyum dioksit ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşlara ait radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları Şekil 4.6'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde kalsit ve titanyum dioksit kaplı numunelerin geçen ısı akısı yoğunluğu (Q_c) ve ısı geçiş faktörü (TF) değerlerinin artan konsantrasyon ile düştüğü görülmektedir.

Kalsit kaplamalı kumaşlarda; minimum (20 g/kg) ve maksimum (80 g/kg) konsantrasyonlar için TF değerleri arasındaki farklar incelendiğinde; minimum konsantrasyondan maksimum konsantrasyona geçişte TF değerinin %4,72 oranında azaldığı, maksimum konsantrasyonda kör kaplamaya göre %6,41 azaldığı belirlenmiştir. Titanyum dioksit kaplamalı numunelerde ise, minimum konsantrasyondan (20 g/kg) maksimum konsantrasyona (80 g/kg) geçişte TF değerinin %9,85 oranında azaldığı, maksimum titanyum dioksit konsantrasyonunda da kör kaplamaya göre %19,7 azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Geleneksel iki dolgu malzemesi karşılaştırıldığında; titanyum dioksit, radyan ısı testinde iletim yolu ile ısı transferi prensibine dayanan ölçüm sonucuna ters olarak kalsite kıyasla yalıtım açısından daha olumlu sonuç vermiştir. En düşük ısı geçişi faktörü ve geçirilen ısı akısı değerleri; %22,99 ve 1,03 kW/m² olarak maksimum konsantrasyonda titanyum dioksit kaplı numune ile sağlanırken; aynı konsantrasyonda kalsit kaplı numunede bu değerler, %36,28 ve 1,72 kW/m² olarak elde edilmiştir. Radyan ısı yalıtımında malzemelerin özellikle yakın infrared bölgedeki yansıtma davranışları önemli olduğundan burada elde edilen sonuçlar, solar ölçüm sonuçları (4.2.5) ile ilişkilendirilerek incelenmiştir.



Şekil 4.6. Kalsit (a) ve titanyum dioksit (b) ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi sonuçları

Çizelge 4.12’de sunulan istatistiksel analiz sonuçlarına göre hem kalsit hem de titanyum dioksit kaplamalı numunelerde, konsantrasyonun geçirilen ısı akısı, ısı geçiş faktörü ve termal iletkenlik değerleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde etkisi olduğu görülmektedir. Bu durumda, Çizelge 3.10’da söz konusu değişkenler için verilen alternatif hipotezler kabul edilmektedir.

Çizelge 4.12. Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların termal ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Faktör		Qc (kW/m ²)	TF (%)	λ (W/mK)	
<i>Titanyum dioksit</i>					
Konsantrasyon	R	2,09 d	0,00*	42,69 d	0,13 a
	20	1,43 c		32,84 c	0,15 b
	40	1,22 b		27,67 b	0,15 b, c
	60	1,14 b		25,42 a, b	0,16 c, d
	80	1,03 a		22,99 a	0,16 d
<i>Kalsit</i>					
Konsantrasyon	R	2,09 b	0,01*	42,69 b	0,13 a
	20	1,91 a, b		41,00 b	0,14 a, b
	40	1,83 a		38,74 a, b	0,14 b
	60	1,75 a		36,98 a	0,15 c
	80	1,72 a		36,28 a	0,15 d

(a), (b), (c) ve (d) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

* %5 anlamlılık seviyesi

4.2.7. Solar ölçüm sonuçları

20, 40, 60 ve 80 g/kg konsantrasyon değerlerinde kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaş numunelerine ait solar ölçüm sonuçları Çizelge 4.13’te verilmiştir. Tüm numunelerde; artan dolgu maddesi konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak geçirgenlik değerleri (T_{UV} , T_v , T_s) azalırken, reflektans değerleri (R_v , R_s , R_{NIR}) artmıştır. Kör kaplamaya kıyasla azalmış olan solar absorbans (A_s) değerlerinin konsantrasyona bağlı gösterdiği değişimler az olmakla birlikte birbirine yakındır. Kalsit kaplı numunelerde minimum konsantrasyon değerinden (20 g/kg) maksimum konsantrasyona (80 g/kg)

geçildiğinde; T_{UV} değeri, yaklaşık %1'lik bir azalma göstererek %6,77'ye düşmüştür. T_V ve T_S değerleri ise sırasıyla %4,1 ve %3,89 azalma ile %32,09 ve %31,75 olarak elde edilmiştir. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %3,95, %3,72 ve %3,94 oranında artış göstererek %64,86, %60,22 ve %58,49'a yükselmiştir. A_S değerleri arasında konsantrasyona bağlı bariz bir değişim görülmemekle birlikte maksimum konsantrasyonda %8,02 solar absorbans değeri elde edilmiştir.

Kalsit kaplı numuneler kör kaplama ile kıyaslandığında, en düşük kalsit konsantrasyonunda dahi geçirgenlik değerlerinin ve solar absorbansın azaldığı, reflektans değerlerinin ise arttığı görülmektedir. Maksimum konsantrasyonda (80 g/kg) kalsit kaplı numuneler, referans numune (kör kaplama) ile kıyaslandığında; T_{UV} , T_V ve T_S değerlerinin sırası ile %1,6, %8 ve %8,03 oranında azaldığı, R_V , R_S ve R_{NIR} değerlerinin ise %9,22, %8,98 ve %10,04 oranında arttığı görülmektedir. A_S değerinde ise %0,95'lik bir azalma söz konusu olup önemli bir fark görülmemiştir.

Titanyum dioksit kaplı numunelerde minimum konsantrasyon değerinden (20 g/kg) maksimum konsantrasyona (80 g/kg) geçildiğinde; T_V ve T_S değerleri sırasıyla %7,8 ve %8,3 oranında azalarak %3,77 ve %5,46'ya düşmüştür. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri ise sırasıyla %8,28, %9,17 ve %11,86 oranında artış göstererek %98,52, %88,74 ve %89,68'e yükselmiştir. T_{UV} değeri, dört konsantrasyonda da yaklaşık %0 olarak elde edilmiştir. Kalsit kaplı numunelere benzer şekilde, A_S değerlerinde konsantrasyona bağlı büyük farklar olmamakla birlikte yaklaşık %0,9 oranında bir azalma mevcuttur.

Titanyum dioksit kaplamalar kör kaplama ile kıyaslandığında, minimum dolgu konsantrasyonunda bile oldukça önemli artış ve azalışlar olduğu görülmüştür. Maksimum konsantrasyonda (80 g/kg) titanyum dioksit kaplı numuneler, referans numuneler ile kıyaslandığında; T_{UV} , T_V ve T_S değerlerinin sırası ile %8,37, %36,31 ve %34,32 oranında azaldığı, R_V , R_S ve R_{NIR} değerlerinin ise %42,88, %37,49 ve %41,24 oranında arttığı görülmektedir. Kör kaplamada %8,97 olan A_S değeri ise %3,17'lik bir azalma ile %5,8'e düşmüştür.

Çizelge 4.13. Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşlara ait solar sonuçlar

Dolgu maddesi	Konsantrasyon (g/kg)	T _{UV}		T _v		T _s		R _v		R _s		R _{NIR}		A _s	
		Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS
Kalsit	20	7,75	0,36	36,16	0,56	35,64	0,57	60,91	0,55	56,50	0,54	54,55	0,60	7,86	0,07
	40	7,29	0,68	34,45	1,09	33,97	1,20	62,80	1,15	58,28	1,18	56,33	1,39	7,75	0,02
	60	7,12	0,06	33,87	0,12	33,41	0,17	63,47	0,48	58,86	0,51	57,03	0,52	7,73	0,35
	80	6,77	0,26	32,09	0,50	31,75	0,48	64,86	0,54	60,22	0,50	58,49	0,57	8,02	0,21
Titanyum dioksit	20	0,01	0,00	11,60	0,86	13,75	0,88	90,24	0,92	79,57	0,85	77,82	0,90	6,68	0,09
	40	0,00	0,00	7,58	1,68	9,14	0,97	95,95	0,26	85,45	0,20	84,82	0,40	5,42	0,86
	60	0,00	0,00	5,16	0,07	7,00	0,01	97,18	0,00	87,05	0,11	87,44	0,17	5,95	0,08
	80	0,00	0,00	3,77	0,14	5,46	0,17	98,52	0,36	88,74	0,30	89,68	0,19	5,80	0,13
Kör kaplama		8,55	0,33	40,09	1,00	39,78	0,95	55,64	0,62	51,24	0,72	48,44	1,00	8,97	0,78

Titanyum dioksit kaplamanın kalsit kaplamaya göre reflektans davranışını daha çok geliştirdiği ve paralel olarak geçirgenliği daha fazla düşürdüğü görülmüştür. Elde edilen sonuçlara benzer şekilde; Sandin, Nordin ve Jonsson (2017) tarafından yürütülen bir çalışmada da kalsit ve titanyum dioksit katkılı kaplamaların, görünür bölgede daha yüksek olan yansıtma oranlarının, yakın infrared bölgede azaldığı, bu anlamda iki dolgu malzemesinin birbirine benzer davranış sergilediği ifade edilmiştir. Yine bu çalışmada, her iki dolgu maddesi de sadece akrilik binder ile hazırlanmış kaplamaya göre daha yüksek yansıtma değerleri verse de bu konuda titanyum dioksitin daha başarılı olduğu ve kalsitin zayıf bir yansıtıcı olduğu belirtilmiştir.

Fung, Kennedy, Futter ve Manning (2013) tarafından yürütülen çalışmada ticari TiO₂ pigmentin diffüz (dağınık) yansıma değeri 700-2500 nm yakın infrared bölgesine geçişte %98'den %77'ye düşmüştür. Bu sonuca paralel olarak tez çalışmasında da 20 g/kg oranında TiO₂ ile kaplanmış numunede görünür bölgede %90 civarında olan reflektans değeri, yakın infrared bölgesinde %78'e gerilemiştir. Fung ve diğerleri (2013) ayrıca, kaplama kalınlığının, filmin yansıtma özelliğini etkileyen faktörlerden biri olduğunu ifade etmişlerdir. Daha yüksek kaplama kalınlığı, yansıtma için malzeme yüzeyi üzerinde daha fazla sayıda parçacık olması nedeniyle daha iyi yansıtma sağlayacaktır. Tez çalışmasında, dolgu konsantrasyonu artışı ile artan film kalınlığı değerleri ve sonucunda hem kalsit hem titanyum dioksit için artan reflektans değerleri düşünüldüğünde sonuçlar literatür ile uyumludur.

Güneş radyasyonu, yaklaşık %5 ultraviyole radyasyon, %46 görünür radyasyon ve %49 yakın kızılötesi radyasyondan (750-2500 nm) oluşmaktadır ve kızılötesi radyasyonun ısı üreten bölgesi, absorbe edildiğinde yüzeyin ısınmasına neden olan 700-1100 nm aralığıdır (Fung, Kennedy, Futter ve Manning, 2013; Jeevanandam ve diğerleri, 2007). Dolayısıyla özellikle yakın infrared bölgedeki yüksek yansıtma özelliği, radyan ısı kazanımını önleyerek ısı yalıtımı sağlamada önemli olmaktadır. Yakın infrared bölgedeki yansıtıcılık; parçacıkların ve onları çevreleyen ortamın (matrisin) kırılma indisleri (refraktif indeks), parçacıkların kaplamadaki dağılımı, binder konsantrasyonu ve gelen ışığın dalga boyu gibi birçok parametreye bağlı olarak değişir (Fung, Kennedy, Futter ve Manning, 2013).

Gelen radyasyon toz numuneye girdiğinde ve parçacıkların tane sınırları tarafından yansıtıldığında meydana gelen yansıma diffüz (dağınık) yansımadır ve kırılma indisleri ve partikül boyutu gibi özelliklere bağlı olarak değişecektir. Bir pigmentin kırılma indisi ile içinde bulunduğu ortamın kırılma indisi arasındaki fark ne kadar büyük olursa kırılan ışığın saçılımı da o kadar büyük olacaktır. Bu bağlamda havanın kırılma indisinin değiştirilmesi imkansızdır, ancak genellikle iyi yansıtıcılar olan yüksek kırılma indisine sahip pigmentler seçerek, yansımayı arttırmak mümkündür (Wong, Daoud, Liang ve Szeto; Murphy, 1999).

Titanyum dioksit yaklaşık olarak 2,7-2,9 arasında değişen bir kırılma indisi değerine sahipken, kalsitte bu değer 1,5-1,6 civarında kalmaktadır (Murphy, 1999; “Titanium Dioxide for Coatings”, 2019). Şekil 4.7, kırılma indisinin opaklık üzerindeki etkisine ait bir gösterimi içermektedir. Filmler, bir akrilik bağlayıcı içinde pigment hacim yüzdeleri sabit olacak şekilde formüle edilmiştir. Rutil TiO_2 ile üretilen film, alt tabakayı gizleme konusunda en eksiksiz performansı göstermektedir.



Şekil 4.7. Kırılma indisinin opaklık üzerindeki etkisi (“Titanium Dioxide for Coatings”, 2019).

Bu bilgiler ışığında, tez çalışmasında kullanılan titanyum dioksit ve kalsit farklı tanecik boyutlarında olsalar da titanyum dioksit kaplamalar ile çok daha yüksek reflektans değerlerine ulaşılmasında kalsite göre yüksek kırılma indisine ve örtücülüğe sahip olmasının etkili olabileceği düşünülmektedir. Özellikle radyan ısı kazanımı açısından önemli bir parametre olan yakın infrared reflektans (R_{NIR}) değerinin oldukça yüksek olması (%89,9) ile kalsit kaplamaya kıyasla istenmeyen ısı artışını önlemede avantajlı olacağı açıktır. Nitekim Şekil 4.3’te sunulan radyan ısı geçişi test sonuçları da bu çıkarımı

desteklemekte, titanyum dioksit kaplamalar kalsit kaplamalara göre daha düşük ısı geçiş faktörü (TF) değerleri vermektedir.

Çizelge 4.14'te sunulan istatistiksel analiz sonuçlarına göre hem kalsit hem de titanyum dioksit kaplamalı numunelerde, konsantrasyonun T_{UV} , T_V , T_S , R_V , R_S , R_{NIR} ve A_S değerleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde etkisi olduğu görülmektedir. Bu durumda, Çizelge 3.10'da söz konusu değişkenler için verilen alternatif hipotezler kabul edilmektedir.

Çizelge 4.14. Kalsit ve titanyum dioksit ile kaplanmış kumaşların solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Faktör		T_{UV}	T_V	T_S	R_V	R_S	R_{NIR}	A_S
<i>Titanyum dioksit</i>								
Konsantrasyon	R	8,37 b	40,09 d	39,78 e	55,64 a	51,24 a	48,44 a	8,97 b
	20	0,01 a	11,60 c	13,75 d	90,24 b	79,56 b	77,82 b	6,68 a
	40	0,00 a	7,58 b	9,14 c	95,95 c	85,45 c	84,82 c	5,42 a
	60	0,00 a	5,16 a	7,00 b	97,18 d	87,05 d	87,44 d	5,95 a
	80	0,00 a	3,77 a	5,46 a	98,52 e	88,74 e	89,68 e	5,80 a
<i>Kalsit</i>								
Konsantrasyon	R	8,37 c	40,09 d	39,78 d	55,64 a	51,24 a	48,44 a	8,97 b
	20	7,75 b, c	36,16 c	35,64 c	60,91 b	56,50 b	54,55 b	7,86 a
	40	7,29 a, b	34,45 b	33,97 b	62,80 c	58,28 c	56,33 c	7,75 a
	60	7,12 a, b	33,87 b	33,41 b	63,47 c	58,86 c	57,03 c, d	7,73 a
	80	6,77 a	32,09 a	31,75 a	64,86 d	60,22 d	58,49 d	8,02 a

(a), (b), (c), (d) ve (e) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

4.3. Farklı Tanecik Boyutunda Perlit ile Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar

4.3.1. Birim alan ağırlığı sonuçları

Düşük ısı iletim katsayısına sahip malzemeler kapsamında çalışılan üç farklı tanecik boyutu aralığında perlit ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşlara ait birim alan ağırlığı sonuçları Çizelge 4.15’te sunulmuştur. Maksimum konsantrasyonda 10-38, 50-63 ve 100-150 μm için birim alan ağırlığı değerleri, kör kaplamaya kıyasla sırasıyla; %23,06, %21,48 ve %23,21 oranında artış göstermiştir. 10-38, 50-63 ve 100-150 μm perlit kaplamada minimum konsantrasyon değerinden (20 g/kg) maksimum konsantrasyona (80 g/kg) çıkıldığında, numunelerin birim alan ağırlığı değerleri sırasıyla %13,43, %16,34 ve %14,46 oranında artmıştır. Bu sonuçlar, beklenildiği gibi dolgu maddesi konsantrasyonu arttıkça kalınlık değerlerinin arttığını doğrulamaktadır.

Çizelge 4.15. Perlit ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı sonuçları

Birim alan ağırlığı (g/m^2)										
Dolgu Maddesi	Tanecik Boyutu (μm)	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)								
		20		40		60		80		
		Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	
Perlit	10-38	282,30	1,63	287,90	2,15	307,60	3,86	320,20	0,61	
	50-63	271,70	4,39	284,60	3,95	304,60	1,74	316,10	2,90	
	100-150	280,10	3,66	293,20	1,04	311,60	1,90	320,60	2,72	
Kör Kaplama		260,2								0,53

4.3.2. Aktarılan madde miktarı sonuçları

Üç farklı tanecik boyutu aralığında perlit ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşlara ait aktarılan madde miktarı sonuçları Çizelge 4.16’da verilmiştir. Kör kaplamada $91,2 \text{ g}/\text{m}^2$ olarak elde edilen değer; kaplamasız kumaş üzerine %53,96 oranında bir add-on sonucuna tekabül etmektedir. 10-38, 50-63 ve 100-150 μm perlit için 20 g/kg’dan 80 g/kg’a doğru gidildikçe, aktarılan madde miktarları sırasıyla; %33,45, %43,23 ve %36,45 oranında artmıştır. Artan dolgu konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak zemin kumaşa aktarılan madde miktarının da arttığı görülmüştür.

Çizelge 4.16. Perlit ile kaplanmış kumaşların aktarılan madde miktarı sonuçları

Aktarılan madde miktarı (g/m ²)									
Dolgu Maddesi	Tanecik Boyutu (µm)	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)							
		20		40		60		80	
		Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Perlit	10-38	113,30	1,63	118,90	2,15	138,90	3,86	151,20	0,61
	50-63	102,70	4,39	115,60	3,95	135,60	1,74	147,10	2,90
	100-150	111,10	3,66	124,20	1,04	142,60	1,90	151,60	2,72
Kör Kaplama		91,20							0,53

4.3.3. Kalınlık sonuçları

Perlit ile kaplanmış kumaşlara ait kalınlık sonuçları Çizelge 4.17’de sunulmuştur. Tüm tanecik boyutlarında, konsantrasyon artışı ile birlikte kumaş kalınlığı da artmıştır. Konsantrasyondaki artış, patın katı madde içeriğindeki artışı ifade ettiğinden, birim alan ağırlığı, add-on ve kaplama film kalınlığının artması beklenen bir sonuçtur. Minimumdan maksimum konsantrasyona çıkıldığında kalınlık değerleri; 10-38 µm için %18,42, 50-63 µm için %26,83 ve 100-150 µm için %38 oranında artmıştır. 80 g/kg konsantrasyon sabit tutulup tanecik boyutuna bağlı olarak değerlendirildiğinde, 0,37 mm kalınlığındaki kör kaplamaya kıyasla, 10-38 µm %21,62, 50-63 µm %40,54, 100-150 µm ise %86,49 oranında artış göstererek 0,45, 0,52 ve 0,69 mm kalınlık sonuçları vermiştir.

Çizelge 4.17. Perlit ile kaplanmış kumaşların kalınlık sonuçları

Kumaş kalınlığı (mm)									
Dolgu Maddesi	Tanecik Boyutu (µm)	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)							
		20		40		60		80	
		Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Perlit	10-38	0,38	0,01	0,40	0,01	0,42	0,01	0,45	0,01
	50-63	0,41	0,01	0,45	0,01	0,50	0,01	0,52	0,01
	100-150	0,50	0,01	0,60	0,01	0,67	0,02	0,69	0,01
Kör Kaplama		0,37							0,01

Kaplama patı viskozitesi, bıçak açısı, kaplama hızı gibi çalışma parametreleri her kaplamada sabit olmakla birlikte, manuel olarak yapılan pat besleme ve sentil yardımı ile yapılan kaplama kalınlığı ayarlarında da olabildiğince hassas çalışmaya gayret edilmiştir.

Bu perspektifte, kaplama patı penetrasyon derecesinin numunelerde pek fazla değişmeyeceği düşünülmektedir. Bu koşullar altında perlit boyutunun artmasıyla tanecikler arası boşluk da artmış, dolayısıyla kaplama filminin kalınlığı artmıştır. Çizelge 4.18’de görülen istatistiksel analiz sonuçlarına göre perlit konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kaplamalı numunelerin birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kumaş kalınlığı değerleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde ayrı ayrı ve birlikte etkisi olduğu görülmektedir. Bu durumda, Çizelge 3.11’de söz konusu değişkenler için verilen alternatif hipotezler kabul edilmektedir.

Çizelge 4.18. Perlit ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

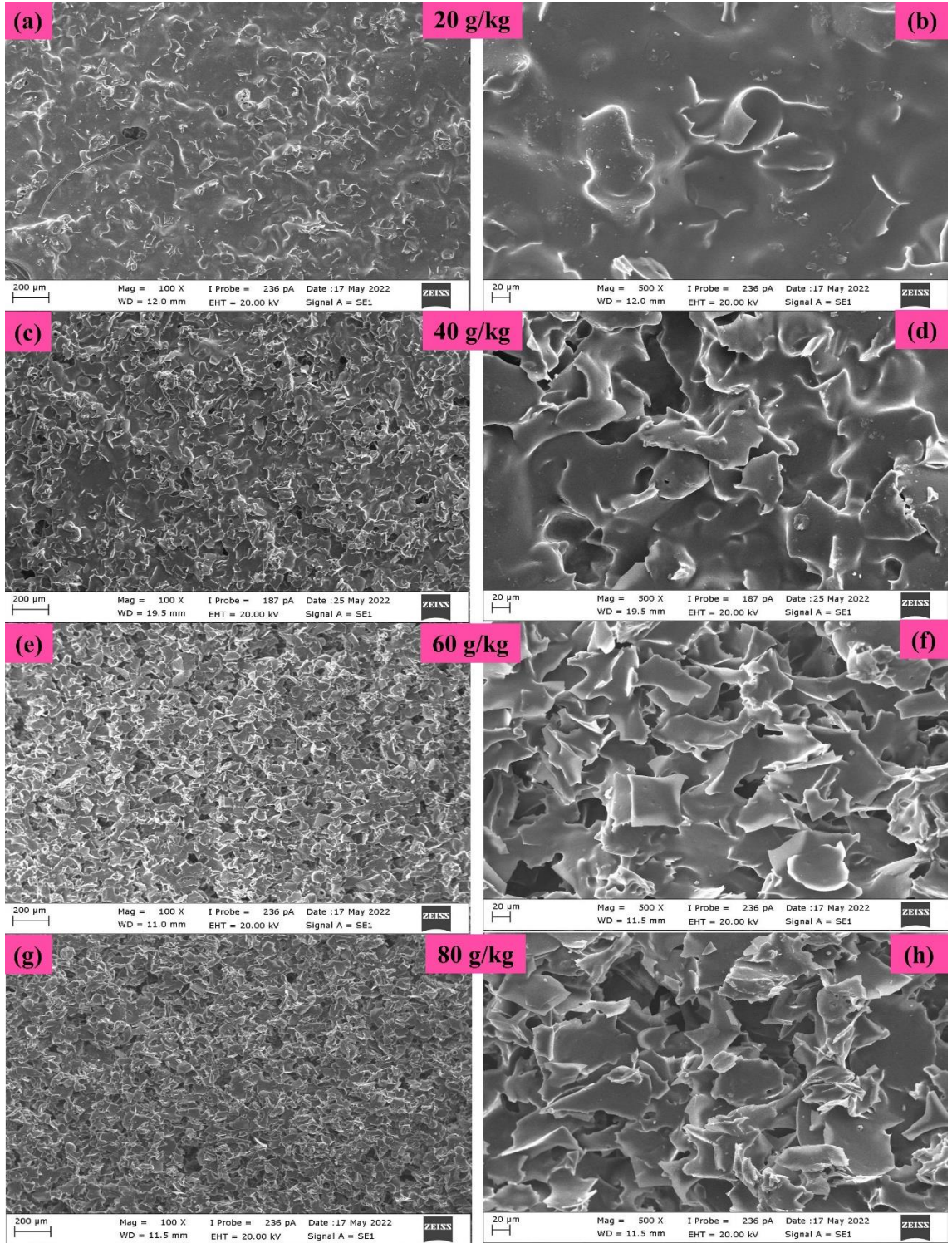
Faktör		Birim alan ağırlığı (g/m ²)		Aktarılan madde miktarı (g/m ²)		Kalınlık (mm)	
Konsantrasyon	R	0,00*	260,20 a	0,00*	91,20 a	0,00*	0,37 a
	20		278,04 b		109,27 b		0,43 b
	40		288,57 c		119,46 c		0,48 c
	60		307,99 d		138,99 d		0,53 d
	80		318,97 e		149,96 e		0,56 e
Tanecik boyutu	R	0,00*	260,20 a	0,00*	91,20 a	0,00*	0,37 a
	10-38		299,50 c		130,50 c		0,41 b
	50-63		294,26 b		125,25 b		0,47 c
	100-150		301,42 c		132,42 c		0,62 d
Konsantrasyon *		0,18*		0,18*		0,00*	
Tanecik boyutu							

(a), (b), (c), (d) ve (e) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

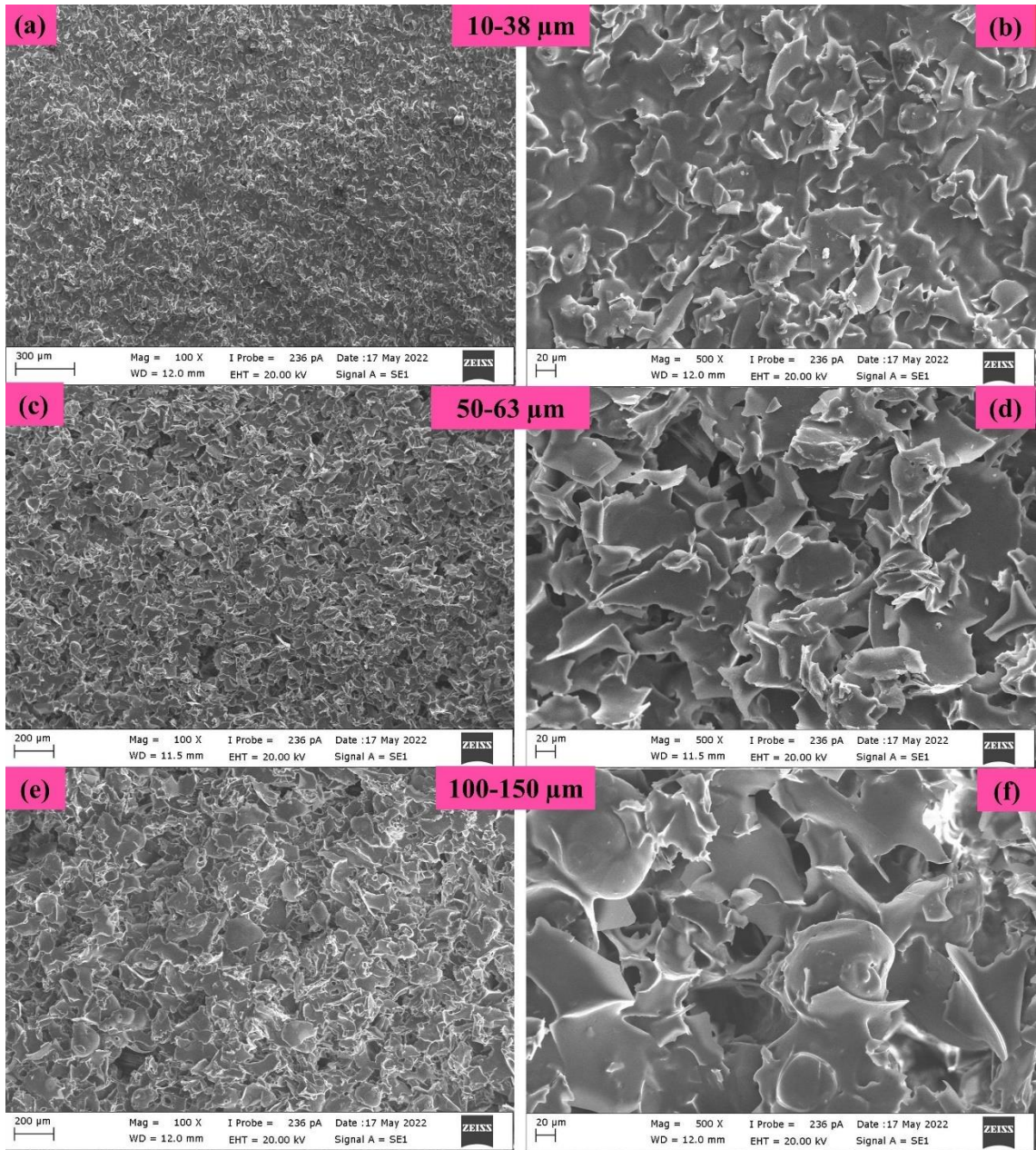
4.3.4. SEM analizi sonuçları

50-63 µm boyutunda perlit ile 20, 40, 60 ve 80 g/kg oranında kaplanan numunelere ait SEM görüntüleri iki farklı büyütme oranı ile Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. 50-63 μm perlit ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşların 100x (a, c, e, g) ve 500x (b, d, f, h) büyütme oranında SEM görüntüleri.

Artan perlit konsantrasyonu ile özellikle 40 g/kg'dan sonra yüzey tamamen örtülmüş, genel olarak homojen kaplamalar elde edildiği görülmüştür. Şekil 4.9'da ise 80 g/kg olan maksimum çalışma konsantrasyonunda 10-38, 50-63 ve 100-150 μm perlit ile kaplanan numunelerin SEM görüntüleri verilmektedir. Bu görüntüler, perlit tozlarının ortalama tanecik boyutu arttıkça kaplama yüzeylerinin daha pürüzlü hale geldiğini ve tanecikler arasındaki boşluk hücrelerinin (gözeneklerin) hacimlerinin arttığını ortaya koymaktadır.



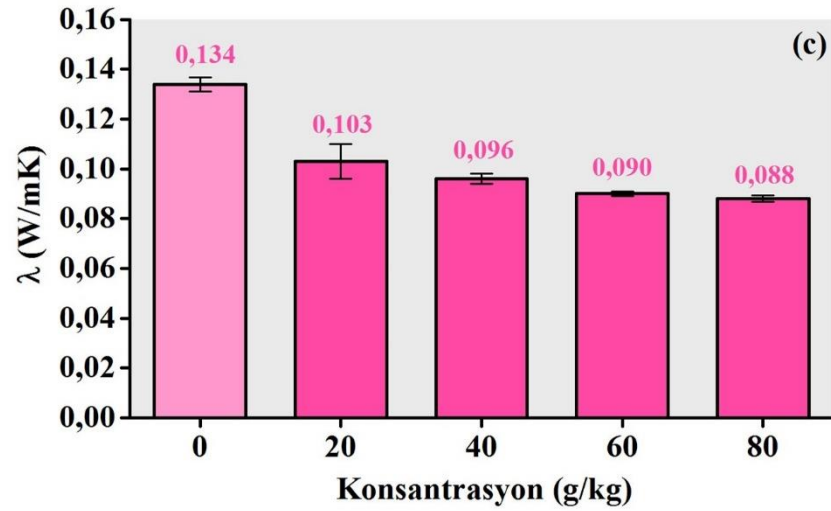
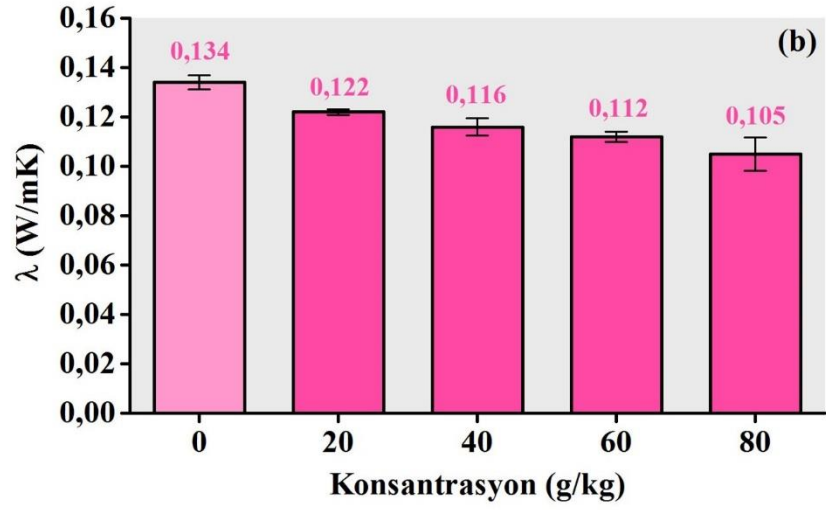
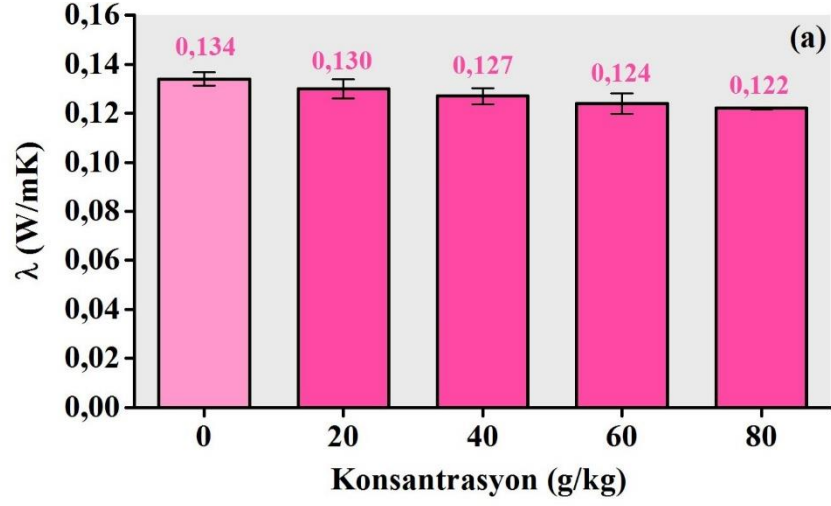
Şekil 4.9. 80 g/kg konsantrasyonda farklı tanecik boyutlarına sahip perlit ile kaplanmış kumaşların 100x (a, c, e) ve 500x (b, d, f) büyütme oranında SEM görüntüleri.

4.3.5. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları

10-38, 50-63 ve 100-150 μm olmak üzere üç farklı tanecik boyutu aralığında perlit ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış olan kumaşlara ait termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları Şekil 4.10'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, her tanecik boyutu için perlit konsantrasyonu arttıkça ısı iletim katsayısının kademeli olarak azaldığı görülmektedir. Termal yalıtım amaçlı kullanılan malzemelerden biri olan perlit için bu sonuçlar olumlu olarak değerlendirilebilir. Konsantrasyon artışı ile ısı iletim katsayıları arasında oluşan farklar tanecik boyutu arttıkça biraz daha belirginleşmektedir. 10-38, 50-63 ve 100-150 μm perlit kaplamada minimum konsantrasyon değerinden (20 g/kg) maksimum konsantrasyona (80 g/kg) geçildiğinde, numunelerin termal iletkenlik katsayıları sırası ile %6,15, %13,93 ve %14,56 oranında azalmıştır.

En düşük ısı iletim katsayısına (0,088 W/mK) en yüksek tanecik boyutunda (100-150 μm) ve maksimum konsantrasyon değerinde (80 g/kg) ulaşılmıştır. Her tanecik boyutunun maksimum konsantrasyonu için sonuçlar kör kaplama ile kıyaslandığında; ısı iletim katsayısı değerleri, 10-38 μm ile %8,96, 50-63 μm ile %21,64, 100-150 μm ile %34,33 oranında azalmıştır.

Dolgu malzemesinin boyutu, tanecikler arası ortalama mesafeyi belirtir ve termal iletkenlik için önemli bir parametredir. Sabit konsantrasyon için daha büyük bir perlit partikülü kullanıldığında, birim hacimdeki partikül içeriği azalır ve buna bağlı olarak matristeki ortalama partiküller arası mesafe artar, dolayısıyla daha büyük gözenekler oluşur (Bwayo ve Obwoya, 2014). Isı yalıtımının iyileştirilmesi prensibi de temel olarak katı sınırlar arasında hava boşluklarının oluşturulmasına dayanmaktadır (Viruthagiri, Nareshananda ve Shanmugam, 2013). Bu kapsamda, perlit boyutu büyüdükçe gözenek miktarının arttığı, bu nedenle ısıl iletkenliğin azalıp yalıtım etkisinin daha küçük boyutlu partiküllere göre daha fazla iyileştiği düşünülmektedir.



Şekil 4.10. 10-38 (a), 50-63 (b) ve 100-150 μm (c) perlit ile kaplanmış kumaşların termal iletkenlik katsayısı sonuçları.

4.3.6. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları

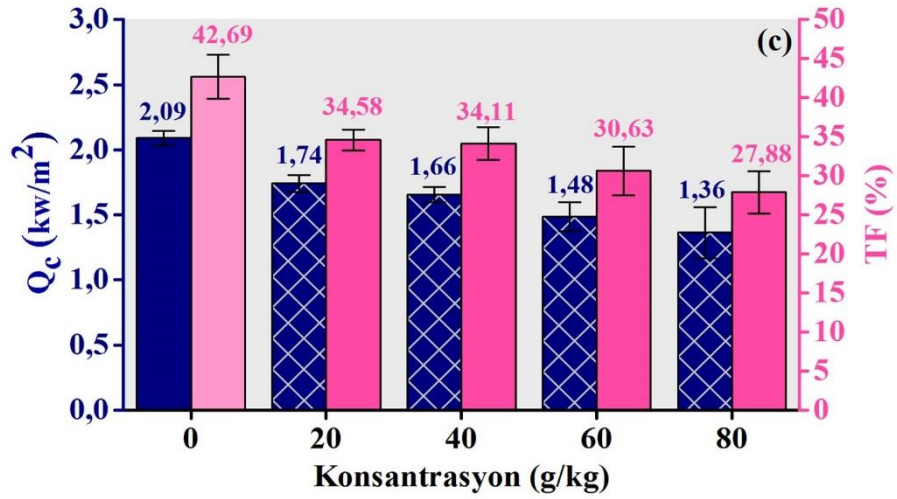
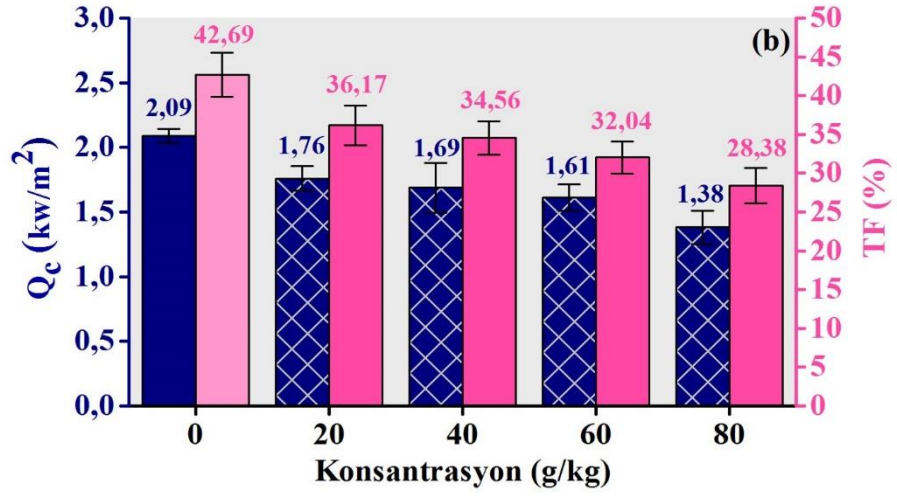
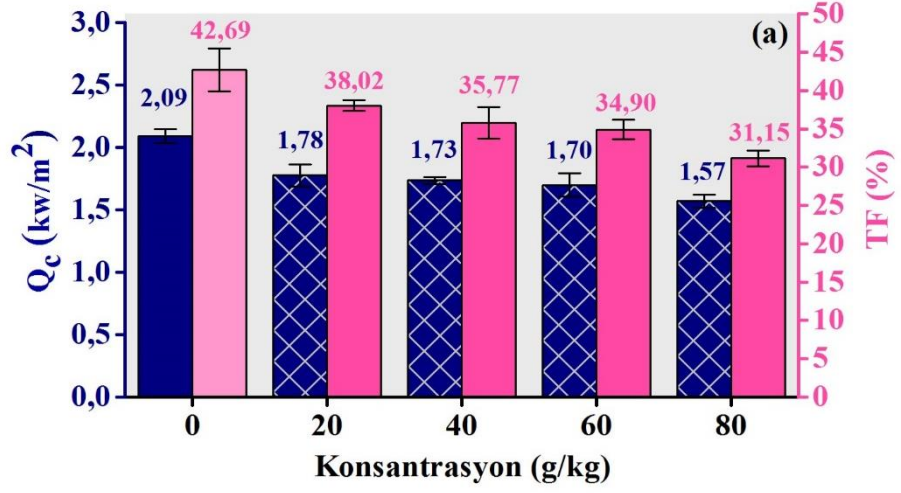
Farklı konsantrasyonlarda farklı tanecik boyutuna sahip perlit ile kaplanmış kumaşlara ait radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları Şekil 4.11' de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, üç farklı tanecik boyutu için de perlit konsantrasyonundaki artış ile geçirilen ısı akısı yoğunluğu (Q_c) ve doğru orantılı olarak ısı geçiş faktörü (TF) azalmıştır. Minimum (20 g/kg) ve maksimum (80 g/kg) konsantrasyonlar için Q_c incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

10-38 μm perlit kaplı numunenin minimum konsantrasyonda 1,78 kW/m² olan Q_c değerini, maksimum konsantrasyonda 1,57 kW/m²'ye düşmüştür. 50-63 μm tanecik boyutunda, minimum ve maksimum konsantrasyonlar için Q_c değerleri, sırası ile 1,76 ve 1,38 kW/m² olarak elde edilmiştir. En büyük tanecik boyutu aralığı olan 100-150 μm 'da minimum ve maksimum konsantrasyonlar için Q_c değerleri 1,74 ve 1,36 kW/m² olarak elde edilmiştir.

Isı geçiş faktörü (TF) sonuçları incelendiğinde; üç farklı tanecik boyutu için de konsantrasyon artışı ile doğru orantılı olarak TF değerlerinin azaldığı görülmüştür. Aynı konsantrasyon değerlerinde farklı tanecik boyutlarına göre sonuçlar yakın olmakla birlikte, en düşük TF değerini (%27,88), en yüksek tanecik boyutuna sahip perlit kaplı numunelerde elde edilmiştir.

Her tanecik boyutunun maksimum konsantrasyonuna ait sonuçlar kr kaplama (R) ile kıyaslandığında, TF değerlerindeki azalma 10-38 μm için %11,54, 50-63 μm için %14,31 ve 100-150 μm için %14,81 olarak elde edilmiştir.

Perlit kaplı numuneler her iki prensibe göre kendi içinde değerlendirildiğinde, termal yalıtım için en avantajlı sonuçların, 100-150 μm perlit ile 80 g/kg oranında kaplanmış numunelere ait olduğu görülmüştür.



Şekil 4.11. 10-38 (a), 50-63 (b) ve 100-150 µm (c) perlit ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi sonuçları.

Perlit kaplı numunelerin iki farklı prensibe dayanan termal sonuçlarına ait istatistiksel analiz verileri Çizelge 4.19’da verilmiştir. Dolgu konsantrasyonunun ve tanecik boyutunun geçirilen ısı akısı, ısı geçiş faktörü ve termal iletkenlik değerleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde etkisi olduğu görülmekte, Çizelge 3.11’de söz konusu değişkenler için verilen alternatif hipotezler kabul edilmektedir.

Çizelge 4.19. Perlit ile kaplanmış kumaşların termal ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Faktör		Qc (kW/m ²)		TF (%)		λ (W/mK)	
Konsantrasyon	R	0,00*	2,09 d	0,00*	42,69 d	0,00*	0,13 d
	20		1,76 c		36,26 c		0,12 c
	40		1,69 c, b		34,81 c, b		0,11 b
	60		1,60 b		32,52 b		0,11 b
	80		1,44 a		29,14 a		0,10 a
Tanecik boyutu	R	0,00*	2,09 a	0,00*	42,69 c	0,00*	0,13 d
	10-38		1,69 c		34,96 b		0,13 c
	50-63		1,61 b		32,79 b, a		0,11 b
	100-150		1,56 c		31,80 a		0,09 a
Konsantrasyon * Tanecik boyutu		0,67*		0,96*		0,02*	

(a), (b), (c), (d) ve (e) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

4.3.7. Solar ölçüm sonuçları

10-38, 50-63 ve 100-150 µm perlit ile kaplanmış kumaş numunelerine ait solar ölçüm sonuçları Çizelge 4.20’ de verilmiştir. Kör kaplamaya kıyasla üç tanecik boyutunda da artan dolgu maddesi konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak geçirgenlik değerleri (T_{UV} , T_V , T_S) azalırken, reflektans değerleri (R_V , R_S , R_{NIR}) artmıştır. Solar absorptans değerleri (A_S) de referans kumaşa göre artmış olup konsantrasyon arttıkça daha yüksek değerler elde edilmiştir. Minimum konsantrasyon değerinden (20 g/kg) maksimum konsantrasyona (80 g/kg) geçildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir:

10-38 µm perlit ile kaplı numunelerin T_{UV} değeri %2,78 oranında bir azalma ile %4,43'e düşmüştür. T_V ve T_S değerleri ise sırasıyla %10,19 ve %10,08 azalma ile %25,37 ve %25 olarak elde edilmiştir. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %3,38, %4,81 ve %6,66 oranında artış göstererek %62, %59,74 ve %60,31'e yükselmiştir. A_S değeri ise %5,28 oranında artarak %15,27 olarak elde edilmiştir.

50-63 µm perlit ile kaplı numunelerin T_{UV} , T_V ve T_S değerleri sırası ile %2,77, %11,85 ve %11,85 oranında azalarak %4,42, %23,47 ve %22,91'e düşmüştür. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %7,54, %8,88 ve %10,27 oranında artış göstererek %67,89, %65,6 ve %65,56'ya yükselmiştir. A_S değeri ise %2,96'lık bir artışla %11,49 olarak elde edilmiştir.

100-150 µm perlit ile kaplı numunelerin T_{UV} , T_V ve T_S değerleri sırası ile %2,44, %9,84 ve %9,83 oranında azalarak %4,98, %25,21 ve %24,58'e düşmüştür. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %4,7, %5,9 ve %7,46 oranında artış göstererek %64,93, %62,59 ve %62,49'a yükselmiştir. A_S değeri ise %3,94'lük bir artışla %12,83 olarak elde edilmiştir.

80 g/kg sabit olmak koşulu ile perlit kaplı numuneler kör kaplama ile kıyaslandığında, 10-38, 50-63 ve 100-150 µm perlit için T_{UV} değeri; sırasıyla %3,95, %3,96 ve %3,39 oranında, T_V değeri; %14,71, %16,62 ve %14,88 oranında ve T_S değeri %14,78, %16,87 ve %15,2 oranında azalmıştır.

R_V değeri; %6,36, %12,25 ve %9,29 oranında, R_S değeri; %8,5, %14,36 ve %11,35 oranında, R_{NIR} değeri; %11,87, %17,11 ve %14,05 oranında ve A_S değeri ise %6,29, %2,52 ve %3,86 oranında artış göstermiştir.

Çizelge 4.20. Perlit ile kaplanmış kumaşların solar ölçüm sonuçları

Konsantrasyon (g/kg)	Tanecik boyutu (μm)	T _{UV}		T _v		T _s		R _v		R _s		R _{NIR}		A _s	
		Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS
20	10-38	7,21	0,04	35,56	0,12	35,08	0,09	58,62	0,02	54,93	0,01	53,66	0,04	9,99	0,09
	50-63	7,18	0,21	35,32	0,12	34,76	0,12	60,35	0,12	56,72	0,19	55,29	0,12	8,53	0,14
	100-150	7,42	0,25	35,05	0,78	34,41	0,80	60,23	0,50	56,70	0,54	55,03	0,59	8,89	0,29
40	10-38	6,33	0,02	33,21	0,22	32,76	0,21	59,16	0,12	55,83	0,16	54,93	0,15	11,41	0,20
	50-63	6,50	0,10	32,74	0,41	32,11	0,43	61,58	0,27	58,26	0,28	57,20	0,32	9,63	0,17
	100-150	6,57	0,10	32,07	0,20	31,37	0,18	61,24	0,33	58,27	0,23	57,22	0,17	10,36	0,35
60	10-38	5,50	0,11	30,14	0,10	29,72	0,10	59,61	0,11	56,69	0,08	56,56	0,06	13,59	0,18
	50-63	5,43	0,06	27,61	0,17	26,98	0,17	65,07	0,19	62,34	0,17	61,81	0,17	10,69	0,17
	100-150	5,49	0,24	27,83	0,17	27,11	0,19	63,63	0,02	60,96	0,06	60,49	0,43	11,93	0,18
80	10-38	4,43	0,05	25,37	0,07	25,00	0,06	62,00	0,15	59,74	0,16	60,31	0,13	15,27	0,10
	50-63	4,42	0,03	23,47	0,14	22,91	0,12	67,89	0,21	65,60	0,14	65,56	0,09	11,49	0,25
	100-150	4,98	0,12	25,21	0,37	24,58	0,33	64,93	0,11	62,59	0,17	62,49	0,20	12,83	0,44
Kör kaplama		8,55	0,33	40,09	1,00	39,78	0,95	55,64	0,62	51,24	0,72	48,44	0,99	8,97	0,78

Sabit perlit konsantrasyonu için tanecik boyutu açısından değerlendirme yapıldığında; 10-38 µm aralığından 50-63 µm' a geçildiğinde transmitans ve absorpsiyon değerleri azalmış, reflektans değerleri ise artmıştır. Ancak bu eğilim, 100-150 µm'da devam etmemiş, kullanılan en yüksek tanecik boyutunda reflektans değerlerinde bir miktar gerileme görülmüştür. T_s değeri ise orta tanecik boyutuna kıyasla bir miktar artarak 10-38 µm' a ait değere yaklaşmış, A_s ise küçük ve orta boyuta ait sonuçların arasında yer almıştır.

Toz halindeki bir numunenin üzerine bir ışık huzmesi düştüğünde, yansıma, iletim ve absorpsiyon meydana gelebilir. Örnek optik olarak yeterince kalınsa, iletilen ışık ihmal edilebilir. Yansıma ise speküler yansıma veya dağınık yansıma olarak gerçekleşebilir. Speküler (aynasal) yansıma, optik olarak pürüzsüz yüzeyler ve yüksek düzeyde emici numuneler için önemlidir. Belirli bir yüzey pürüzlülüğü söz konusu olduğunda ise dağınık yansıma ön plana çıkmaktadır. Tozlar ve homojen olmayan sistemler gibi karmaşık yapıların optik özelliklerini açıklamak için yaygın olarak kullanılan Kubelka-Munk (KM) teorisine göre bir numunenin yansıtma özelliği, absorpsiyon katsayısının saçılma katsayısına oranına bağlıdır ($K/S=(1-R)^2/2R$; burada K ve S sırasıyla absorpsiyon ve saçılma katsayılarını, R ise yansımayı gösterir). Teoriye göre, parçacık boyutu arttığında ışığın penetrasyon derinliği artacağından absorpsiyon artacak buna bağlı olarak reflektans değeri azalacaktır (Fung, Kennedy, Futter ve Manning, 2013).

Literatürde rastlanan çeşitli çalışmalar incelendiğinde, mikron değerlerinde artan tanecik boyutu ile reflektans özelliği arasında ters orantılı bir değişim olduğu gözlenmiştir (Myers ve diğerleri, 2015; Shao, Shih, Kim ve Shi, 2015). Spesifik absorpsiyon dalga boylarındaki etkiler daha karmaşık olmakla birlikte, genel olarak yansımanın partikül boyutu küçüldükçe arttığı ifade edilmektedir (Sun, Lv ve Tong, 2016).

Mustard ve Hays (1997) tarafından yürütülen çalışmada 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 ve 20-25 µm aralıklarında öğütülmüş lal taşına ait 0,3-24 µm aralığında alınan reflektans spektrumu değerlendirilmiştir. Tez çalışmamızda da incelenen dalga boyu aralığına (280-2500 nm) denk gelen 0,3-300 µm bölümünde en yüksek reflektans değerinin en küçük tanecik boyutu ile elde edildiği ve devamında artan boyut ile reflektans değerlerinin bir

miktar azaldığı ifade edilmiştir. Ancak perlit kaplı kumaşlarda elde ettiğimiz sonuçlar bahsi geçen çalışmalar ile birebir uyum göstermemektedir. Tersine en küçük boyuta sahip 10-38 μm perlit en düşük reflektans değerini vermiştir. 100-150 μm 'da reflektans değerleri 50-63 μm 'a kıyasla bir miktar azalsa da 10-38 μm 'un gerisine düşmemiştir. Yukarıda bahsedilen bazı çalışmalarda doğrudan toz numunenin kendisinden alınan ölçümler söz konusudur ve malzemeler tamamen opak olarak değerlendirilmiştir. Ancak burada kumaş üzerinde oluşturulan kaplama filminin örtücülüğü, gözenekliliği vb. parametrelerin de transmitans davranışına etkisinin önemli olabileceği düşünülmektedir. Artan tanecik boyutu ile yüzeyde daha fazla örtücülük sağlanması sonucu, kaplama polimeri tarafından absorbe edilebilecek ışık miktarında azalma olabileme ihtimali 50-63 μm perlit örneği ile uyusmaktadır.

Yang, Zhao ve Wang (2013) çalışmalarında saçılma katsayısının büyük ölçüde kaplamaların mikro yapılarına, yani gözenek boyutuna, gözenekliliğe ve gözenek dağılımına bağlı olduğunu ve bunun da kaplama içindeki termal radyasyon ısı transferini önemli ölçüde etkileyeceğini ifade etmişlerdir. Tüm bu bilgiler ışığında farklı tanecik boyutlarına sahip dolgularla üretilen kaplama filmlerinin optik özelliklerinin değerlendirilmesinde birçok parametrenin etkili olabileceği görülmüştür. Dolayısıyla daha kesin çıkarımlar yapabilmek için yüzey pürüzlülüğü, kaplama filminin gözenekliliği, kullanılan dolgu maddelerinin absorpsiyon/saçılma katsayıları gibi verilere ihtiyaç duyulabileceği, sonuçların bu verilerle daha sağlıklı yorumlanabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.21'de görülen istatistiksel analiz sonuçlarına göre perlit konsantrasyonunun ve tanecik boyutunun numunelerin solar özellikleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde etkisi olduğu görülmekte; Çizelge 3.11'de söz konusu değişkenler için verilen alternatif hipotezler kabul edilmektedir.

Çizelge 4.21. Perlit ile kaplanmış kumaşların solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Faktör		T _{UV}	T _V	T _S	R _V	R _S	R _{NIR}	A _S
Konsantrasyon	R	8,37 e	40,09 e	39,78 e	55,64 a	51,24 a	48,44 a	8,97 a
	20	7,27 d	35,31 d	34,75 d	59,73 b	56,12 b	54,66 b	9,14 a
	40	6,47 c	32,67 c	32,09 c	60,66 c	57,45 c	56,48 c	10,47 b
	60	5,48 b	28,53 b	27,94 b	62,77 d	59,99 d	59,62 d	12,07 c
	80	4,61 a	24,68 a	24,16 a	64,94 e	62,64 e	62,79 e	13,19 d
Tanecik boyutu	R	8,37 c	40,09 c	39,78 c	55,64 a	51,24 a	48,44 a	8,97 a
	10-38	5,87 a	31,07 b	30,64 b	59,85 b	56,80 b	56,39 b	12,56 d
	50-63	5,88 a	29,79 a	29,19 a	63,72 d	60,73 d	59,96 d	10,08 b
	100-150	6,12 b	30,04 a	29,37 b	62,51 c	59,63 c	58,81 c	11,00 c
Konsantrasyon * Tanecik boyutu	0,06*	0,01*	0,02*	0,00*	0,00*	0,01*	0,00*	

(a), (b), (c), (d) ve (e) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

4.4. Farklı Tanecik Boyutunda Pomza ile Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar

4.4.1. Birim alan ağırlığı sonuçları

0-25, 50-75 ve 100-125 µm tanecik boyutunda pomza ile dört farklı konsantrasyonda kaplanmış numunelere ait birim alan ağırlığı sonuçları Çizelge 4.22’de verilmiştir. 20 g/kg’dan 80 g/kg değerine geçişte numunelerin birim alan ağırlıkları, küçük tanecik boyutundan büyüğe doğru sırası ile %15,04, %12,29 ve %12,97 oranında artış

göstermiştir. 80 g/kg konsantrasyonda 0-25, 50-75 ve 100-125 µm pomza kaplamalar için birim alan ağırlığı değerleri, kör kaplamaya kıyasla; %30,28, %26,98 ve %27,16 oranında artmıştır. Artan pomza konsantrasyonuna bağlı olarak birim alan ağırlığı değerlerinin artması da beklenen bir sonuçtur.

Çizelge 4.22. Pomza ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı sonuçları

Birim alan ağırlığı (g/m ²)										
Dolgu Maddesi	Tanecik	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)								
	Boyutu	20		40		60		80		
	(µm)	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	
Pomza	0-25	294,66	3,04	312,35	2,71	319,41	2,58	338,98	1,75	
	50-75	294,25	2,97	310,43	3,11	318,30	2,62	330,41	1,22	
	100-125	292,89	2,16	318,07	1,83	324,38	3,91	330,87	2,64	
Kör Kaplama		260,2								0,53

4.4.2. Aktarılan madde miktarı sonuçları

Pomza kaplı numunelere ait aktarılan madde miktarı sonuçları Çizelge 4.23'te verilmiştir. 0-25, 50-75 ve 100-125 µm pomza için 20 g/kg'dan 80 g/kg'a geçişte, aktarılan madde miktarları sırasıyla; %35,27, %28,87 ve %30,66 oranında artmıştır. Artan konsantrasyon ile aktarılan madde miktarının artması beklenen bir sonuç olmakla birlikte tanecik boyutuna bağlı belirgin bir ilişki görülmemiştir. En küçük tanecik boyutundan orta boyuta geçildiğinde aktarılan madde miktarı azalsa da en büyük tanecik boyutunda bu değer yaklaşık olarak aynı kalmıştır.

Çizelge 4.23. Pomza ile kaplanmış kumaşların aktarılan madde miktarı sonuçları

Aktarılan madde miktarı (g/m ²)										
Dolgu Maddesi	Tanecik	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)								
	Boyutu	20		40		60		80		
	(µm)	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	
Pomza	0-25	125,66	3,04	143,35	2,71	150,41	2,58	169,98	1,75	
	50-75	125,25	2,97	141,43	3,11	149,30	2,62	161,41	1,22	
	100-125	123,89	2,16	149,07	1,83	155,38	3,91	161,87	2,64	
Kör Kaplama		91,2								0,53

4.4.3. Kalınlık sonuçları

Farklı tanecik boyutlarında farklı konsantrasyonlarda pomza ile kaplanmış kumaşların kalınlık değerleri izelge 4.24'te sunulmuştur. Beklenildiği üzere tüm tanecik boyutlarında konsantrasyon artışı ile birlikte kalınlık değerleri de artmıştır. Minimum pomza konsantrasyonundan maksimuma doğru kalınlık değerleri; 0-25 µm için %7,69, 50-75 µm için %10 ve 100-125 µm için %12,24 artmıştır. 80 g/kg konsantrasyon sabit tutulup tanecik boyutuna bağlı olarak değerlendirildiğinde, 0,37 mm kalınlığındaki kör kaplamaya kıyasla, 0-25 µm %13,51, 50-75 µm %18,92, 100-125 µm ise %48,65 oranında artış göstererek 0,42, 0,44 ve 0,55 mm kalınlık sonuçları vermiştir. Perlit kaplamalı numunelere benzer şekilde burada da artan tanecik boyutuna bağlı olarak kalınlık değerleri artış göstermiştir.

Çizelge 4.24. Pomza ile kaplanmış kumaşların kalınlık sonuçları

Kumaş kalınlığı (mm)									
Dolgu Maddesi	Tanecik Boyutu (µm)	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)							
		20		40		60		80	
		Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Pomza	0-25	0,39	0,01	0,41	0,01	0,41	0,01	0,42	0,00
	50-75	0,40	0,01	0,42	0,01	0,43	0,01	0,44	0,00
	100-125	0,49	0,01	0,51	0,00	0,54	0,01	0,55	0,02
Kör Kaplama		0,37							0,01

Çizelge 4.25'te verilen istatistiksel analiz sonuçlarına göre pomza konsantrasyonun ve tanecik boyutunun kaplamalı numunelerin birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kumaş kalınlığı değerleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde hem ayrı ayrı hem de birlikte etkisi olduğu görülmektedir. Tanecik boyutuna göre birim alan ağırlığı ve add-on değerleri SNK testine göre aynı seviyededir. Bu durumda, izelge 3.11'de söz konusu değişkenler için verilen alternatif hipotezler kabul edilmektedir.

Çizelge 4.25. Pomza ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

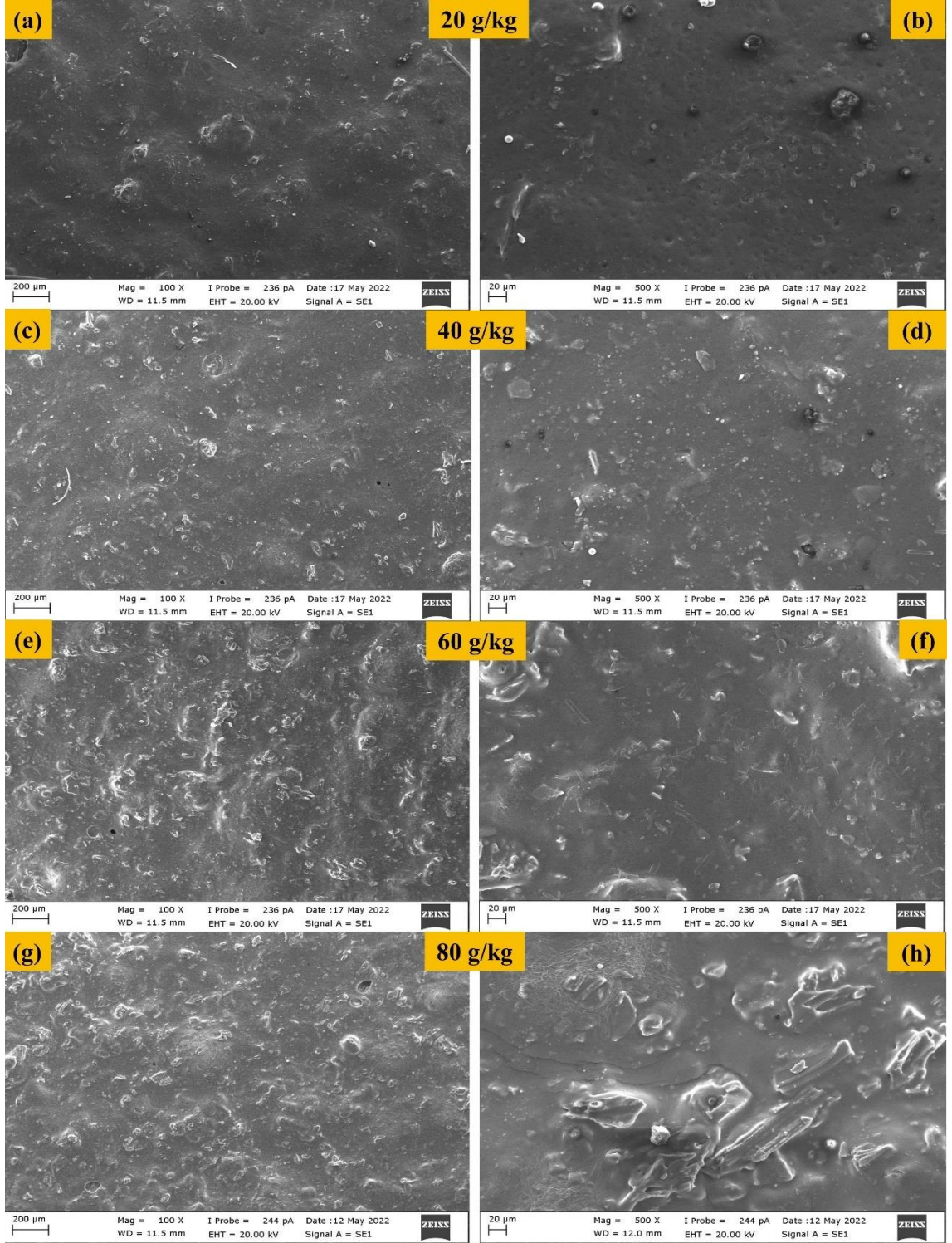
Faktör		Birim alan ağırlığı (g/m ²)		Aktarılan madde miktarı (g/m ²)		Kalınlık (mm)	
Konsantrasyon	R	0,00*	260,20 a	0,00*	91,20 a	0,00*	0,37 a
	20		293,93 b		124,93 b		0,43 b
	40		313,62 c		144,62 c		0,45 c
	60		320,70 d		151,70 d		0,46 d
	80		333,42 e		164,47 e		0,47 e
Tanecik boyutu	R	0,02*	260,20 a	0,02*	91,20 a	0,00*	0,37 a
	0-25		316,35 b		147,39 b		0,41 b
	50-75		313,35 b		144,35 b		0,42 c
	100-125		316,55 b		147,55 b		0,52 d
Konsantrasyon * Tanecik boyutu		0,03*		0,02*		0,02*	

(a), (b), (c), (d) ve (e) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

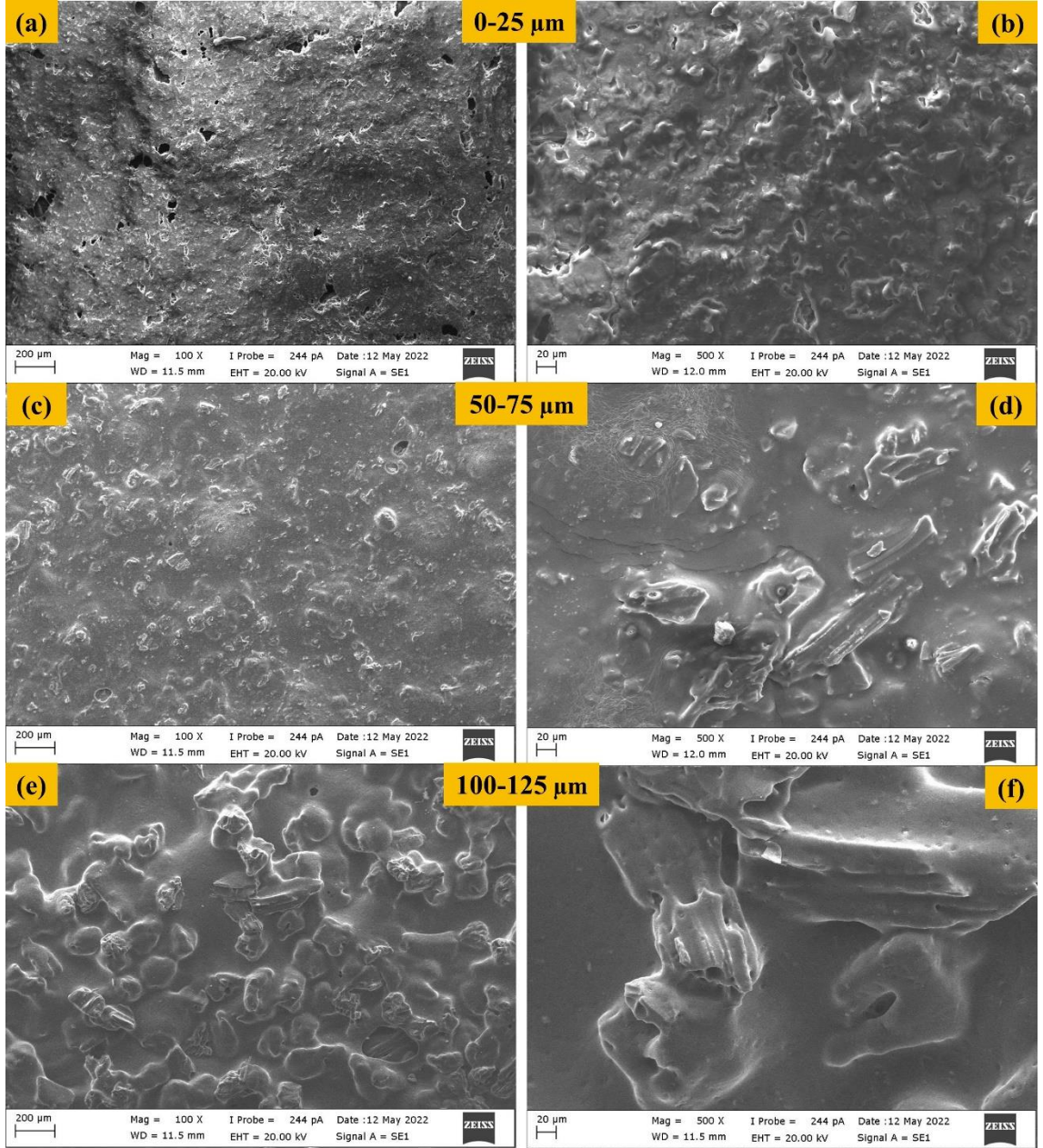
*%5 anlamlılık seviyesi

4.4.4. SEM analizi sonuçları

50-75 µm orta tanecik boyutu aralığında pomza ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış numunelere ait SEM görüntüleri Şekil 4.12, 80 g/kg konsantrasyon değerinde 0-25, 50-75 ve 100-150 µm boyutlarında pomza ile kaplanmış numunelerin SEM görüntüleri Şekil 4.13'te verilmiştir. Artan konsantrasyona bağlı olarak daha fazla pomza aktarımı Şekil 4.12'de net olarak görülmektedir. Şekil 4.15'te ise tanecik boyutu farkı bariz olup özellikle 100-125 µm pomza kaplı yüzeylerde pürüzlü yapının oldukça arttığı fark edilmektedir.



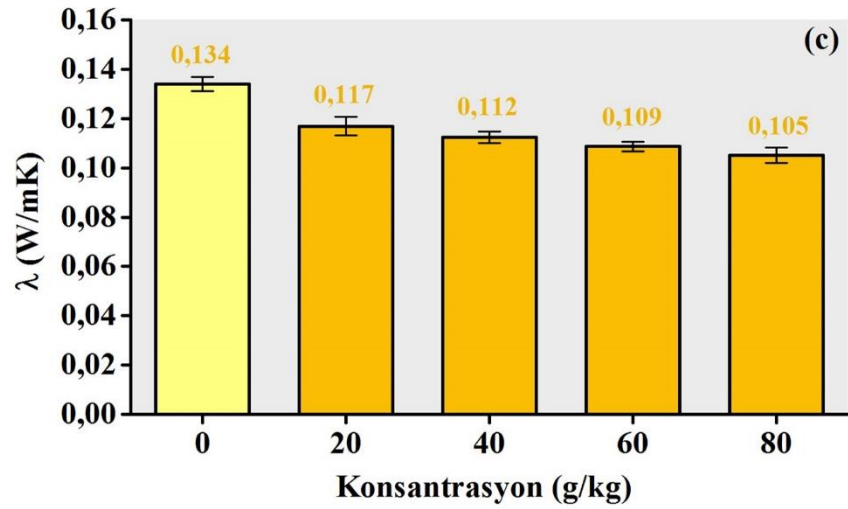
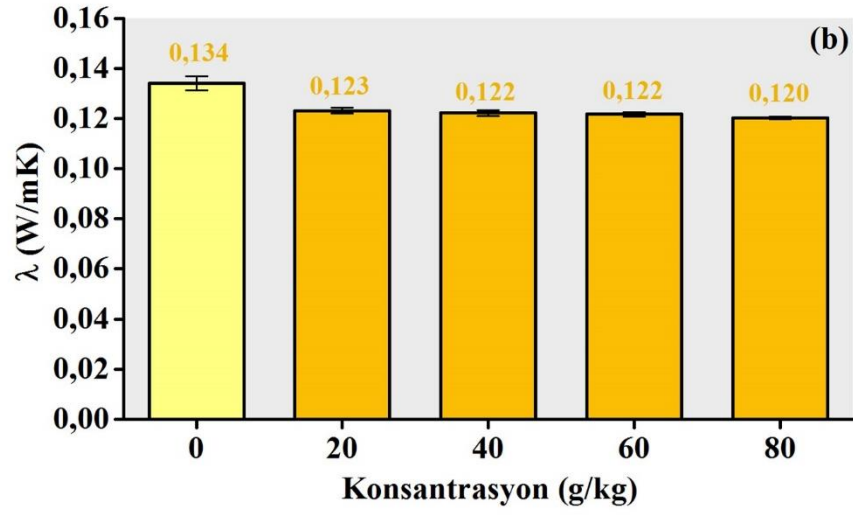
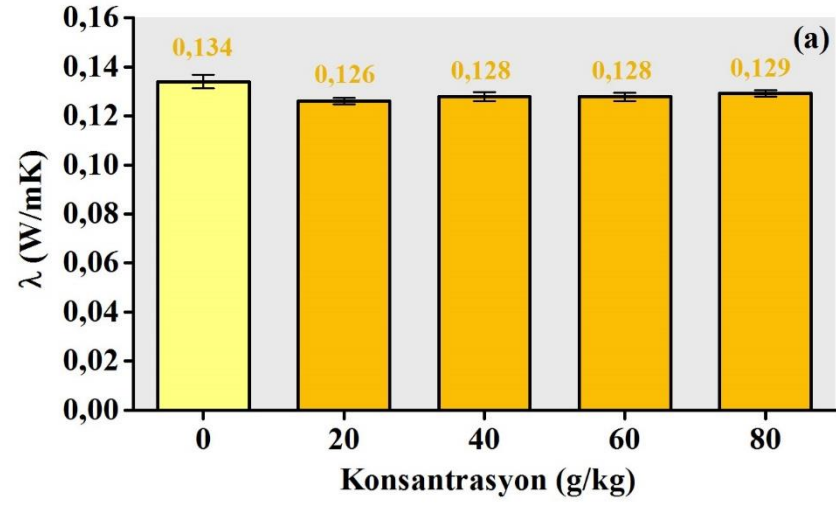
Şekil 4.12. 50-75 μm pomza ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşların 100x (a, c, e, g) ve 500x (b, d, f, h) büyütme oranında SEM görüntüleri.



Şekil 4.13. 80 g/kg konsantrasyonda farklı tanecik boyutlarına sahip pomza ile kaplanmış kumaşların 100x (a, c, e, g) ve 500x (b, d, f, h) büyütme oranında SEM görüntüleri.

4.4.5. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları

0-25, 50-75 ve 100-125 μm olmak üzere üç farklı tanecik boyutu aralığında pomza ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşlara ait termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14. 0-25 (a), 50-75 (b) ve 100-125 μm (c) pomza ile kaplanmış kumaşların termal iletkenlik katsayısı sonuçları.

0-25 ve 50-75 μm aralıklarında, kör kaplamaya kıyasla termal iletkenlik katsayılarında bir miktar azalma olsa da bu azalma beklendiği şekilde konsantrasyon artışı ile değişmemiştir. 0-25 μm pomza tozu ile yapılan kaplamalarda 20 g/kg'dan 80 g/kg'a geçildiğinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmamakla birlikte iletkenlik değerinde artış görülmüştür. Orta tanecik boyutu aralığına geçildiğinde kör kaplamaya kıyasla termal iletkenlik katsayısı değeri daha fazla azalmıştır. Burada da perlit kaplamalara benzer şekilde en düşük termal iletkenlik katsayısı en büyük tanecik boyutu aralığı olan 100-125 μm ile elde edilmiştir. Kör kaplamaya kıyasla 0-25, 50-75 ve 100-125 μm için elde edilen maksimum azalma oranları sırası ile %5,97, %10,45 ve %21,64 olarak elde edilmiştir. 100-125 μm pomza ile yapılan kaplamalarda, minimum konsantrasyondan maksimum konsantrasyona geçişte termal iletkenlik katsayısı %10,26 oranında azalmıştır.

Pomza, düşük yoğunluk, iyi ısı yalıtımı, alev dayanımı, gözenekli yapısı, makul esneklik ve basınç dayanımı ile hafif agrega olarak nitelendirilen ve önemli özelliklere sahip bir malzemedir (Celik, Family ve Menguc, 2016). Bu özelliklerine ilave olarak toksik olmaması nedeniyle endüstriyel ve inşaat uygulamalarında kullanım alanı bulması mümkündür (Benk ve Coban, 2012). Perlit kadar başarılı olmasa da pomzanın termal iletkenlik katsayısı değerini düşürerek yalıtıma katkı sunması ve 0-25 μm boyutunda görülemez de konsantrasyon artışı ile iletkenlik katsayısının azalması literatürdeki bazı çalışmalarla da uyumlu bulunmuştur (Gündüz ve Uğur, 2005; Hossain ve Lachemi, 2005).

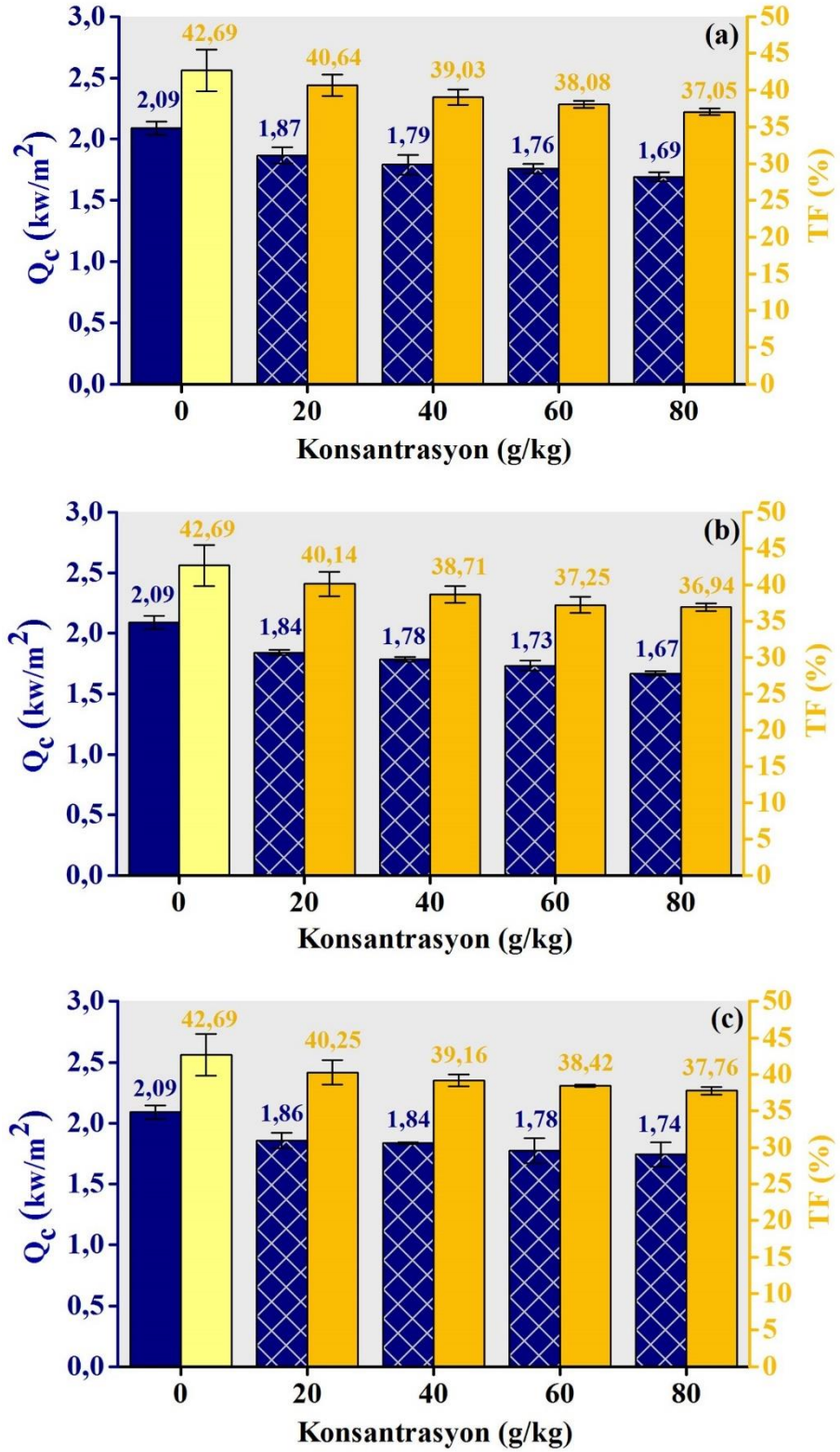
4.4.6. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları

Farklı konsantrasyonlarda farklı tanecik boyutuna sahip pomza ile kaplanmış kumaşlara ait radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları Şekil 4.15' te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, üç farklı tanecik boyutu için de pomza konsantrasyonundaki artış ile geçirilen ısı akısı yoğunluğu (Q_c) ve doğru orantılı olarak ısı geçiş faktörü (TF) azalmıştır. Minimum (20 g/kg) ve maksimum (80 g/kg) konsantrasyonlar için Q_c incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

0-25 µm pomza kaplı numunenin minimum konsantrasyonda 1,87 kW/m² olan Q_c değeri, maksimum konsantrasyonda 1,69 kW/m²'ye düşmüştür. 50-75 µm tanecik boyutunda, minimum ve maksimum konsantrasyonlar için Q_c değerleri, sırası ile 1,84 ve 1,67 kW/m² olarak elde edilmiştir. 100-125 µm pomza kaplı numunelerde ise minimum ve maksimum konsantrasyonlar için Q_c değerleri 1,86 ve 1,74 kW/m² olarak elde edilmiştir.

Isı geçiş faktörü (TF) sonuçları incelendiğinde; üç farklı tanecik boyutu için de konsantrasyon artışı ile doğru orantılı olarak TF değerlerinin azaldığı görülmüştür. Aynı konsantrasyon değerlerinde farklı tanecik boyutlarına göre sonuçlar yakın olmakla birlikte, en düşük TF değeri (%36,94), pomzanın orta tanecik boyutu aralığında (50-75 µm) elde edilmiştir.

Elde edilen veriler, 4.3.5'te sunulan perlit kaplı numune sonuçları ile kıyaslandığında; pomza kaplı numunelerin verdikleri daha yüksek TF ve Q_c değerleri ile yalıtım açısından perlit kadar avantajlı olmayacağı görülmektedir.



Şekil 4.15. 0-25 (a), 50-75 (b) ve 100-125 μm (c) pomza ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi sonuçları.

Çizelge 4.26’da sunulan istatistiksel analiz sonuçlarına göre pomza kaplı numunelerde, konsantrasyonun ve tanecik boyutunun geçirilen ısı akısı, ısı geçiş faktörü ve termal iletkenlik değerleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde ayrı ayrı etkisi olduğu ancak birlikte etkisi olmadığı görülmektedir. Kör kaplamaya (R) göre farklı olmakla birlikte konsantrasyon ve tanecik boyutu bazında termal değerler yakın olup aynı harflerle ifade edilmiştir. Tanecik boyutuna göre termal iletkenlik katsayıları arasındaki farklar diğerlerine kıyasla daha anlamlıdır.

Çizelge 4.26. Pomza ile kaplanmış kumaşların termal ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Faktör		Qc (kW/m ²)		TF (%)		λ (W/mK)	
Konsantrasyon	R	0,00*	2,09 d	0,00*	42,69 c	0,00*	0,13 c
	20		1,85 c		40,34 b		0,12 b
	40		1,80 b, c		38,97 a, b		0,12 a, b
	60		1,76 a, b		37,92 a		0,12 a, b
	80		1,70 a		37,25 a		0,12 a
Tanecik boyutu	R	0,18*	2,09 b	0,47*	42,69 b	0,00*	0,13 d
	0-25		1,78 a		38,70 a		0,13 c
	50-75		1,76 a		38,26 a		0,12 b
	100-125		1,80 a		38,90 a		0,11 a
Konsantrasyon * Tanecik boyutu		0,97*		0,99*		0,00*	

(a), (b), (c) ve (d) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

4.4.7. Solar ölçüm sonuçları

0-25, 50-75 ve 100-125 µm pomza ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşlara ait solar ölçüm sonuçları Çizelge 4.27’de verilmiştir. Tüm tanecik boyutlarında artan pomza konsantrasyonu ile geçirgenlik değerleri (T_{UV} , T_V , T_S) azalırken, perlit kaplamalardan farklı olarak reflektans değerleri (R_V , R_S , R_{NIR}) de azalmıştır.

Çizelge 4.27. Pomza ile kaplanmış kumaşların solar ölçüm sonuçları

Konsantrasyon (g/kg)	Tanecek boyutu (µm)	T _{UV}		T _v		T _s		R _v		R _s		R _{NIR}		A _s	
		Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS
20	0-25	6,61	0,25	35,46	0,41	35,13	0,40	55,58	0,68	51,68	0,70	51,42	0,54	13,29	0,70
	50-75	7,19	0,22	35,92	0,27	35,51	0,23	56,77	0,21	52,68	0,19	51,93	0,13	11,81	0,39
	100-125	6,50	0,26	36,04	0,18	35,45	0,22	58,32	0,15	54,43	0,13	53,18	0,17	10,12	0,19
40	0-25	5,75	0,21	33,11	0,18	32,93	0,13	53,09	0,11	49,62	0,08	50,34	0,01	17,46	0,19
	50-75	6,35	0,13	33,91	0,12	33,58	0,01	55,42	0,39	51,70	0,42	51,87	0,35	14,72	0,43
	100-125	6,36	0,23	34,86	0,18	34,23	0,11	56,84	0,29	53,00	0,26	52,52	0,43	12,77	0,32
60	0-25	5,11	0,44	33,34	0,78	33,35	0,79	49,45	1,49	46,16	1,73	47,49	1,58	20,49	1,28
	50-75	5,81	0,08	32,27	0,12	32,17	0,15	53,46	0,14	50,25	0,15	50,82	0,19	17,58	0,29
	100-125	6,55	0,52	34,40	0,55	33,94	0,59	55,21	0,14	51,75	0,16	51,36	0,31	14,31	0,58
80	0-25	4,57	0,17	30,43	1,41	30,78	1,42	46,95	1,20	44,38	1,35	45,93	1,55	24,85	0,07
	50-75	5,54	0,11	31,13	0,46	31,21	0,45	51,30	0,31	48,58	0,29	49,36	0,29	20,21	0,18
	100-125	5,95	0,33	33,21	0,12	32,83	0,12	53,60	0,27	50,37	0,15	50,78	0,24	16,80	0,14
Kör kaplama		8,55	0,33	40,09	1,00	39,78	0,95	55,64	0,62	51,24	0,72	48,44	0,99	8,97	0,78

Pomza ile kaplanmış numunelerde minimum konsantrasyon değerinden (20 g/kg) maksimum konsantrasyona (80 g/kg) çıkıldığında aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

0-25 µm pomza tozu ile kaplı numunelerin T_{UV} değeri %2,04 oranında bir azalma ile %4,57'ye düşmüştür. T_V ve T_S değerleri ise sırasıyla %5,03 ve %4,35 azalma ile %30,43 ve %30,78 olarak elde edilmiştir. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %8,63, %7,30 ve %5,49 oranında azalma göstererek %46,95, %44,38 ve %45,93'e düşmüştür. A_S değeri ise %11,56 oranında artarak %24,85 olarak elde edilmiştir.

50-75 µm tanecik boyutu aralığında ise T_{UV} , T_V ve T_S değerleri sırası ile %1,65, %4,79 ve %4,30 oranında azalarak %5,54, %31,13 ve %31,21'e düşmüştür. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %5,46, %4,11 ve %2,57 oranında azalma ile %51,30, %48,58 ve %49,36'ya düşmüştür. A_S değeri ise %8,41'lik bir artışla %20,21'e yükselmiştir.

100-125 µm pomza kaplamaların T_{UV} , T_V ve T_S değerleri sırası ile %0,55, %2,83 ve %2,62 oranında azalarak %5,95, %33,21 ve %32,83'e düşmüştür. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %4,72, %4,06 ve %2,40 oranında azalarak %53,60, %50,37 ve %50,78'e yükselmiştir. A_S değeri ise %6,68 oranında artarak %16,80 olarak elde edilmiştir.

Pomza kaplı numunelerde solar absorbans değerlerinin konsantrasyona bağlı artışı perlit kaplı numunelere kıyasla daha yüksektir. Buna paralel olarak perlit kaplı numunelerde artan konsantrasyon ile artan absorbans değerlerinin yanında reflektans değerleri de artmışken pomzada reflektans değerlerinde gerileme söz konusudur. Bu durumda konsantrasyon artışı ile birlikte pomza kaplı numunelerin renklerinde görülen koyulaşmanın etkisi olabileceği düşünülmektedir. Özellikle 0-25 ve 50-75 µm pomza kaplı numunelerde 20 g/kg'da krem olan renk tonu, konsantrasyon arttıkça koyulaşmıştır. Pomza ve perlit bu kapsamda değerlendirildiğinde de perlitin tüm kombinasyonlarında pomzaya göre açık renk tonlarına sahip olduğu görülmektedir.

Konsantrasyon sabit tutulup değerlendirildiğinde, kullanılan pomzanın tanecik boyutu arttıkça reflektans değerlerinin arttığı, solar absorbansın ise azaldığı görülmüştür. Her iki

parametre açısından elde edilen sonuçlar kıyaslandığında, solar ve yakın infrared reflektans açısından, pomzanın perlitin gerisinde kaldığı ortaya çıkmıştır. Çizelge 4.28’de sunulan istatistiksel analiz sonuçlarına göre pomza kaplamalı numunelerde, konsantrasyon ve tanecik boyutunun T_{UV} , T_v , T_s , R_v , R_s , R_{NIR} ve A_s değerleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde etkisi olduğu görülmektedir. Bu durumda, Çizelge 3.11’de söz konusu değişkenler için verilen alternatif hipotezler kabul edilmektedir.

Çizelge 4.28. Pomza ile kaplanmış kumaşların solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Faktör		T_{UV}	T_v	T_s	R_v	R_s	R_{NIR}	A_s
Konsantrasyon	R	8,37 e	40,09 d	39,78 d	55,64 c	51,24 c	48,44 a	8,97 a
	20	6,77 d	35,81 c	35,37 c	56,89 d	52,93 d	52,17 c	11,74 b
	40	6,15 c	33,96 b	33,58 b	55,12 c	51,44 c	51,58 c	14,98 c
	60	5,82 b	33,34 b	33,15 b	52,71 b	49,39 b	49,89 b	17,46 d
	80	5,35 a	31,59 a	31,61 a	50,62 a	47,78 a	48,69 a	20,62 e
Tanecik boyutu	R	8,37 c	40,09 c	39,78 c	55,64 c	51,24 b	48,44 a	8,97 a
	0-25	5,51 a	33,09 a	33,05 a	51,27 a	47,96 a	48,80 a	19,02 d
	50-75	6,22 b	33,31 a	33,12 a	54,24 b	50,80 b	50,99 b	16,08 c
100-125	6,34 b	34,63 b	34,11 b	55,99 c	52,39 c	51,96 c	13,50 b	
Konsantrasyon * Tanecik boyutu	0,00*	0,01*	0,02*	0,00*	0,00*	0,01*	0,00*	

(a), (b), (c), (d) ve (e) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

4.5. Farklı Tanecik Boyutunda Selüloz Tozu ile Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar

4.5.1. Birim alan ağırlığı ölçüm sonuçları

18, 120 ve 300 µm boyutunda selüloz tozları ile 20, 40, 60 ve 80 g/kg konsantrasyon değerinde kaplanan numunelere ait birim alan ağırlığı sonuçları Çizelge 4.29'da verilmiştir. Diğer dolgu malzemelerinde olduğu gibi konsantrasyon artışına bağlı olarak birim alan ağırlığı değerlerinde artış görülmüştür. 18, 120 ve 300 µm selüloz tozu kaplamalarda konsantrasyon değeri 20 g/kg'dan 80 g/kg'a çıkarıldığında, numunelerin birim alan ağırlığı değerleri sırasıyla %11,93, %12,66 ve %10,45 oranında artmıştır. 80 g/kg konsantrasyon değerinde 18, 120 ve 300 µm için birim alan ağırlığı değerleri, kör kaplamaya kıyasla sırasıyla; %19,20, %19,49 ve %19,18 oranında artış göstermiştir. Bu sonuçlar, tanecik boyutuna göre birim alan ağırlığı değerlerinde büyük bir fark oluşmadığını ancak konsantrasyon artışına bağlı olarak, önceki bölümlerde verilen diğer dolgu maddeleri ile benzer şekilde birim alan ağırlığı değerlerinin arttığını ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.29. Selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı sonuçları

Birim alan ağırlığı sonuçları (g/m ²)									
Dolgu Maddesi	Tanecik Boyutu (µm)	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)							
		20		40		60		80	
		Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Selüloz tozu	18	277,10	1,08	285,93	0,83	300,63	2,33	310,17	2,06
	120	275,97	0,06	287,37	2,47	299,50	1,35	310,90	2,89
	300	280,77	1,40	287,63	1,84	299,17	1,27	310,10	1,06
Kör Kaplama		260,20							0,53

4.5.2. Aktarılan madde miktarı sonuçları

Üç farklı tanecik boyutunda selüloz tozu ile kaplanmış kumaşlara ait aktarılan madde miktarı sonuçları Çizelge 4.30'da verilmiştir. Minimum konsantrasyondan maksimum konsantrasyona çıkıldığında aktarılan madde miktarı değerleri 18, 120 ve 300 µm için sırası ile %30,62, %32,62 ve %26,21 oranında artmıştır. Konsantrasyon sabit tutulup

tanecik boyutu açısından kıyaslama yapıldığında aktarılan madde miktarlarında büyük farkların olmadığı, sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.30. Selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların aktarılan madde miktarı sonuçları

Aktarılan madde miktarı sonuçları (g/m ²)									
Dolgu Maddesi	Tanecik Boyutu (µm)	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)							
		20		40		60		80	
		Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Selüloz tozu	18	108,1	1,08	116,9	0,83	131,6	2,33	141,2	2,06
	120	107,0	0,06	118,4	2,47	130,5	1,35	141,9	2,89
	300	111,8	1,40	118,6	1,84	130,2	1,27	141,1	1,06
Kör Kaplama		91,2							0,53

4.5.3. Kalınlık sonuçları

Çizelge 4.31’de verilen sonuçlar incelendiğinde tanecik boyutu ve konsantrasyon arttıkça kalınlık değerlerinin arttığı görülmektedir. Minimumdan maksimum konsantrasyona çıkıldığında kalınlık değerleri; 18 µm için %7,69, 120 µm için %14,63 ve 300 µm için %11,48 oranında artmıştır. 80 g/kg sabit konsantrasyon değerinde, farklı tanecik boyutları kör kaplama (0,37 mm) ile kıyaslandığında; 18 µm %13,51, 120 µm %27,03, 300 µm ise %83,78 oranında artış göstererek 0,42, 0,47 ve 0,68 mm kalınlık sonuçları elde edilmiştir.

Önceki bölümlerde verilmiş olan diğer dolgu maddelerine ait sonuçlarla benzer şekilde, her tanecik boyutu için artan konsantrasyona bağlı olarak kalınlık değerlerinin de arttığı görülmüştür. Sabit bir konsantrasyon değeri için selüloz tozunun tanecik boyutuna bağlı değerlendirme yapıldığında; 18 ve 120 µm birbirine daha yakın olsa da 300 µm selüloz tozu kullanımında, kalınlık artışı çok daha fazladır. Üretilen numunelerde de 300 µm ile kaplanmış olanlar, 18 ve 120 µm ile kaplanmış olanlara kıyasla oldukça pürüzlü dolayısıyla daha hacimli bir yüzeye sahiptir. Nitekim, ilgili SEM görüntülerinde de (Şekil 4.17) sabit 80 g/kg değerinde, 300 µm selüloz tozunun yüzey görüntüsü ile diğerleri arasındaki belirgin fark da bunu desteklemektedir.

Çizelge 4.31. Selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların kalınlık sonuçları

Kalınlık sonuçları (mm)									
Dolgu Maddesi	Tanecik Boyutu (μm)	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)							
		20		40		60		80	
		Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Selüloz tozu	18	0,39	0,01	0,41	0,01	0,41	0,01	0,42	0,01
	120	0,41	0,01	0,43	0,01	0,45	0,01	0,47	0,01
	300	0,61	0,01	0,63	0,01	0,65	0,01	0,68	0,01
Kör Kaplama		0,37							0,01

Konsantrasyon ve tanecik boyutunun fiziksel test sonuçları üzerindeki etkisi istatistiki olarak değerlendirildiğinde (Çizelge 4.32), konsantrasyona bağlı olarak birim alan ağırlığı, add-on ve kalınlığın anlamlı seviyelerde değiştiği görülmektedir. Tanecik boyutu ise kalınlık üzerinde etki gösterirken, birim alan ağırlığı ve add-on üzerinde benzer ölçüde etkili olmamış, SNK testine göre benzer seviyede sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.32. Selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

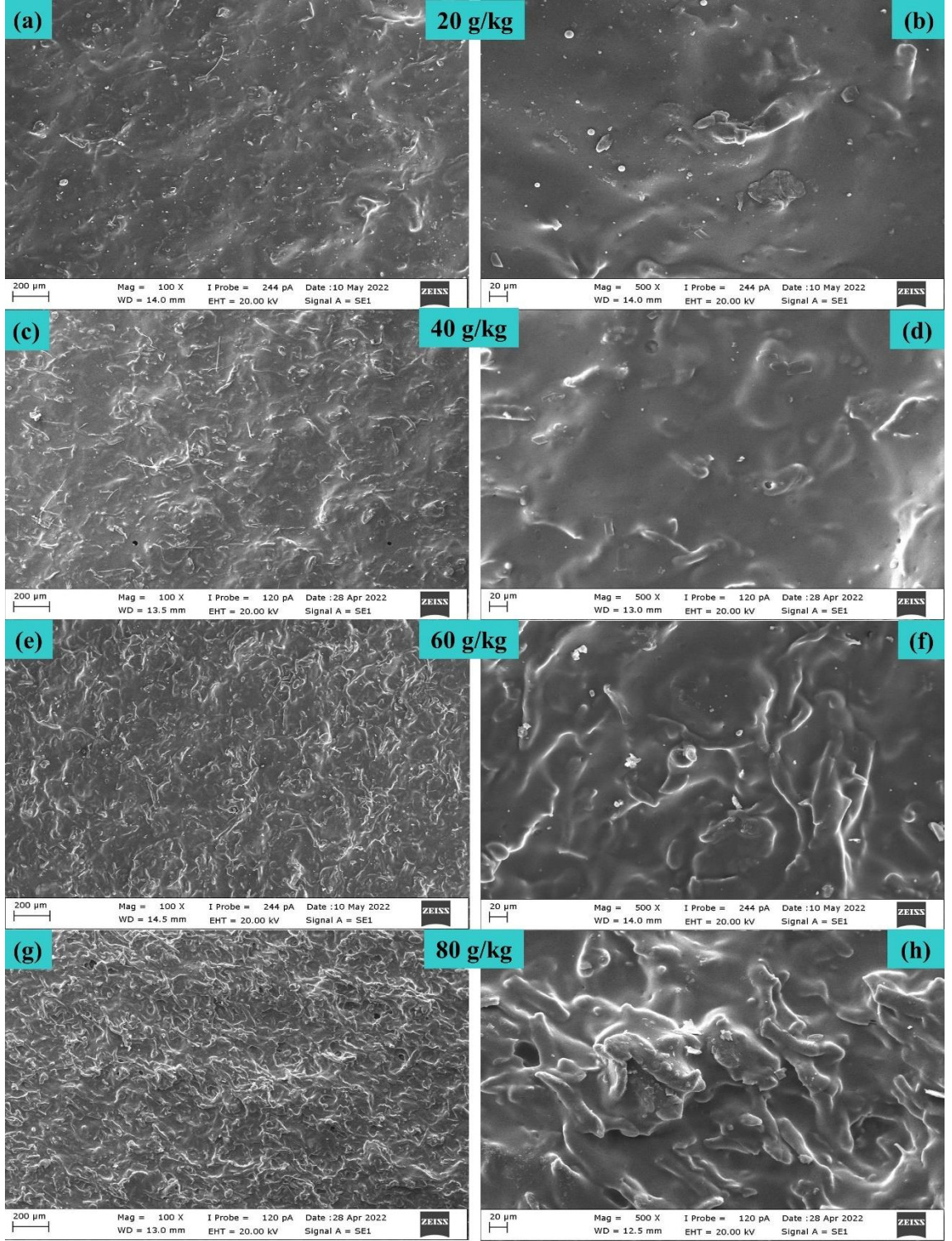
Faktör		Birim alan ağırlığı (g/m^2)		Aktarılan madde miktarı (g/m^2)		Kalınlık (mm)	
Konsantrasyon	R	0,00*	260,20 a	0,00*	91,20 a	0,00*	0,37 a
	20		277,94 b		108,94 b		0,47 b
	40		286,98 c		117,98 c		0,49 c
	60		299,77 d		130,77 d		0,50 d
	80		310,39 e		141,39 e		0,53 e
Tanecik boyutu	R	0,44*	260,20 a	0,44*	91,20 a	0,00*	0,37 a
	18		293,46 b		124,46 b		0,41 b
	120		293,43 b		124,43 b		0,44 c
	300		294,42 b		125,42 b		0,64 d
Konsantrasyon * Tanecik boyutu		0,22*		0,22*		0,00*	

(a), (b), (c), (d) ve (e) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

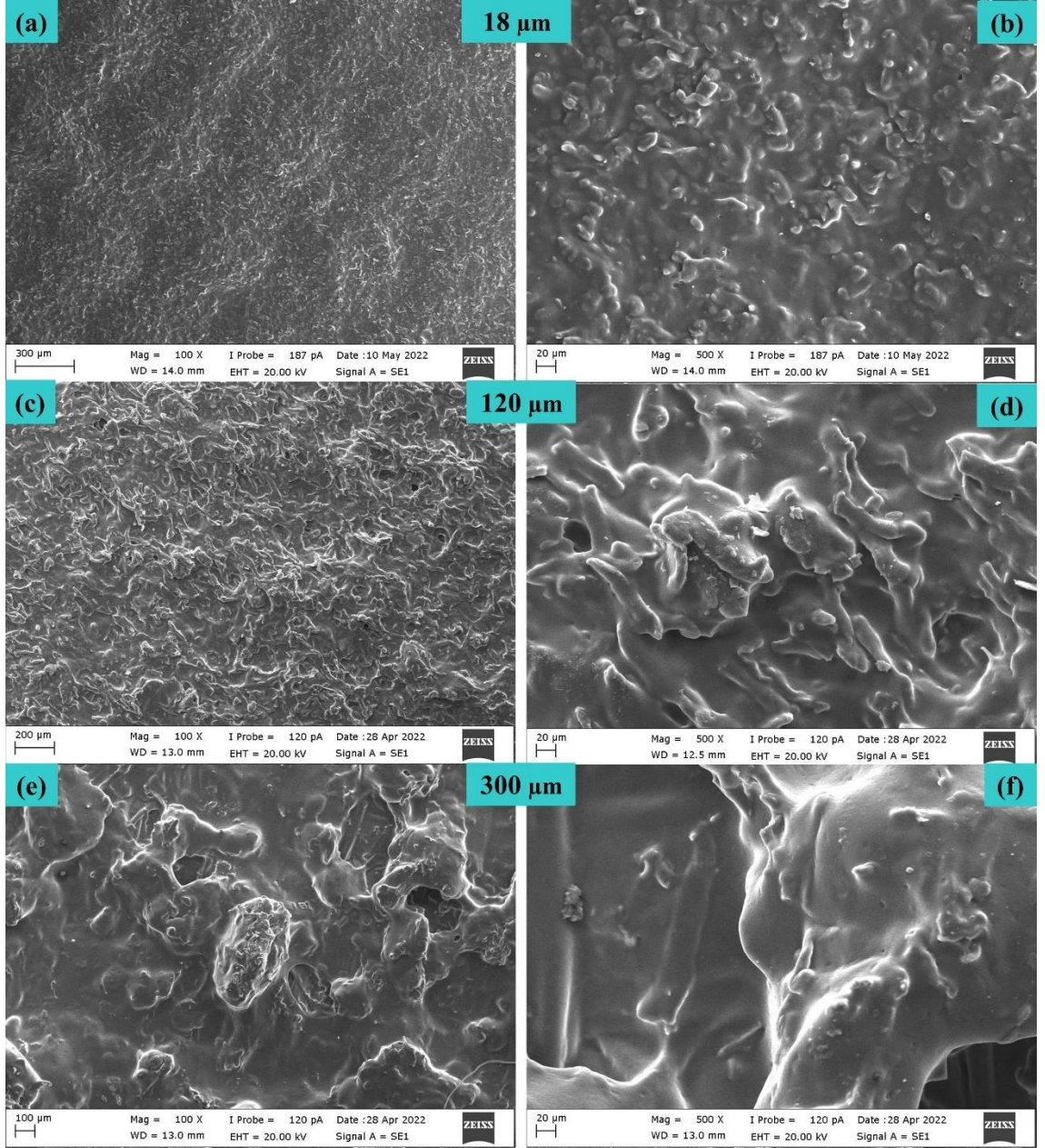
* %5 anlamlılık seviyesi

4.5.4. SEM analiz sonuçları

120 µm selüloz tozu ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış numuneler ve 80 g/kg oranında 18, 120 ve 300 µm selüloz tozu ile kaplanmış numunelerin 100x ve 500x büyütme oranında SEM görüntüleri sırasıyla Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de sunulmuştur. Genel olarak homojen kaplamalar elde edilmiş olmakla birlikte özellikle 300 µm’da belli bölgelerde aglomerasyon oluşumu görülmüş ve bu durum yüksek pürüzlü yüzey yapılarına neden olmuştur.



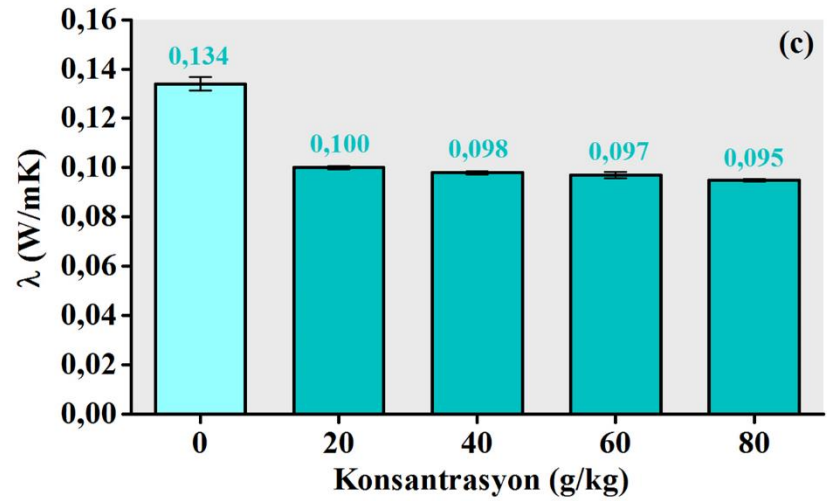
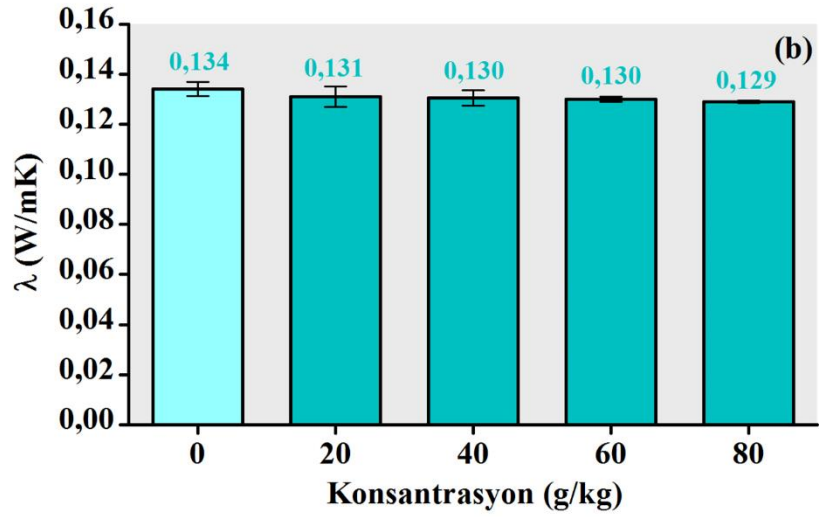
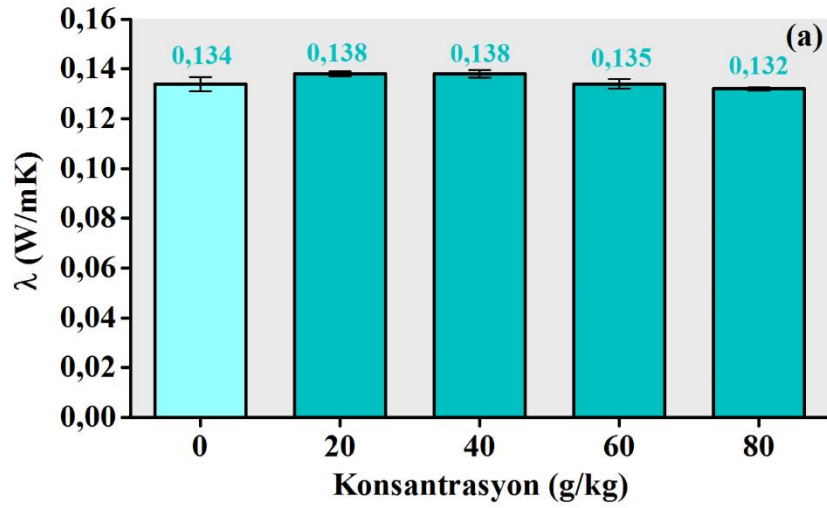
Şekil 4.16. 120 μ m selüloz tozu ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşların 100x (a, c, e, g) ve 500x (b, d, f, h) büyütme oranında SEM görüntüleri.



Şekil 4.17. 80 g/kg konsantrasyonda farklı tanecik boyutlarına sahip selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların 100x (a, c, e, g) ve 500x (b, d, f, h) büyütme oranında SEM görüntüleri.

4.5.5. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları

18, 120 ve 300 µm olmak üzere üç farklı tanecik boyutunda selüloz tozu ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşlara ait termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları (Şekil 4.18) incelendiğinde; özellikle 18 mikronda termal yalıtım üzerine belirgin bir katkı görülememiştir.



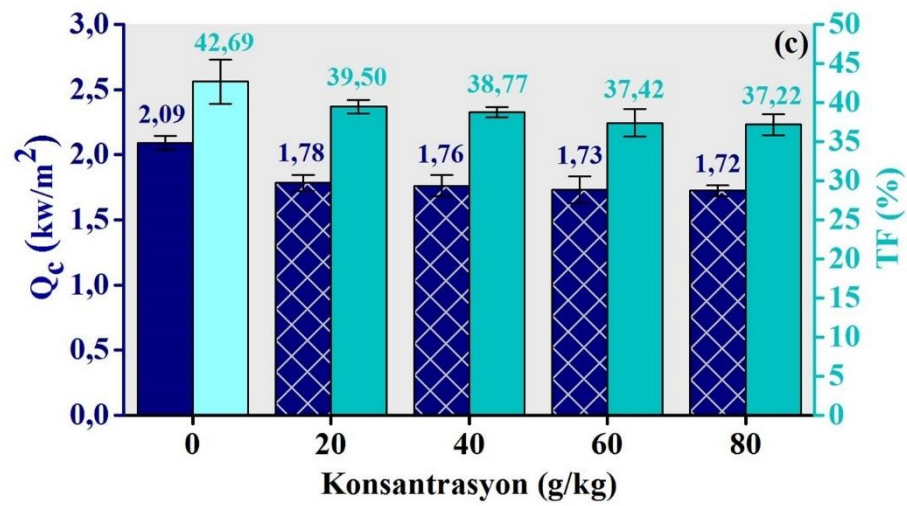
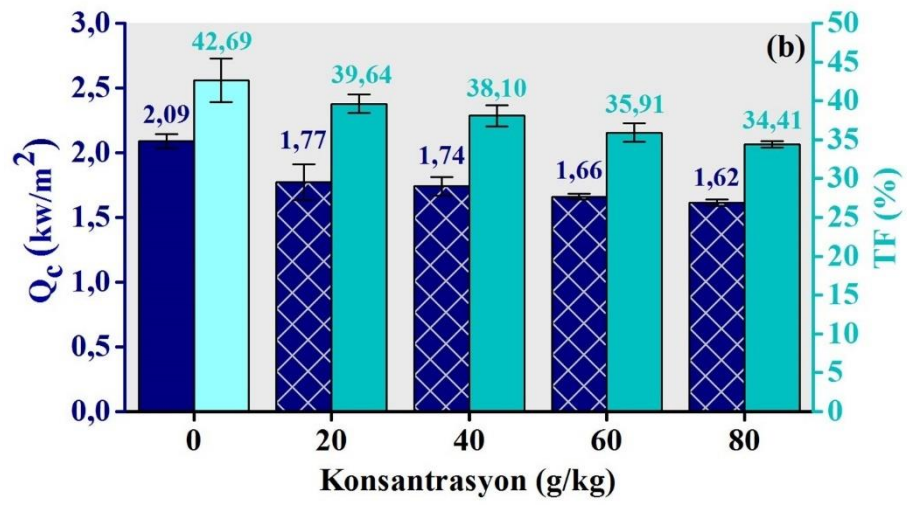
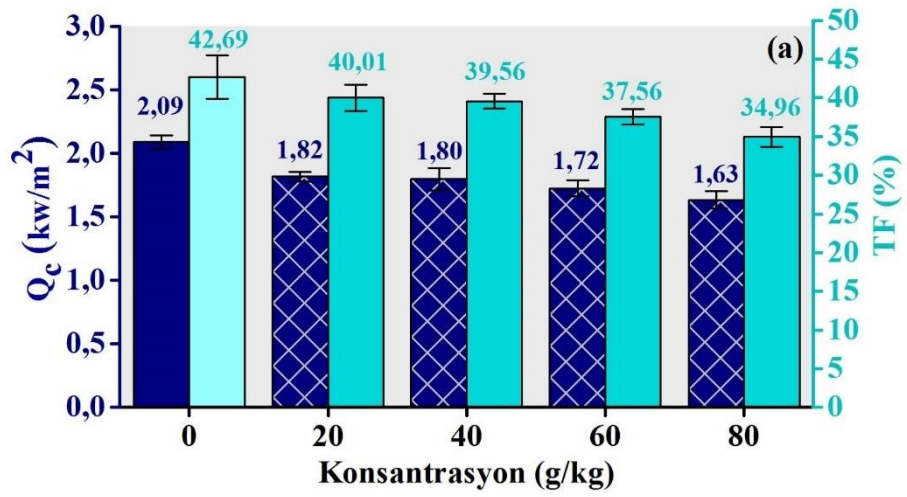
Şekil 4.18. 18 (a), 120 (b) ve 300 μm (c) selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların termal iletkenlik katsayısı sonuçları.

120 ve 300 mikron tanecik boyutuna çıkıldığında ise kör kaplamaya kıyasla ısı iletim katsayısında bir miktar azalma olduğu ve bu azalmanın artan konsantrasyona bağlı olarak arttığı görülmüştür. Sonuçlar 80 g/kg için incelendiğinde, selüloz kaplı numunelerin ısı iletim katsayısı değerleri kör kaplamaya kıyasla; 18 µm için %1,49, 120 µm için %3,73, 300 µm numunesinde ise %29,10 oranında azalmıştır Tüm tanecik boyutlarında konsantrasyona bağlı farklar yüksek olmamakla birlikte, minimum konsantrasyondan maksimuma doğru 18 µm selüloz tozunda %4,35, 120 µm'da sadece %0,1 ve 300 µm'da %5 oranında azalma söz konusudur.

4.5.6. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları

Farklı konsantrasyonlarda farklı tanecik boyutuna sahip selüloz tozu ile kaplanmış kumaşlara ait radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları Şekil 4.19' da verilmiştir. Perlit ve pomza kaplamalar ile benzer şekilde, üç farklı tanecik boyutu için de selüloz tozu konsantrasyonundaki artış ile Q_C ve TF değerleri azalmıştır. Minimum (20 g/kg) ve maksimum (80 g/kg) konsantrasyonlar için Q_C değerleri arasındaki farklar incelendiğinde; 18 µm için minimum konsantrasyonda 1,82 kW/m² olan Q_C değeri, maksimum konsantrasyonda 1,63 kW/m²'ye düşmüştür. 120 µm tanecik boyutunda, minimum ve maksimum konsantrasyonlar için Q_C değerleri, sırası ile 1,77 ve 1,62 kW/m² olarak elde edilmiştir. En büyük tanecik boyutu olan 300 µm'da ise minimum ve maksimum konsantrasyonlar için Q_C değerleri, sırası ile 1,78 ve 1,72 kW/m² olarak elde edilmiştir.

Bu sonuçlara göre selüloz tozunda tanecik boyutu arttıkça, geçirilen ısı akısı yoğunluğunda (Q_C) konsantrasyona bağlı farkların azaldığı söylenebilmektedir. Buna paralel olarak TF sonuçlarında da durum benzerdir. TF değerleri, dolgu maddesi konsantrasyonu 20'den 80 g/kg değerine çıktığında; en küçük tanecik boyutunda %12,62, orta boyutta %13,19 ve en büyük tanecik boyutunda %5,78 oranında azalmıştır. Perlit ve pomza ile benzer şekilde en yüksek konsantrasyonda (80 g/kg) en iyi radyan ısı yalıtımı sağlanmıştır. Bu oranda tanecik boyutları kör kaplamaya göre kıyaslandığında, 18 µm selüloz kaplı numunelerin ısı geçiş faktörü (TF) %18,11, 120 µm kaplamaların %19,40, 300 µm kaplamaların ise %12,81 oranında azalma göstermiştir.



Şekil 4.19. 18 (a), 120 (b) ve 300 µm (c) selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi sonuçları.

Çizelge 4.33'te sunulan istatistiksel verilere göre, konsantrasyon ve tanecik boyutu termal iletkenlik katsayısı üzerinde ısı geçiş faktörü ve geçirilen ısı akısı yoğunluğuna kıyasla daha fazla etkilidir. Kör kaplamaya göre sonuçlar tüm parametreler için farklı olsa da özellikle tanecik boyutu bazında kendi içinde kıyaslandığında SNK testine göre aynı harflerle ifade edilmektedir. Sonuçlar üzerine konsantrasyon ve tanecik boyutunun birlikte etkisi TF ve λ değerleri için daha fazladır.

Çizelge 4.33. Selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların termal ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Faktör		Qc (kW/m ²)		TF (%)		λ (W/mK)	
Konsantrasyon	R	0,00*	2,09 c	0,00*	42,69 c	0,00*	0,13 c
	20		1,79 b		39,72 b		0,12 b
	40		1,77 b		38,81 b		0,12 b
	60		1,71 a, b		36,96 a		0,12 a, b
	80		1,66 a		35,53 a		0,11 a
Tanecik boyutu	R	0,18*	2,09 b	0,10*	42,69 b	0,00*	0,13 d
	18		1,74 a		38,03 a		0,13 c
	120		1,70 a		37,02 a		0,11 b
	300		1,75 a		38,23 a		0,09 a
Konsantrasyon * Tanecik boyutu		0,76*		0,45*		0,18*	

(a), (b), (c), (d) ve (e) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

Tez çalışması kapsamında düşük ısı iletim katsayısı değerinden yola çıkılarak, yalıtıma etkisi araştırılan grubun son malzemesi olan selüloz tozu, aynı gruptaki perlit ve pomza ile karşılaştırıldığında radyan test sonuçları açısından arada yer aldığı söylenebilir. Elde edilebilen en düşük TF değeri %34,41 ile pomzaya (%36,94) kıyasla yalıtım açısından daha avantajlı olsa da perlitin (%27,88) gerisinde kalmıştır.

Termal iletkenlik katsayısı sonuçları açısından değerlendirildiğinde de söz konusu üç malzeme arasında en iyi performansı perlitin gösterdiği söylenebilir. 300 μ m selüloz tozu

ile 0,095 W/mK değerine düşülmüş olsa da yakın tanecik boyutları için pomza (100-125 μm) ve selüloz tozu (120 μm) kıyaslandığında pomzanın az da olsa daha düşük ısı iletim katsayısı ile yalıtıma etkisinin daha yüksek olduğu söylenebilir. Kıyaslanan tanecik boyutuna en yakın perlit ise (100-150 μm) 0,088 W/mK ile elde edilen en düşük termal iletkenlik katsayısı sonucunu vermiştir.

4.5.7. Solar ölçüm sonuçları

20, 40, 60 ve 80 g/kg oranlarında 18, 120 ve 300 μm selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların transmitans, reflektans ve absorbans değerleri Çizelge 4.34'te verilmiştir. Kalsit, titanyum dioksit ve perlit kaplı numunelere benzer şekilde artan konsantrasyon ile doğru orantılı olarak geçirgenlik değerleri (T_{UV} , T_V , T_S) azalırken, reflektans değerleri (R_V , R_S , R_{NIR}) artmıştır. Selüloz tozu kaplı numunelerde minimum konsantrasyon değerinden (20 g/kg) maksimum konsantrasyona (80 g/kg) doğru gidildikçe şu sonuçlar ortaya çıkmıştır:

18 μm selüloz tozu ile kaplı numunelerin T_{UV} değeri %1,85 oranında bir azalma ile %5,12'ye düşmüştür. T_V ve T_S değerleri ise sırasıyla %3,90 ve %4,04 azalma ile %32,51 ve %31,76 olarak elde edilmiştir. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %2,1, %1,59 ve %2,67 oranında artış göstererek %62,03, %57,1 ve %56,78'e yükselmiştir. A_S değeri ise %2,45 oranında artarak %11,15 olarak elde edilmiştir.

120 μm tanecik boyutu için T_{UV} , T_V ve T_S değerleri sırası ile %2,11, %4,22 ve %4,48 oranında azalarak %5,33, %32,51 ve %31,69'a düşmüştür. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %2,92, %2,4 ve %3,37 oranında artış göstererek %62,34, %57,62 ve %57,05'e yükselmiştir. A_S değeri ise %2,08'lik bir artışla %10,69'a yükselmiştir.

300 μm selüloz tozu ile kaplı numunelerin T_{UV} , T_V ve T_S değerleri sırası ile %1,09, %1,81 ve %2,04 oranında azalarak %6,69, %35,32 ve %34,47'ye düşmüştür. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %1, %0,5 ve %1,04 oranında oldukça düşük artışlarla %60,02, %55,35 ve %54,05'e yükselmiştir. A_S değeri ise %1,53 oranında artarak %10,18 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.34. Selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların solar ölçüm sonuçları

Konsantrasyon (g/kg)	Tanecek boyutu (µm)	T _{UV}		T _v		T _s		R _v		R _s		R _{NIR}		A _s	
		Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS
20	18	6,97	0,12	36,41	0,10	35,79	0,12	59,93	0,36	55,50	0,35	54,10	0,40	8,71	0,24
	120	7,44	0,15	36,73	0,11	36,17	0,09	59,42	0,04	55,22	0,10	53,68	0,01	8,61	0,16
	300	7,78	0,08	37,13	0,06	36,52	0,03	59,02	0,25	54,83	0,26	53,01	0,26	8,65	0,24
40	18	6,16	0,12	34,91	0,02	34,27	0,04	60,65	0,13	56,06	0,14	55,33	0,23	9,67	0,10
	120	6,58	0,13	35,55	0,31	34,88	0,32	60,43	0,41	55,81	0,39	54,69	0,31	9,31	0,28
	300	7,50	0,05	36,76	0,06	36,07	0,04	59,16	0,28	54,70	0,27	53,06	0,32	9,23	0,31
60	18	5,72	0,14	33,62	0,12	33,02	0,15	61,12	0,03	56,48	0,06	55,91	0,07	10,50	0,18
	120	5,95	0,06	34,31	0,11	33,60	0,09	60,77	0,03	56,02	0,05	55,24	0,01	10,38	0,07
	300	7,11	0,16	36,11	0,07	35,44	0,10	59,64	0,23	55,17	0,25	53,72	0,05	9,39	0,17
80	18	5,12	0,08	32,51	0,15	31,76	0,18	62,03	0,06	57,10	0,06	56,78	0,07	11,15	0,24
	120	5,33	0,16	32,51	0,15	31,69	0,18	62,34	0,09	57,62	0,07	57,05	0,06	10,69	0,21
	300	6,69	0,03	35,32	0,08	34,47	0,09	60,02	0,13	55,35	0,07	54,05	0,04	10,18	0,14
Kör kaplama		8,55	0,33	40,09	1,00	39,78	0,95	55,64	0,62	51,24	0,72	48,44	0,99	8,97	0,78

Maksimum dolgu konsantrasyonunda numuneler kör kaplama ile kıyaslandığında, 18, 120 ve 300 µm selüloz tozu için T_{UV} değeri; sırasıyla %3,25, %3,04 ve %1,68 oranında, T_V değeri; %7,58, %7,58 ve %4,77 oranında ve T_S değeri %8,03, %8,09 ve %5,31 oranında azalmıştır. R_V değeri; %6,39, %6,7 ve %4,38 oranında, R_S değeri; %5,85, %6,38 ve %4,11 oranında, R_{NIR} değeri; %8,34, %8,61 ve %5,61 oranında ve A_S değeri ise %2,18, %1,72 ve %1,21 oranında artış göstermiştir.

80 g/kg selüloz tozu konsantrasyonu için; 18 µm'dan 120 µm'a geçildiğinde transmittans değerleri çok az bir düşüş (R_S : %31,8-31,7), reflektans değerleri (R_S : %57,1-57,6), ise az bir artış gösterse de neredeyse aynı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak 300 µm selüloz tozu, %55,35 ile en düşük R_S değerini, %34,47 ile en yüksek T_S değerini vermiştir. 18 ve 120 µm için sonuçlar çok farklı olmadığından genel anlamda, artan tanecik boyutu etkisi ile reflektans değerlerinin azalması durumu literatürdeki bazı sonuçlar ile uyumludur.

Çizelge 4.35'te sunulan istatistiksel analiz sonuçlarına göre selüloz tozu kaplı numunelerde, konsantrasyon ve tanecik boyutunun T_{UV} , T_V , T_S , R_V , R_S , R_{NIR} ve A_S değerleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde hem ayrı ayrı hem de birlikte etkisi olduğu görülmektedir. Bu durumda, Çizelge 3.11'de söz konusu değişkenler için verilen alternatif hipotezler kabul edilmektedir.

Çizelge 4.35. Selüloz tozu ile kaplanmış kumaşların solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Faktör		T _{UV}	T _V	T _S	R _V	R _S	R _{NIR}	A _S
Konsantrasyon	R	8,37 e	40,09 e	39,78 e	55,64 a	51,24 a	48,44 a	8,97 a
	20	7,40 d	36,75 d	36,16 d	59,46 b	55,19 b	53,60 b	8,66 a
	40	6,75 c	35,74 c	35,07 c	60,08 c	55,52 c	54,36 c	9,40 b
	60	6,26 b	34,68 b	34,02 b	60,51 d	55,89 d	54,96 d	10,09 c
	80	5,717 a	33,45 a	32,64 a	61,46 e	56,69 e	55,96 e	10,67 d
Tanecik boyutu	R	8,37 d	40,09 d	39,78 d	55,64 a	51,24 a	48,44 a	8,97 a
	18	5,99 a	34,36 a	33,71 a	60,93 c	56,29 c	55,53 c	10,01 c
	120	6,32 b	34,77 b	34,09 b	60,74 c	56,17 c	55,16 c	9,75 c
	300	7,27 c	36,33 c	35,62 c	59,46 b	55,01 b	53,46 b	9,36 b
Konsantrasyon * Tanecik boyutu	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,03*	

(a), (b), (c), (d) ve (e) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

Selüloz tozu, pomza ve perlit kaplı numuneler solar sonuçlar kapsamında kıyaslandığında, reflektans özelliği açısından selüloz tozunun perlit ve pomzanın arasında yer aldığı görülmektedir. Hem perlit hem de selüloz tozunda maksimum konsantrasyon için en yüksek yansıtma değerlerini orta tanecik boyutu vermiştir. Pomzada en yüksek yansıtma en büyük tanecik ile sağlanmış olsa da pomza kaplı numunelere ait reflektans değerleri genel olarak, perlit ve selüloz tozu kaplamalardan düşüktür. Aynı gruba ait bu üç malzeme içinden en yüksek görünür, yakın- kızılötesi ve solar reflektans değerlerine - radyan ısı geçişi test sonuçlarında da olduğu gibi- perlit kaplama ile ulaşılmıştır.

4.6. Farklı Tanecik Boyutunda Alüminyum Tozu ile Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar

4.6.1. Birim alan ağırlığı ölçüm sonuçları

Çalışılan metalik pigmentlerden ilki olan alüminyum ile üç farklı tanecik boyutunda ve farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşlara ait birim alan ağırlığı sonuçları Çizelge 4.36'da sunulmuştur. 14, 20 ve 40 µm alüminyum kaplamalarda minimum konsantrasyon değerinden (10 g/kg) maksimum konsantrasyona (40 g/kg) geçişte, numunelerin birim alan ağırlığı değerleri sırasıyla %7,14, %6,90 ve %9,43 oranında artmıştır. Maksimum konsantrasyonda 14, 20 ve 40 µm için birim alan ağırlığı değerleri, kör kaplamaya kıyasla sırasıyla; %19, %19,20 ve %18,67 oranında artış göstermiştir.

Çizelge 4.36. Alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı sonuçları

Birim alan ağırlığı (g/m ²)									
Dolgu Maddesi	Tanecik Boyutu (µm)	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)							
		10		20		30		40	
		Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Alüminyum	14	289,00	0,93	293,63	0,92	300,40	0,54	309,64	0,53
	20	289,94	0,93	293,94	1,41	301,94	0,92	309,94	1,92
	40	282,19	1,42	289,25	2,15	300,89	0,30	308,79	1,09
Kör Kaplama		260,2							0,53

4.6.2. Aktarılan madde miktarı sonuçları

Üç farklı tanecik boyutunda alüminyum toz ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşlara ait aktarılan madde miktarı sonuçları Çizelge 4.37'de verilmiştir. 14, 20 ve 40 µm metal pigment için 10 g/kg'dan 40 g/kg'a geçişte, aktarılan madde miktarları sırasıyla; %17,2, %16,54 ve %23,50 oranında artmıştır.

Çizelge 4.37. Alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların aktarılan madde miktarı sonuçları

Aktarılan madde miktarı (g/m ²)									
Dolgu Maddesi	Tanecik Boyutu (µm)	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)							
		10		20		30		40	
		Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Alüminyum	14	120,00	0,93	124,63	0,92	131,40	0,54	140,64	0,53
	20	120,94	0,93	124,94	1,41	132,94	0,92	140,94	1,92
	40	113,19	1,42	120,25	2,15	131,89	0,30	139,79	1,09
Kör Kaplama		91,2							0,53

4.6.3. Kalınlık sonuçları

Alüminyum ile kaplanmış kumaşlara ait kalınlık sonuçları Çizelge 4.38’de sunulmuştur. Tüm tanecik boyutlarında, konsantrasyon artışı ile birlikte kumaş kalınlığı değerleri büyük farklarla olmasa da artmıştır. Minimumdan maksimum konsantrasyona çıktığında kalınlık değerleri; 14 µm için %13,16, 20 µm için %7,5 ve 40 µm için %12,5 oranında artmıştır. 40 g/kg konsantrasyon sabit tutulup tanecik boyutuna bağlı olarak değerlendirildiğinde, 0,37 mm kalınlığındaki kör kaplamaya kıyasla, 14 µm %16,22, 20 µm %16,22, 40 µm ise %21,62 oranında artış göstererek 0,43, 0,43 ve 0,45 mm kalınlık sonuçları vermiştir.

Çizelge 4.38. Alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların kalınlık sonuçları

Kumaş kalınlığı (mm)									
Dolgu Maddesi	Tanecik Boyutu (µm)	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)							
		10		20		30		40	
		Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Alüminyum	14	0,38	0,01	0,40	0,01	0,41	0,01	0,43	0,01
	20	0,40	0,01	0,40	0,01	0,41	0,01	0,43	0,01
	40	0,40	0,01	0,41	0,01	0,43	0,01	0,45	0,02
Kör Kaplama		0,37							0,01

Çizelge 4.39’da tanecik boyutu ve dolgu konsantrasyonunun alüminyum kaplı kumaşların birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık sonuçları üzerinde ayrı ayrı ve birlikte etkisi olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.39. Alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

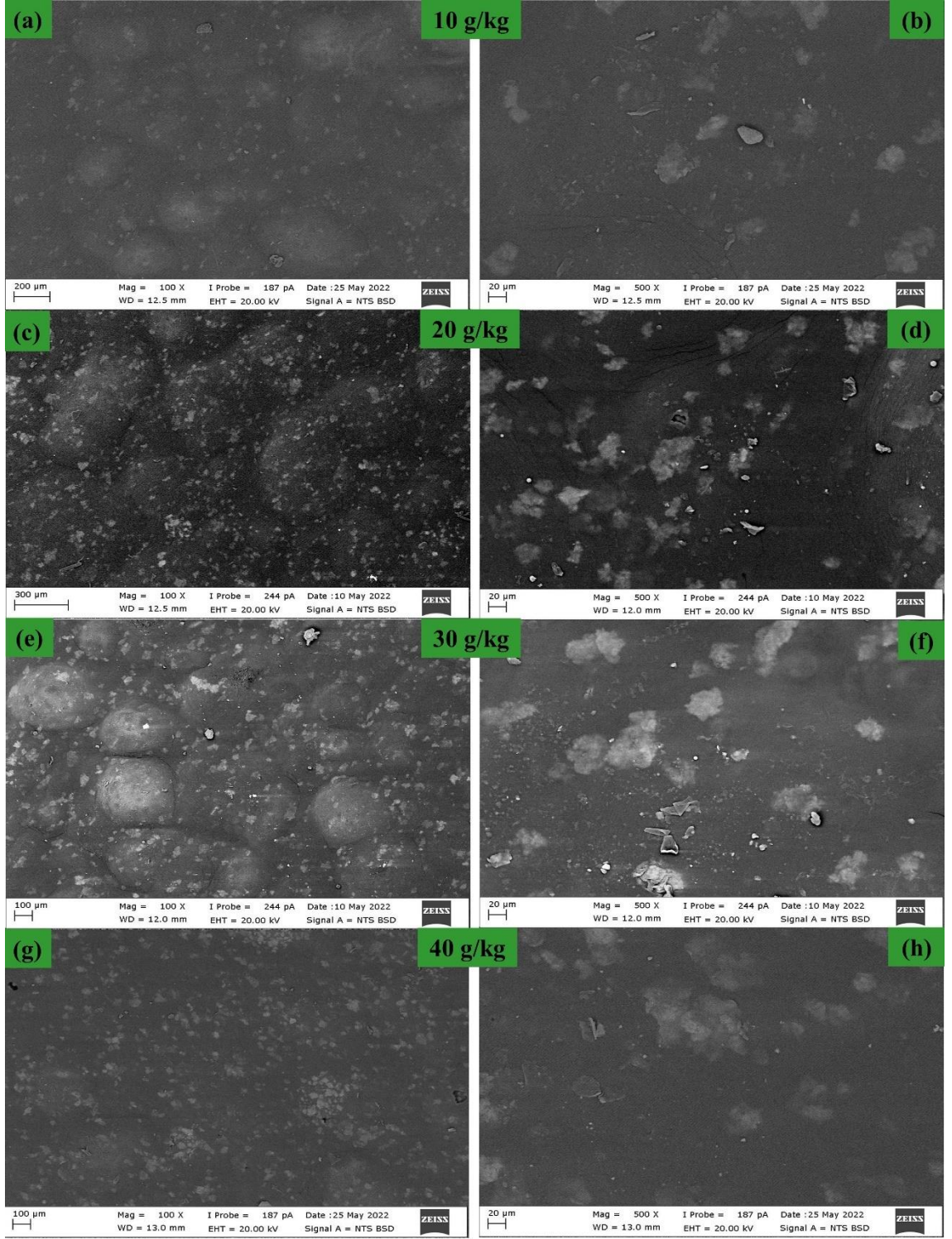
Faktör		Birim alan ağırlığı (g/m ²)		Aktarılan madde miktarı (g/m ²)		Kalınlık (mm)	
Konsantrasyon	R	0,00*	260,20 a	0,00*	91,20 a	0,00*	0,37 a
	10		287,35 b		118,35 b		0,39 b
	20		292,27 c		123,27 c		0,40 b
	30		301,08 d		132,08 d		0,42 c
	40		309,46 e		140,46 e		0,44 d
Tanecik boyutu	R	0,00*	260,20 a	0,00*	91,20 a	0,00*	0,37 a
	14		298,40 c		129,40 c		0,40 b
	20		298,94 c		129,94 c		0,41 b
	40		295,28 b		126,28 b		0,42 c
Konsantrasyon *		0,01*		0,01*		0,07*	
Tanecik boyutu							

(a), (b), (c), (d) ve (e) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

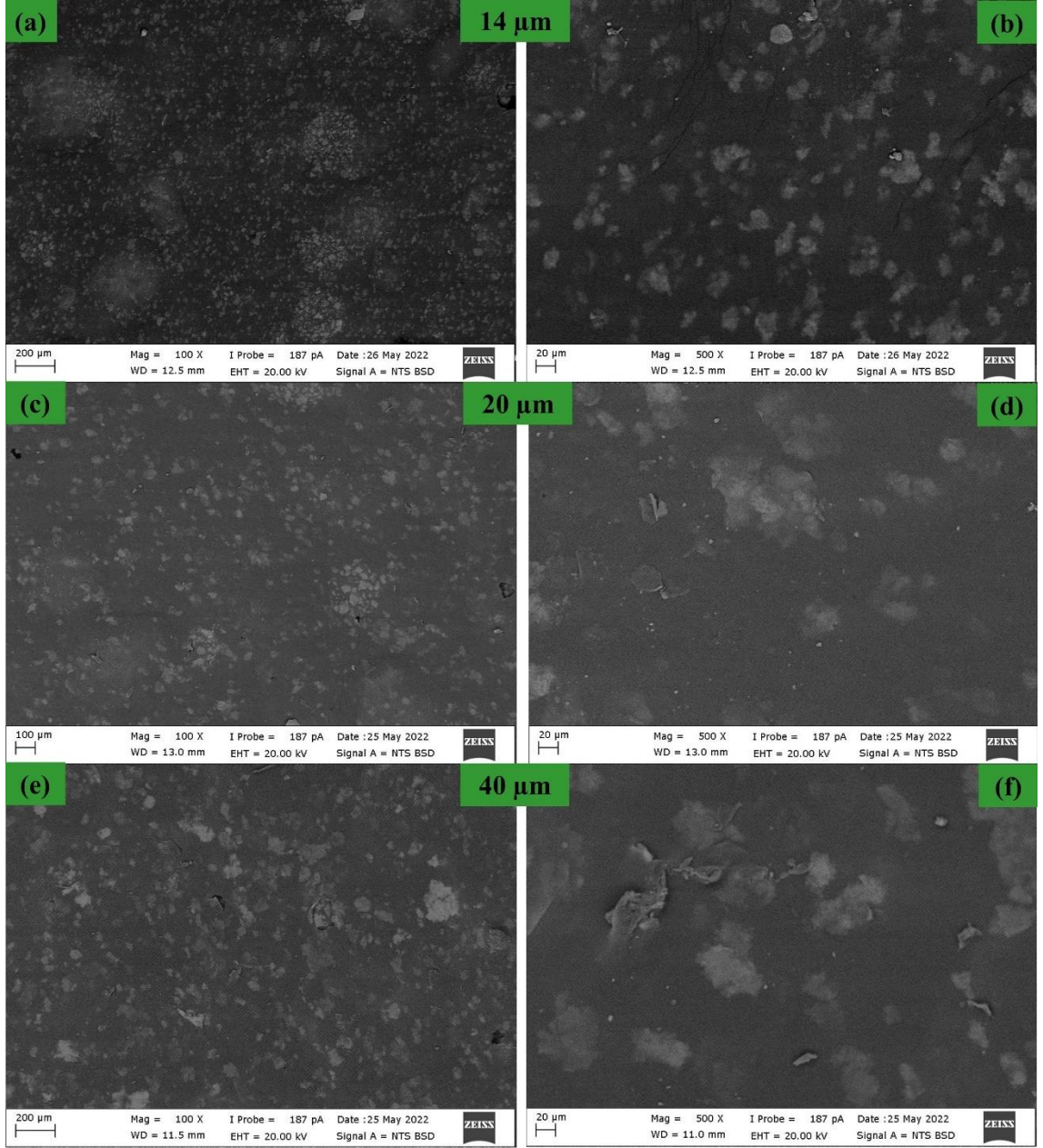
*%5 anlamlılık seviyesi

4.6.4. SEM analizi sonuçları

Şekil 4.20’de orta tanecik boyutuna sahip 20 µm alüminyum tozu ile 10, 20, 30 ve 40 g/kg konsantrasyonda kaplanmış kumaşların, Şekil 4.21’de ise 14, 20 ve 40 µm alüminyum ile 40 g/kg konsantrasyonda kaplanmış kumaşların 100x ve 500x büyütme oranlarında, geri saçılmış elektronlarla alınmış SEM görüntüleri verilmektedir. Kaplamalarda homojen yüzey elde edilebilmiş olup, sabit tanecik boyutunda konsantrasyon artışı ile daha fazla miktarda dolgu maddesi aktarıldığı ve sabit konsantrasyon için alüminyum pigmentler arasındaki boyut farkı net bir şekilde görülmektedir.



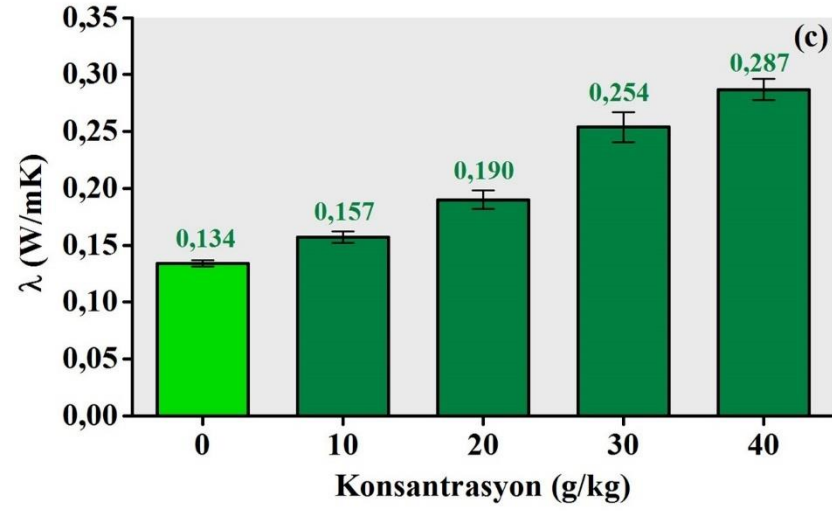
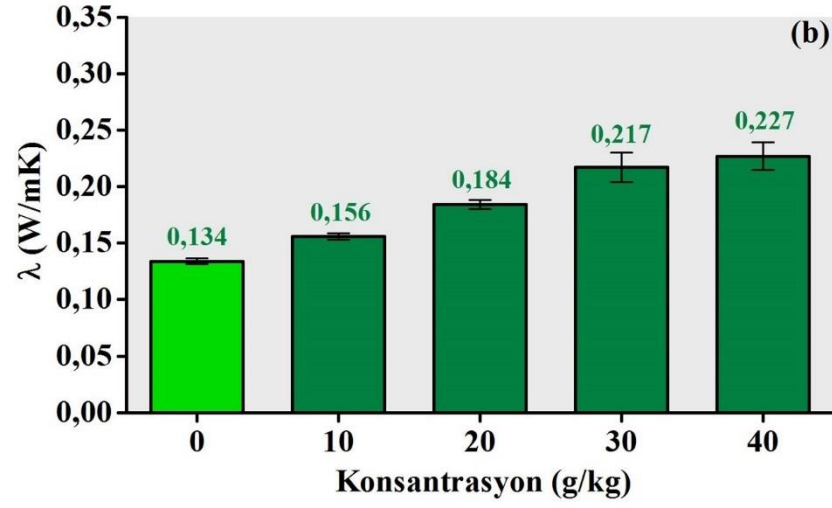
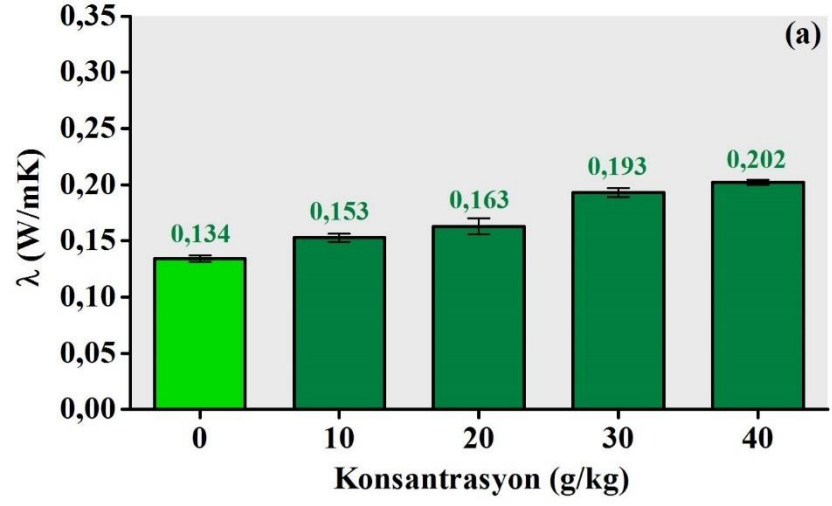
Şekil 4.20. 20 µm alüminyum tozu ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşların 100x (a, c, e, g) ve 500x (b, d, f, h) büyütme oranında SEM görüntüleri.



Şekil 4.21. 40 g/kg konsantrasyonda farklı tanecik boyutlarına sahip alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların 100x (a, c, e) ve 500x (b, d, f) büyütme oranında SEM görüntüleri.

4.6.5. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları

14, 20 ve 40 μm alüminyum ile kaplanmış numunelere ait termal iletkenlik katsayısı sonuçları kör kaplama ile kıyaslamalı olarak Şekil 4.22'de verilmiştir. Metal tozu ile kaplanmış tüm numunelerin termal iletkenlik katsayısı artmış ve bu artış konsantrasyon ve tanecik boyutu artışı ile doğru orantılı olarak seyretmiştir.



Şekil 4.22. 14 (a), 20 (b) ve 40 μ m (c) alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların termal iletkenlik katsayısı sonuçları.

14, 20 ve 40 µm kaplamada minimum konsantrasyon değerinden (10 g/kg) maksimum konsantrasyona (40 g/kg) geçildiğinde, numunelerin termal iletkenlik katsayıları sırası ile %32,03, %45,51 ve %82,80 oranında artmıştır. Maksimum çalışma konsantrasyonu olan 40 g/kg'da kör kaplamaya kıyasla; 14 µm ile %50,75, 20 µm ile %69,4 ve 40 µm ile %114,18 oranında artış gerçekleşmiştir. 40 µm alüminyum ile 40 g/kg oranında yapılan kaplamalar 0,287 W/mK ile en yüksek termal iletkenlik katsayısını vermiştir. Beklenildiği üzere, elde edilen sonuçlar iletimle ısı transferine dayalı bir sistemde termal yalıtım için metal tozlarının dezavantajlı olduğunu ortaya koymaktadır.

Dolgu maddelerinin termal iletkenliği büyük ölçüde, dolgu partiküllerinde ısı transferinin yolu ile belirlenmektedir. Genel olarak, saf fonon ısı transfer mekanizmasına sahip dolgu maddelerinin termal iletkenlikleri hem fonon hem de elektron ısı transfer mekanizmasına sahip olanlara kıyasla daha düşüktür. Elektronlar saçılmaya karşı daha dirençli olduğundan ve daha yüksek hızlarda hareket ettiğinden, serbest elektronlar fononlara kıyasla ısıyı taşımada çok daha verimlidir. Bu nedenle, metalik ve karbon bazlı dolgu maddeleri, esas olarak serbest elektronlardan dolayı oldukça yüksek termal iletkenlik gösterir (Chen ve diğerleri, 2016).

Alüminyum, mükemmel termal iletkenlik ve nispeten düşük yoğunluk özelliklerinin birleşimi nedeniyle elektronik ambalaj ve termal yönetim uygulamaları için özel avantajlara sahip bir malzemedir (Donaldson, 2014). Polimerlerde metalik dolgu maddesi olarak kullanım alanı bulan alüminyum tozlar daha ziyade elektrik iletkenliği, manyetik geçirgenlik, ses emilimi ve gelişmiş termal iletkenlik gerektiren uygulamalar için tercih sebebi olmaktadır (Tavman, 1996).

Dolgu maddesinin boyutu da bir kompozitin termal iletkenliği için önemlidir. Küçük dolgu parçacıklarına sahip kompozitler, fonon saçılmasına neden olan ve taşınımını engelleyen geniş arayüzey alanına ve genellikle daha düşük bir termal iletkenliğe sahiptir. Büyük dolgulu kompozitlerin ise daha az dolgu/polimer ara yüzüne ve bu nedenle daha düşük termal ara yüz direncine sahip olduğu, bunun da ısı iletimini iyileştirdiği ifade edilmiştir (Tsutsumi, Takeuchi ve Kiyotsukuri, 1991).

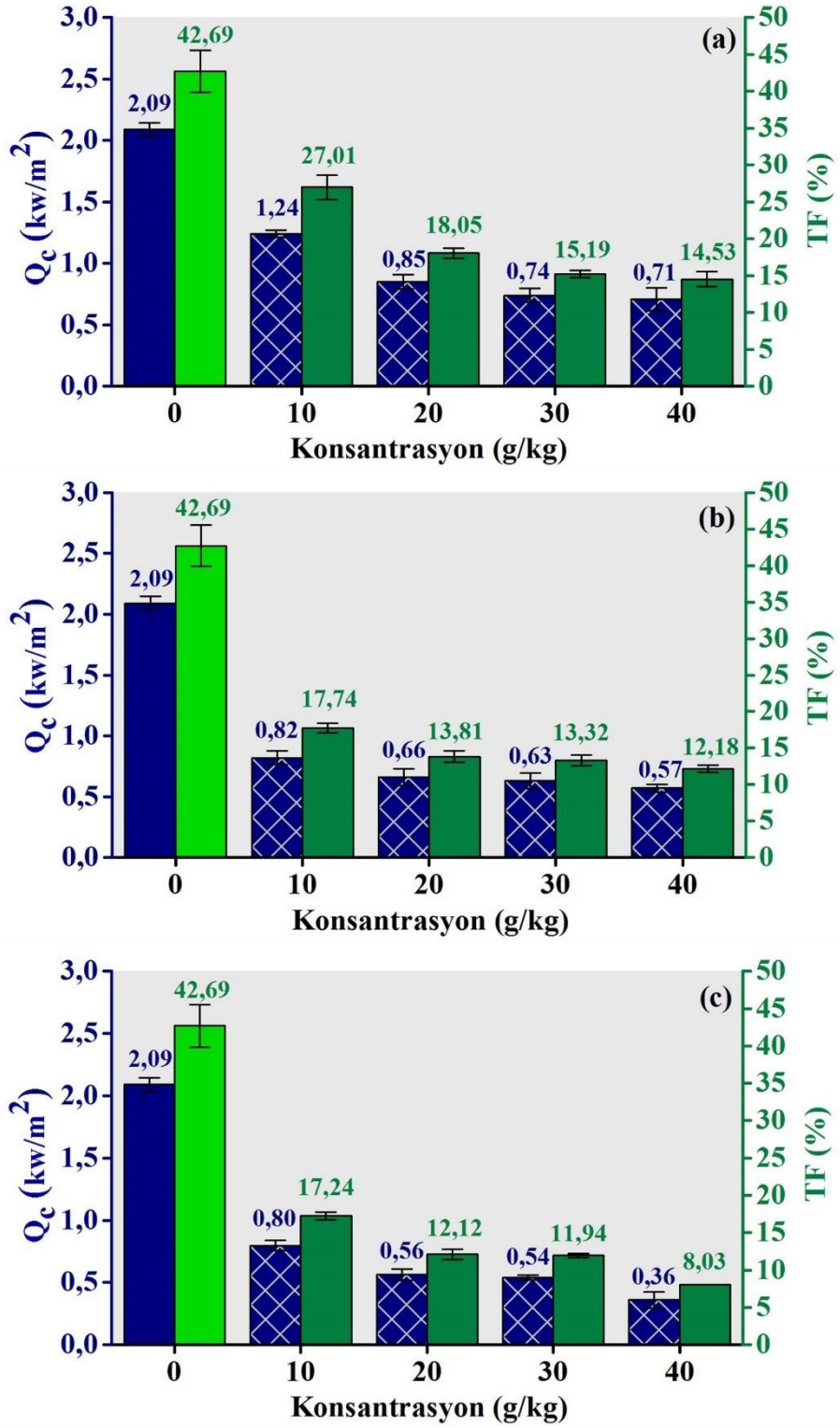
Tez çalışmasında alüminyum kaplı numunelerin termal iletkenlik katsayısı değerleri tanecik boyutu artışına paralel olarak artmıştır. 40 g/kg dolgu konsantrasyonu değerinde termal iletkenlik katsayısı değerleri 14 μm 'dan 20 μm 'a geçildiğinde %12,38, 20 μm 'dan 40 μm 'a geçildiğinde ise %26,43 oranında artış göstermiştir.

Benzer bir sonuç olarak Wu ve Drzal (2013) tarafından yürütülen çalışmada da 1 μm -15 μm arasında farklı dolgu boyutlarına sahip grafit nano levhacık/polieterimid sistemler incelendiğinde, daha küçük partikül kullanımında daha iyi bir dolgu ağı gözlense de daha düşük termal iletkenlik değerleri elde edildiği görülmüştür. Bununla birlikte termal iletkenlik sadece partikül boyutuna değil aynı zamanda partiküllerin kimyası ve kompozit bir yapıdaki dolgu morfolojisi gibi farklı parametrelere de bağlıdır. Dolayısıyla partikül boyutu etkisi incelendiğinde bu parametrenin tek bağımsız değişken olarak kontrol edilmesi de zordur (Chen ve diğerleri, 2016).

4.6.6. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları

10, 20, 30 ve 40 g/kg konsantrasyonlarda farklı tanecik boyutuna sahip alüminyum ile kaplanmış kumaşlara ait radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları Şekil 4.23' te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, üç farklı tanecik boyutu için de alüminyum konsantrasyonundaki artış ile geçirilen ısı akısı yoğunluğu (Q_c) ve doğru orantılı olarak ısı geçiş faktörü (TF) tez kapsamında çalışılan diğer malzemelere kıyasla önemli oranda azalmıştır. Minimum ve maksimum konsantrasyonlar için Q_c incelendiğinde;

14 μm alüminyum kaplı numunenin minimum konsantrasyonda 1,24 kW/m^2 olan Q_c değeri, maksimum konsantrasyonda 0,71 kW/m^2 'ye düşmüştür. 20 μm tanecik boyutunda, minimum ve maksimum konsantrasyonlar için Q_c değerleri, sırası ile 0,82 ve 0,57 kW/m^2 olarak elde edilmiştir. En büyük tanecik boyutu olan 40 μm 'da ise minimum ve maksimum konsantrasyonlar için Q_c değerleri 0,80 ve 0,36 kW/m^2 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.23. 14 (a), 20 (b) ve 40 μm (c) alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi sonuçları.

Isı geçiş faktörü (TF) sonuçları incelendiğinde; üç farklı tanecik boyutu için de konsantrasyon artışı ile doğru orantılı olarak TF değerleri azalmıştır. Bu azalma 14 µm için %12,48, 20 µm için %5,56 ve 40 µm için %9,21 oranındadır. 40 g/kg konsantrasyon değeri için kör kaplamaya kıyasla elde edilen farklar, küçük tanecik boyutundan büyüğe doğru artmış ve TF değerleri sırasıyla %28,16, %30,51 ve %34,66 oranında azalmıştır.

En düşük TF değeri (%8,03), en yüksek tanecik boyutuna sahip alüminyum ile kaplı numunelerde elde edilmiştir. Bir önceki test sonuçlarında sunulduğu gibi termal iletkenlik katsayısı yüksek olan ve polyester kumaşı daha iletken hale getiren alüminyum kaplamanın, radyan ısı geçişi testlerinde tersi bir davranış ile yalıtım açısından avantajlı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Alüminyum, infrared elektromanyetik bandı da dahil olmak üzere yüksek yansıtma ve buna bağlı olarak düşük emisyon (ısı yayma yeteneği) sergileyen bir malzemedir. Yaklaşık %90 yansıtma oranı ile, topladığı %10 radyan ısıdan sadece yaklaşık %7'sini dışarı vermektedir. Bu özelliği nedeniyle alüminyum malzemeler, fırınlar ve kazanlar gibi ekipmanlardan kaynaklanan ısı kaybının azaltılmasının gerekli olduğu yerlerde kullanım alanı bulmuştur ("Metalic pigments-The science of optics", t.y).

Tez çalışması kapsamında kullanılan tüm dolgu maddeleri arasında, en düşük radyan ısı geçişine izin veren malzeme de alüminyum olmuştur. Alüminyum kaplamaların radyan ısı açısından sağladıkları termal yalıtım özelliği, özellikle yakın kızılötesi bölge olmak üzere yansıtma değerleri ile ilgili olduğundan, tanecik boyutu ve konsantrasyon bazında solar sonuçlar ile birlikte değerlendirilecektir.

Alüminyum kaplı numunelerin termal ölçümlerine ait istatistiksel analiz verileri Çizelge 4.40'ta verilmiştir. Dolgu konsantrasyonun ve tanecik boyutunun geçirilen ısı akısı, ısı geçiş faktörü ve termal iletkenlik değerleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde etkisi olduğü görülmekte, Çizelge 3.11'de söz konusu değişkenler için verilen alternatif hipotezler kabul edilmektedir.

Çizelge 4.40. Alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların termal ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Faktör		Qc (kW/m ²)		TF (%)		λ (W/mK)	
Konsantrasyon	R	0,00*	2,09 d	0,00*	42,69 d	0,00*	0,13 a
	10		0,95 c		20,66 c		0,16 b
	20		0,69 b		14,66 b		0,18 c
	30		0,64 b		13,48 b		0,22 d
	40		0,55 a		8,93 a		0,24 e
Tanecik boyutu	R	0,00*	2,09 d	0,00*	42,69 d	0,00*	0,13 a
	14		0,88 c		18,69 c		0,18 b
	20		0,67 b		14,26 b		0,20 c
	40		0,57 a		10,35 a		0,22 d
Konsantrasyon *		0,00*		0,00*		0,00*	
Tanecik boyutu							

(a), (b), (c), (d) ve (e) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

4.6.7. Solar ölçüm sonuçları

10, 20, 30 ve 40 g/kg oranlarında 14, 20 ve 40 µm alüminyum ile kaplanmış kumaşların transmitans, reflektans ve absorptans değerleri Çizelge 4.41’de verilmiştir. Artan konsantrasyon ile doğru orantılı olarak alüminyum kaplı numunelerin geçirgenlik değerleri (T_{UV} , T_V , T_S) diğer malzeme gruplarına kıyasla oldukça azalırken, reflektans değerleri (R_V , R_S , R_{NIR}) artış göstermiştir. Kör kaplamaya kıyasla artmış olan solar absorptans (A_S) değerleri de konsantrasyon artışına bağlı olarak azalmıştır. Konsantrasyon değeri 10 g/kg’ dan 40 g/kg’a çıktığında;

14 µm alüminyum ile kaplı numunelerin T_{UV} değeri %1,51 oranında bir azalma ile %0’a düşmüştür. T_V ve T_S değerleri ise sırasıyla %7,25 ve %7,24 azalma ile yaklaşık %0 değerine ulaşmıştır. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %14,43, %14,46 ve %13,95 oranında artış göstererek %55,41, %54,6 ve %54,26’ya yükselmiştir. A_S değeri ise %7,22 oranında azalma ile %45,36 olarak elde edilmiştir.

20 µm tanecik boyutu için T_{UV} , T_V ve T_S değerleri sırası ile %0,56, %2,46 ve %2,49 oranında azalarak her biri yaklaşık %0'a kadar düşmüştür. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %7,71, %7,33 ve %6,94 oranında artış göstererek %61,73, %61,23 ve %61,59'a yükselmiştir. A_S değeri ise %4,84 oranında azalarak %38,72 oranında elde edilmiştir.

40 µm alüminyum ile kaplı numunelerin T_{UV} , T_V ve T_S değerleri sırası ile %0,87, %4,16 ve %4,19 oranında azalarak hepsi yaklaşık %0'a düşmüştür. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %11,67, %11,65 ve %11,41 oranında artışlarla %69,03, %68,69 ve %69,14'e yükselmiştir. A_S değeri ise %7,44 oranında azalarak %31,25'e düşmüştür.

Maksimum dolgu konsantrasyonunda numuneler kör kaplama ile kıyaslandığında; 14, 20 ve 40 µm alüminyum için T_{UV} değeri; sırasıyla %8,37, %8,36 ve %8,36 oranında, T_V değeri; %40,06, %40,02 ve %40,04 oranında ve T_S değeri %39,74, %39,73 ve %39,73 oranında azalmıştır. R_S değeri; %3,36, %9,98 ve %17,45 oranında, R_{NIR} değeri; %5,82, %13,15 ve %20,69 oranında ve A_S değeri ise %36,39, %29,75 ve %22,28 oranında artış göstermiştir.

R_V değeri 14 µm'da kör kaplama sonucu ile neredeyse aynı çıksa da 20 ve 40 µm ile bu değer %6,09 ve %13,39 oranında artmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki transmittans değerleri birbirine yakın olup, özellikle 20-30 g/kg'dan itibaren tanecik boyutuna bağlı bariz farklar göstermemiş, hepsi neredeyse sifıra yaklaşmıştır. Fakat tüm konsantrasyon değerlerinde tanecik boyutu artışı ile reflektans değerleri artış göstermiş, kör kaplamaya göre oldukça yüksek olan solar absorpsiyon değerleri ise azalma eğilimine girmiştir.

İnorganik IR yansıtıcı malzemeler arasında Ag, Au, Cu, Al, Ti ve Rh gibi geçiş metalleri bulunur. Geçiş metali bazlı IR yansıtıcı malzemelerin, IR bant aralığında en yüksek yansıtıcılığa ve görünür bölgede değişken absorpsiyona sahip olduğu rapor edilmiştir. Metal bazlı kaplamaların yüksek IR yansıtma özelliği, serbest elektronların bolluğundan kaynaklanmaktadır. Alüminyum pigmentler, özellikle geniş spektral yansıma aralığı gerektiren uygulamalarda, düşük emisyonlu kaplamalarda, yüksek kızılötesi yansıtması, zengin kaynakları ve ucuz maliyeti nedeniyle yaygın olarak kullanılırlar (Dwivedi, Bamola, Singh ve Sharma, 2020; Yuan, Weng, Xie ve Deng, 2015).

Çizelge 4.41. Alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların solar ölçüm sonuçları

Konsantrasyon (g/kg)	Tanecek boyutu (µm)	T _{UV}		T _v		T _s		R _v		R _s		R _{NIR}		A _s	
		Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS
10	14	1.51	0.09	7.27	0.32	7.28	0.35	40.98	0.14	40.14	0.17	40.31	0.24	52.58	0.20
	20	0.57	0.04	2.53	0.18	2.54	0.15	54.01	0.35	53.90	0.33	54.65	0.32	43.56	0.47
	40	0.88	0.05	4.21	0.10	4.24	0.12	57.36	0.54	57.04	0.61	57.73	0.69	38.72	0.63
20	14	0.13	0.02	0.62	0.08	0.63	0.07	49.96	0.31	49.17	0.28	49.09	0.27	50.21	0.28
	20	0.06	0.00	0.24	0.02	0.25	0.03	61.07	0.11	60.81	0.15	61.24	0.52	38.94	0.18
	40	0.27	0.02	1.28	0.07	1.31	0.06	63.55	0.22	63.43	0.26	64.26	0.38	35.26	0.24
30	14	0.02	0.00	0.08	0.02	0.08	0.03	55.60	0.05	54.91	0.07	54.54	0.13	45.01	0.08
	20	0.05	0.01	0.26	0.04	0.25	0.04	61.18	0.15	60.73	0.10	61.29	0.06	39.03	0.11
	40	0.05	0.01	0.25	0.03	0.27	0.02	67.33	0.22	67.37	0.19	68.43	0.25	32.37	0.19
40	14	0.00	0.00	0.02	0.00	0.04	0.01	55.41	0.11	54.60	0.11	54.26	0.17	45.36	0.11
	20	0.01	0.00	0.07	0.00	0.05	0.02	61.73	1.08	61.23	1.23	61.59	1.41	38.72	1.22
	40	0.01	0.00	0.05	0.01	0.05	0.01	69.03	0.77	68.69	0.66	69.14	0.53	31.25	0.66
Kör kaplama		8,55	0,33	40,09	1,00	39,78	0,95	55,64	0,62	51,24	0,72	48,44	0,99	8,97	0,78

Bir filmin yansıma, geçirgenlik ve absorblama gibi optik özellikleri; pigment ve bağlayıcının kırılma indisleri, pigment parçacıklarının yapısı ve konsantrasyonu ve kaplama filminin kalınlığı gibi faktörlere bağlıdır (Rashid ve Mahltig, 2019).

Tez çalışmasında alüminyum ile yapılan kaplamalar; tanecik boyutu sabit tutularak konsantrasyon artışına göre ve sabit konsantrasyon seçilip tanecik boyutuna göre kıyaslandığında her iki halde de toplam numune kalınlığında bir miktar artış görülmüştür. En yüksek reflektans değerleri de en büyük tanecik için en yüksek konsantrasyonda elde edilmiştir. Benzer şekilde, seramik zemin malzeme üzerine farklı kalınlıklarda alüminyum film kaplayarak optik özelliklerini inceleyen Lugolole ve Obwoya'nın (2015) çalışmasında da alüminyum filmin kalınlığı ve radyasyonun dalga boyu arttıkça reflektans değerinin arttığı görülmüş ve bu durum, alüminyumun küçük bantlar arası geçişleri nedeniyle tüm solar dalga boyu aralığı boyunca çeşitli dalga boylarında serbest elektron davranışı sergilemesi ile ilişkilendirilmiştir. En düşük kalınlık değerine sahip numunenin yansıtma değerinin belli bir oranın altında kalmasının nedeni olarak; gelen ışığın çoğunun film tarafından geçirilmesi ve zemin malzeme tarafından absorblanması gösterilmiştir. Tez çalışmasında da minimum konsantrasyonda (10 g/kg) alüminyum kaplı numuneler en düşük kalınlık değerlerine sahiptir ve konsantrasyon 20 g/kg'a çıktığında geçirgenlik değerleri belirgin olarak azalmış, 30 ve 40 g/kg'a çıkıldığında ise sifıra yaklaşmıştır. Artan alüminyum konsantrasyonu, buna paralel olarak kalınlık ve örtücülüğün artışı ile reflektans değerleri artmış, absorbans değerleri azalmıştır.

Elde ettiğimiz sonuçlarla paralel olarak Hallenstvet ve diğerlerinin (2006) çalışmasında da maksimum infrared yansıtmanın, metalik pigment miktarının artmasıyla elde edilebileceği, düşük emisyonlu (Low-e) kaplama için en önemli faktörün pigment ilave seviyesi olduğu ifade edilmiştir. Spektrumun termal aralığında (2-50 μm dalga boyları) alüminyum pulların yüksek yansıtıcılığının kullanımı amaçlanmış, polimerler bu dalga boyu aralığında yoğun bir şekilde absorbe olduklarından, pulların kaplamanın dış yüzeyine yakın yerleşimlerinin ve paralel hizalanmalarının önemli olduğunun altı çizilmiştir.

Kullanılan alüminyum pigmentin tanecik boyutu arttıkça daha yüksek reflektans değerlerinin elde edilmiş olması Yuan, Weng, Xie ve Deng (2015) tarafından yapılan çalışma sonuçları ile uyumludur. Bu çalışmada pul formunda alüminyum pigmentin tanecik boyutunun kızılötesi emisyon davranışına etkisi pürüzlü yüzey teorisi ile ilişkilendirilmiştir. Metalik pigmentler etkilerini hem yansıma hem de saçılma yoluyla yaratırlar. Düzlüğü veya pürüzsüzlüğü nedeniyle aynasal (düzgün, speküler) yansıma sergilerken, pürüzlü kenarları ve/veya yüzeyindeki kusurlar nedeniyle dağınık saçılma sergilerler (“Metalic pigments-The science of optics”, t.y). Denklem 4.1’de görüldüğü gibi toplam reflektans değeri $R(\lambda)$, düzgün $R_s(\lambda)$ ve dağınık yansıma $R_d(\lambda)$ bileşenlerinden oluşmaktadır.

$$R(\lambda) = R_s(\lambda) + R_d(\lambda) \quad (4.1)$$

$$R_s(\lambda) = R_{0,s}(\lambda) \exp [-(4\pi\sigma/\lambda)^2] \quad (4.2)$$

$$R_d(\lambda) = R_{0,s}(\lambda) \{1 - \exp[-(4\pi\sigma/\lambda)^2]\} \cdot \{1 - \exp[-(\pi\alpha\eta_i/\lambda)^2]\} \quad (4.3)$$

$R_{0,s}(\lambda)$ aynı malzemeden düz bir yüzeyin düzgün yansımasını, σ yüzeyin pürüzlülük değerini (rms), η_i ölçüm ekipmanının kabul edilen koni açısını ve α pürüzlü yüzeyin korelasyon uzunluğunu ifade etmektedir. Eşitliklere göre $R_s(\lambda)$ ve $R_d(\lambda)$ değerleri, σ , η_i ve α parametrelerine bağlı olarak değişecektir. Böylece toplam reflektans değeri yüzey pürüzlülüğünden önemli ölçüde etkilenecektir.

Pigment boyutu azaldıkça birim alana denk gelen partikül sayısının artmasına bağlı olarak pürüzlülükte artış olabilir. Yüksek yüzey pürüzlülüğü de toplam kızılötesi yansımayı önemli ölçüde azaltan düşük aynasal (speküler) yansıma ve yüksek diffüz (dağınık) yansıma yolu açar. Söz konusu çalışmada da tanecik boyutunun 8 μm 'den 23 μm 'ye artması ile yüzey pürüzlülüğü azalmış, yüksek oranda artan aynasal yansıma sonucu olarak elde edilen kaplamaların 8-14 μm 'lik tüm dalga bantlarında yüksek kızılötesi yansımayı koruyabildiği ifade edilmiştir (Yuan, Weng, Xie ve Deng, 2015).

Gunde ve Kunaver (2003) çalışmalarında basit pürüzlü yüzey modeline ait iki parametre olan $R_{0,s}(\lambda)$ ve $R_{0,d}(\lambda)$ 'yi aynı malzemeden yapılmış düz ve dokusuz yüzeylerin düzgün ve dağınık yansımaları olarak ifade etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar da göstermektedir ki bu iki parametre, daha düşük dalga boylarında $R_{0,d}$ ve daha yüksek dalga boylarında $R_{0,s}$ olmak üzere IR-RAS (infrared yansımaya-absorpsiyon spektroskopisi) spektrumlarını ayrı spektral bölgelerde etkilemektedir. Bu bilgiye göre, tez çalışmasında radyan ısı yalıtımına etkisi açısından değerlendirilen yakın kızılötesi bölgenin de ölçülen spektrumun yüksek dalga boyu aralığında olduğu göz önüne alındığında, düzgün (speküler) yansımaları geliştirmenin önemli olduğu söylenebilir.

Metalik pigmentlerle elde edilen görsel izlenim, aynasal yansıyan ve dağınık saçılan ışık arasındaki orana bağlıdır. Speküler (aynasal) yansıyan ışığın oranı, pigment alanının boyutu ile artarken dağınık yansıyan ışığın oranı, ışığı saçan kenarların sayısı ile artacaktır. Parçacık boyutu ne kadar büyük ve parçacığın şekli ne kadar yuvarlaksa, düzgün yansıtılan ışığın oranı o kadar yüksek olacak ve bu nedenle parlaklık ve renk doygunluğu da o kadar iyi olacaktır. Parçacık boyutu ne kadar ince ve yapısı ne kadar düzensiz olursa, dağınık yansıyan ışığın oranı o kadar yüksek olacak ve daha yüksek örtme kapasitesi sağlayacaktır ("Metalic pigments-The science of optics", t.y).

Çizelge 4.42'de verilen istatistiksel analiz sonuçlarına göre alüminyum konsantrasyonunun ve tanecik boyutunun kaplamalı numunelerin transmittans, reflektans ve absorptans özellikleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde hem ayrı ayrı hem de birlikte etkisi olduğu görülmektedir. Bu durumda, Çizelge 3.11'de söz konusu değişkenler için verilen alternatif hipotezler kabul edilmektedir.

Çizelge 4.42. Alüminyum tozu ile kaplanmış kumaşların solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Faktör		T _{UV}	T _V	T _S	R _V	R _S	R _{NIR}	A _S
Konsantrasyon	0	8,37 d	40,09 d	39,78 d	55,64 b	51,24 b	48,44 a	8,97 a
	10	0,99 c	4,67 c	4,69 c	50,78 a	50,36 a	50,90 b	44,95 d
	20	0,15 b	0,72 b	0,73 b	58,19 c	57,80 c	58,20 c	41,47 c
	30	0,04 a	0,20 a	0,20 a	61,22 d	60,88 d	61,42 d	38,93 b
	40	0,01 a	0,05 a	0,05 a	62,06 e	61,51 e	61,66 d	38,44 b
Tanecik boyutu	0	8,37 d	40,09 d	39,78 d	55,64 b	51,24 b	48,44 a	8,97 a
	14	0,42 c	2,00 c	2,01 c	50,38 a	49,61 a	49,55 b	48,38 d
	20	0,17 a	0,77 a	0,77 a	59,50 c	59,17 c	59,69 c	40,06 c
	40	0,30 b	1,45 b	1,47 b	64,32 d	64,13 d	64,89 d	34,40 b
Konsantrasyon * Tanecik boyutu	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	

(a), (b), (c) ve (d) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

4.7. Farklı Tanecik Boyutunda Bakır Tozu ile Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar

4.7.1. Birim alan ağırlığı sonuçları

Üç tanecik boyutunda bakır tozu ile dört konsantrasyon değerinde kaplanan kumaşlara ait birim alan ağırlığı sonuçları Çizelge 4.43'te verilmiştir. 10 g/kg'dan 40 g/kg konsantrasyona geçildiğinde birim alan ağırlığı değerleri, 15, 28 ve 42 µm bakır tozu için sırasıyla %7,40, %13,31 ve %12,40 oranında artmıştır. Kör kaplamaya kıyasla en yüksek bakır konsantrasyonunda bu artışlar sırası ile %14,98, %26 ve %21,26 şeklindedir.

Çizelge 4.43. Bakır tozu ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı sonuçları

Birim alan ağırlığı (g/m ²)									
Dolgu Maddesi	Tanecik Boyutu (µm)	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)							
		10		20		30		40	
		Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Bakır	15	278,55	0,54	288,09	0,92	292,40	2,32	299,17	1,85
	28	289,32	2,97	300,40	3,25	309,63	1,41	327,84	2,54
	42	280,70	2,44	295,36	2,96	304,56	1,41	315,51	2,85
Kör Kaplama		260,2							0,53

4.7.2. Aktarılan madde miktarı sonuçları

Çizelge 4.44'te bakır kaplamalı numunelere ait aktarılan madde miktarı sonuçları sunulmuştur. 15, 28 ve 42 µm bakır kaplamada 10 g/kg'dan 40 g/kg'a geçişte, aktarılan madde miktarları sırasıyla; %18,82, %32,01 ve %24,48 oranında artmıştır.

Çizelge 4.44. Bakır tozu ile kaplanmış kumaşların aktarılan madde miktarı sonuçları

Aktarılan madde miktarı (g/m ²)									
Dolgu Maddesi	Tanecik Boyutu (µm)	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)							
		10		20		30		40	
		Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Bakır	15	109,55	0,54	119,09	0,92	123,40	2,32	130,17	1,85
	28	120,32	2,97	131,40	3,25	140,63	1,41	158,84	2,54
	42	117,7	2,44	126,36	2,96	135,56	1,41	146,51	2,85
Kör Kaplama		91,2							0,53

4.7.3. Kalınlık sonuçları

Çizelge 4.45'te verilen sonuçlar incelendiğinde tanecik boyutu ve konsantrasyona bağlı olarak kalınlık değerlerinin çok az miktarda arttığı görülmektedir. Diğer malzeme gruplarına benzer şekilde en büyük tanecik boyutunun kullanıldığı numuneler, en yüksek kalınlık değerini vermiştir. Minimumdan maksimum konsantrasyona çıkıldığında kalınlık değerleri; 15 µm için %5,26, 28 µm için %5,13 ve 42 µm için %7,69 oranında artmıştır. 40 g/kg sabit konsantrasyon için farklı tanecik boyutları kör kaplama (0,37 mm) ile kıyaslandığında; 15 µm %8,11, 28 µm %10,81, 42 µm kaplama ise %13,51 oranında artış göstermiş olup 0,40, 0,41 ve 0,42 mm kalınlık sonuçları elde edilmiştir.

Çizelge 4.45. Bakır tozu ile kaplanmış kumaşların kalınlık sonuçları

Kumaş kalınlığı (mm)									
Dolgu Maddesi	Tanecik Boyutu (µm)	Dolgu Konsantrasyonu (g/kg)							
		10		20		30		40	
		Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
Bakır	15	0,38	0,01	0,39	0,01	0,40	0,01	0,40	0,00
	28	0,39	0,01	0,40	0,01	0,40	0,01	0,41	0,01
	42	0,39	0,01	0,40	0,00	0,41	0,01	0,42	0,01
Kör Kaplama		0,37							0,01

Çizelge 4.46’da verilen istatistikî verilere göre konsantrasyon ve tanecik boyutunun bakır kaplamaların fiziksel test sonuçları üzerinde etkisinin olduğu görülmektedir. Yukarıda da ifade edildiği gibi kalınlık değerlerinde elde edilen yakın değerlerin sonucu olarak SNK testine göre de bu veriler benzer harflerle ifade edilmiştir.

Çizelge 4.46. Bakır tozu ile kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

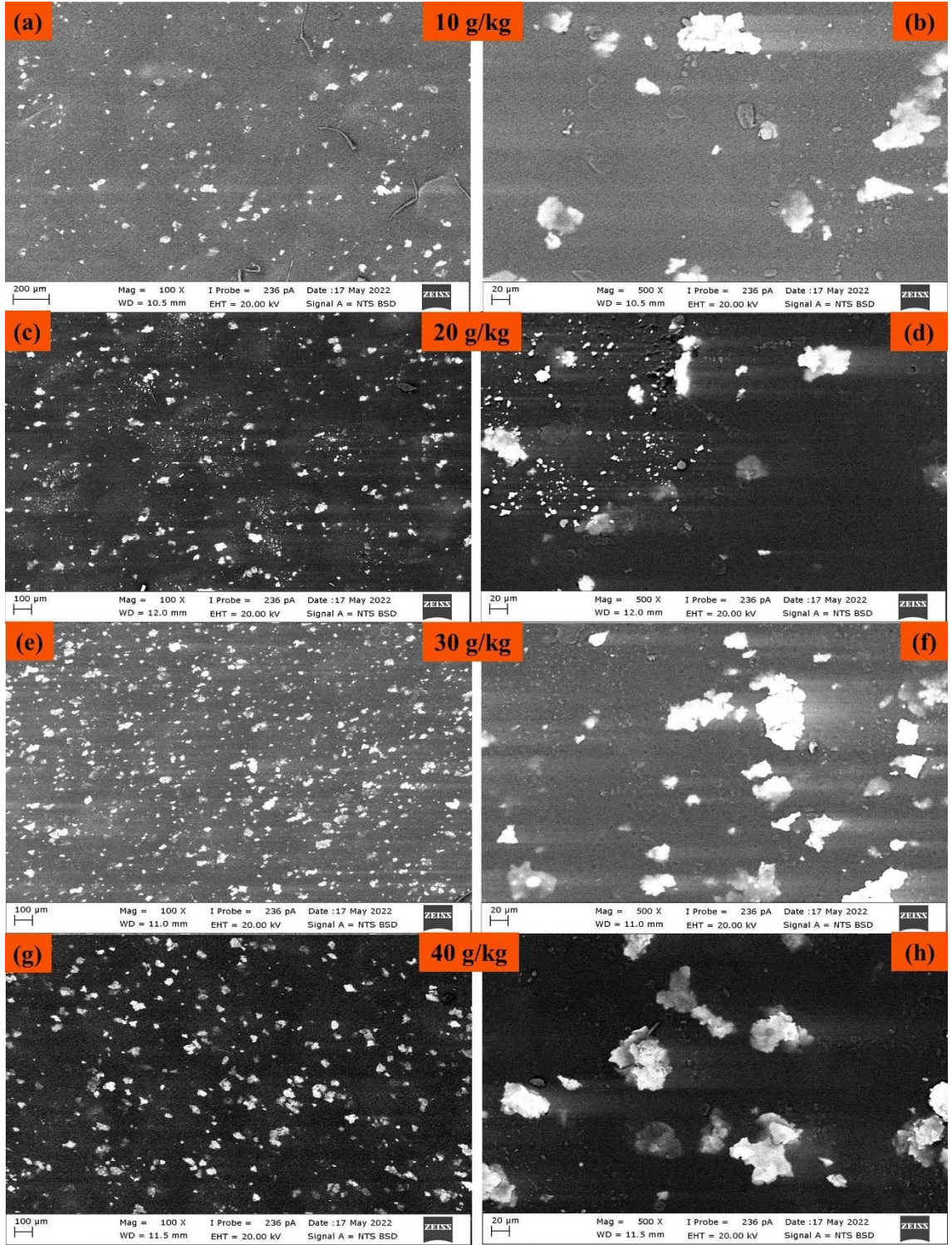
Faktör		Birim alan ağırlığı (g/m ²)		Aktarılan madde miktarı (g/m ²)		Kalınlık (mm)	
Konsantrasyon	R	0,00*	260,20 a	0,00*	91,20 a	0,00*	0,37 a
	10		282,86 b		113,86 b		0,38 b
	20		294,61 c		125,62 c		0,39 c
	30		301,53 d		132,53 d		0,40 c, d
	40		314,17 e		145,17 e		0,41 d
Tanecik boyutu	R	0,00*	260,20 a	0,00*	91,20 a	0,00*	0,37 a
	15		289,55 b		120,55 b		0,39 b
	28		306,80 d		137,80 d		0,40 b, c
	42		298,53 c		129,53 c		0,40 c
Konsantrasyon *		0,00*		0,00*		0,47*	
Tanecik boyutu							

(a), (b), (c), (d) ve (e) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

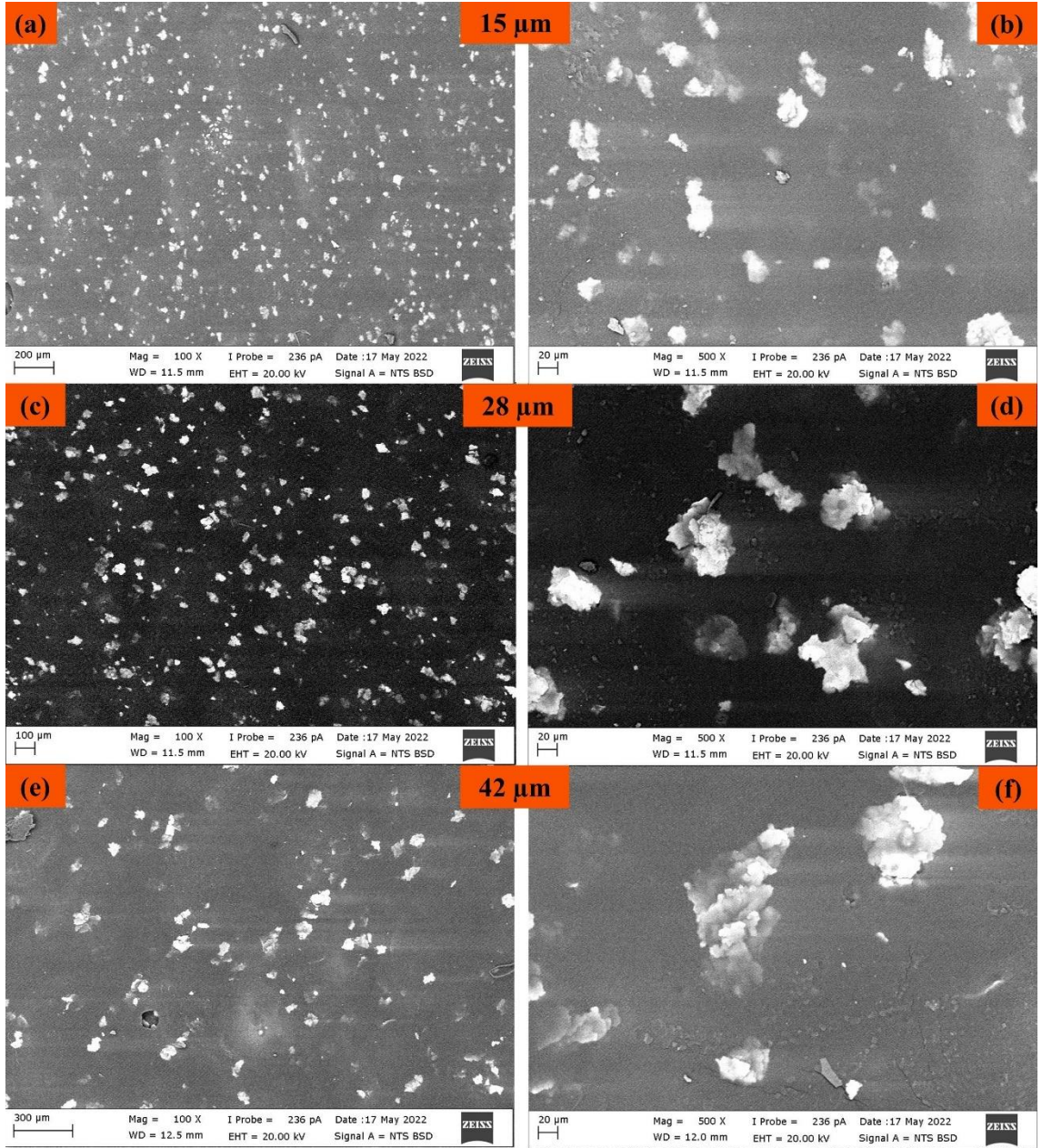
*%5 anlamlılık seviyesi

4.7.4. SEM analizi sonuçları

Şekil 4.24'te orta tanecik boyutu olan 28 µm bakır tozu ile 10, 20, 30 ve 40 g/kg konsantrasyonda kaplanmış kumaşların, Şekil 4.25'te ise 15, 28 ve 42 µm bakır ile 40 g/kg konsantrasyonda kaplanmış kumaşların 100x ve 500x büyütme oranlarında, geri saçılan elektronlar ile alınmış SEM görüntüleri verilmektedir. Şekil 4.24'te konsantrasyon artışı ile kumaş yüzeyine aktarılan bakır miktarındaki artış net olarak görülmektedir. Şekil 4.25'te özellikle 500x büyütme oranında tanecik boyutları arasındaki fark belirgindir. Görüntüler genel olarak tüm konsantrasyon ve tanecik boyutları için homojen kaplamalar elde edildiğini göstermektedir.



Şekil 4.24. 28 μm bakır tozu ile farklı konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşların 100x (a, c, e, g) ve 500x (b, d, f, h) büyütme oranında SEM görüntüleri.



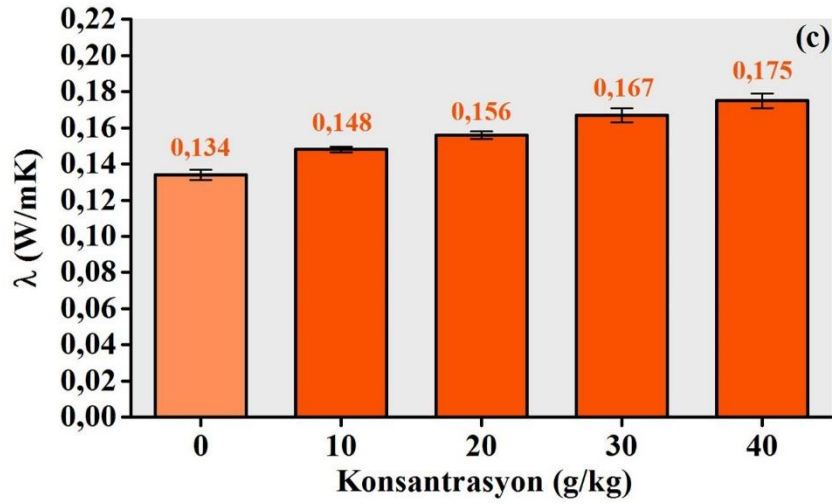
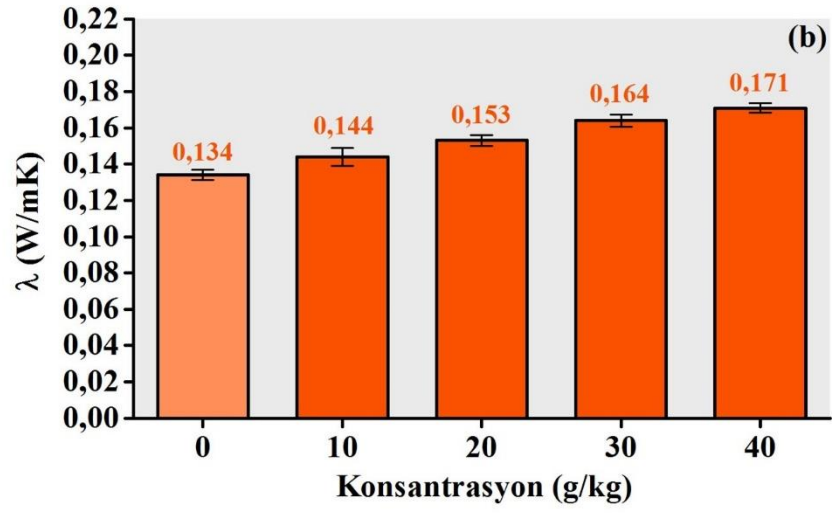
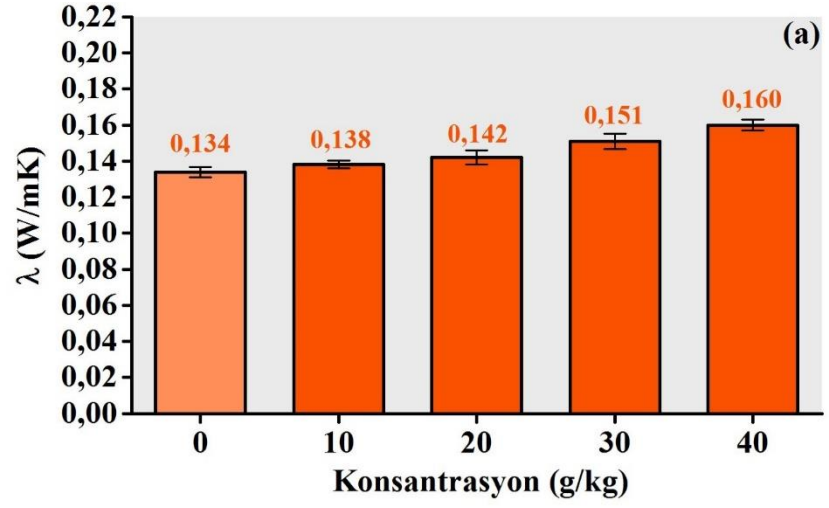
Şekil 4.25. 40 g/kg konsantrasyonda farklı tanecik boyutlarına sahip bakır tozu ile kaplanmış kumaşların 100x (a, c, e) ve 500x (b d, f) büyütme oranında SEM görüntüleri.

4.7.5. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları

15, 28 ve 42 µm bakır ile kaplanmış numunelere ait termal iletkenlik katsayısı sonuçları kör kaplama ile kıyaslamalı olarak Şekil 4.26'da verilmiştir. Konsantrasyon ve tanecik boyutu artışı ile paralel olarak, kaplanmış tüm numunelerin termal iletkenlik katsayısı da artmıştır.

15, 28 ve 42 µm kaplamada minimum konsantrasyon değerinden (10 g/kg) maksimum konsantrasyona (40 g/kg) geçildiğinde, numunelerin termal iletkenlik katsayıları sırası ile %15,94, %18,75 ve %18,24 oranında artmıştır. Dolgu maddesi miktarının elde edilmek istenen özellik üzerinde kritik öneme sahip olduğu bilinen bir gerçektir. Nitekim, Yusoff, Ahmad, Amir ve Leong tarafından (2010) yürütülen bir çalışmada da ağırlıkça %5, %10 ve %15 bakır parçacıkları içeren epoksi kompoziteler geliştirilmiş ve artan bakır içeriğine paralel olarak termal iletkenlik önemli ölçüde geliştirilmiştir. Akrilik matriste bakır nanotel katkının kullanıldığı bir başka çalışmada da artan bakır katkı hacmi ile doğru orantılı olarak termal iletkenlik katsayıları artmıştır (Wang ve diğerleri, 2014).

Sonuçlar tanecik boyutu açısından değerlendirildiğinde, maksimum çalışma konsantrasyonu olan 40 g/kg'da kör kaplamaya kıyasla; 15 µm ile %19,40, 28 µm ile %27,61 ve 42 µm ile %30,6 oranında artış gerçekleşmiştir. Bakırda da alüminyuma benzer şekilde en yüksek termal iletkenlik katsayısını (0,175 W/mK) en büyük tanecik boyutu ve en yüksek konsantrasyon vermiştir.



Şekil 4.26. 15 (a), 28 (b) ve 42 μm (c) bakır tozu ile kaplanmış kumaşların termal iletkenlik katsayısı sonuçları.

Şekil 4.26’da görüldüğü üzere bakır kaplı numunelerin termal iletkenlik katsayıları, dolgu maddesi tanecik büyüklüğü ile orantılı olarak artma eğilimindedir. Sonuçlarla uyumlu olarak Bala, Pradhan, Saxena ve Saksena (1989) tarafından yürütülen bir çalışmada da farklı parçacık boyutlarındaki bakır tozlarının termal iletkenlik değerleri hem deneysel hem teorik olarak farklı modellere göre çalışılmış ve artan boyutla birlikte iletkenlik katsayılarının da arttığı görülmüştür. Tanecik boyutuna bağlı değişim açısından değerlendirildiğinde bu sonuçlar, kullanılan diğer metalik pigment olan alüminyum ile kaplanmış numunelere ait sonuçlarla uyumludur.

Konsantrasyona bağlı artışlar, alüminyum kaplamalar ile kıyaslandığında bakır kaplamalarda daha düşüktür. Alüminyum kaplı numunelerde, konsantrasyona bağlı olarak termal iletkenlik katsayıları daha yüksek farklarla artmış ve daha iletken kaplamalar elde edilmiştir. Literatürde, dokusuz yüzey viskon kumaş üzerine bakır, alüminyum, gümüş, demir ve çinko metal partikül katkılı polietilen glikol kaplamaların yapıldığı bir çalışmada da denenen metallerin tümünün kumaşın termal iletkenliğini geliştirdiği, en yüksek ısı iletim katsayısını ise alüminyum kaplı numunenin verdiği ifade edilmiştir (Yang ve diğerleri, 2021). Söz konusu çalışmada kullanılan metal parçacıkların tanecik boyutları birebir aynı olmamakla birlikte, alüminyum katkının bakıra kıyasla kaplanmış numunenin iletkenliğini daha çok artırması, tez çalışmasında elde ettiğimiz sonuçlar ile benzerlik teşkil etmektedir.

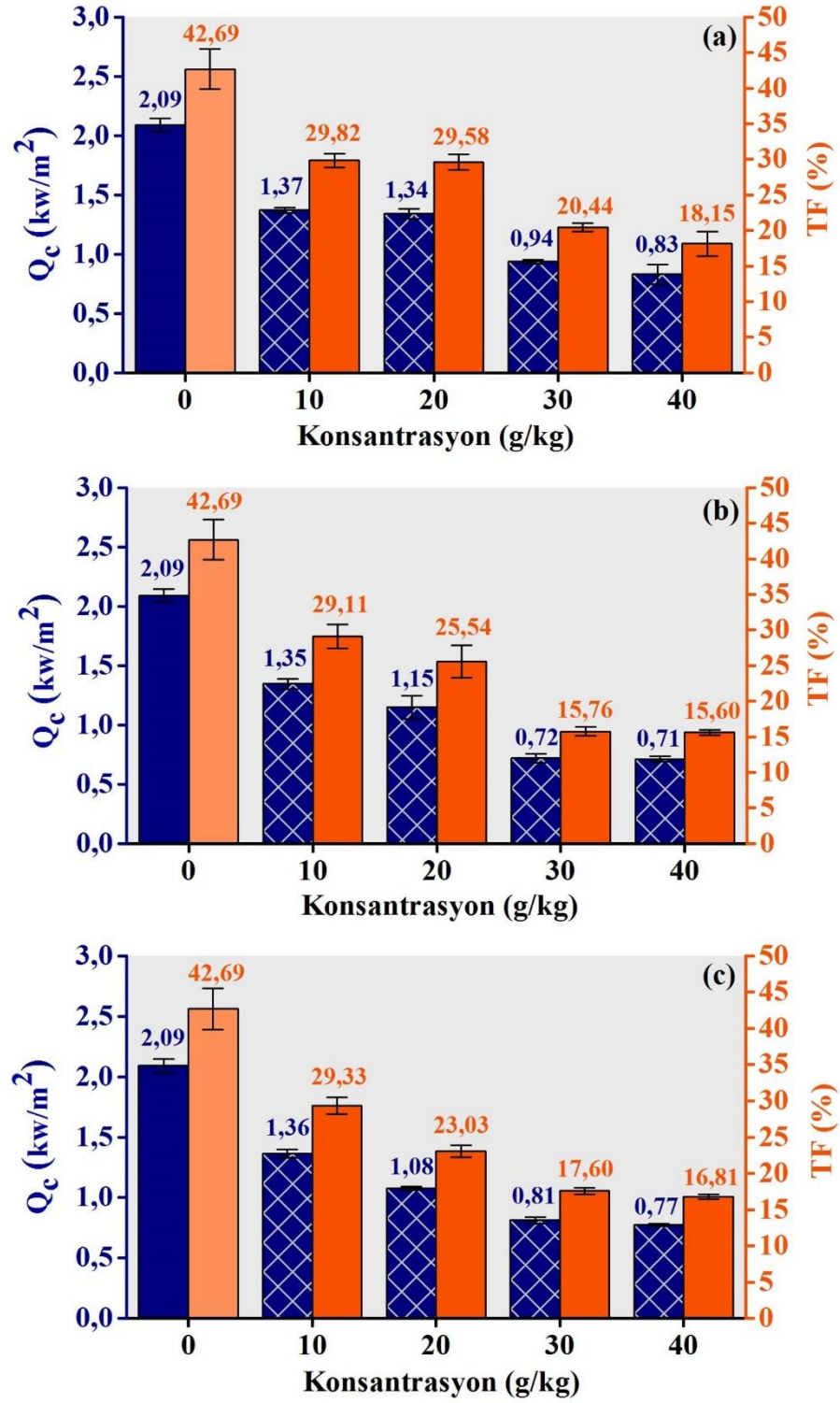
Alüminyumda olduğu gibi bakır kaplı numunelerin de iletimle ısı transferi söz konusu iken termal yalıtımı olumsuz etkileyeceği açıktır. Tez çalışmasında bu iki metal tozun kullanım amacı daha ziyade, numunelerin solar reflektans özelliğini geliştirmek ve bunun da radyan ısı transferinde pozitif etki sağlayıp sağlamadığını incelemektir.

4.7.6. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları

15, 28 ve 42 µm bakır ile 10, 20, 30 ve 40 g/kg konsantrasyonlarda kaplanmış kumaşlara ait radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları Şekil 4.27' de verilmiştir. Alüminyum kaplı numunelere benzer şekilde, üç farklı tanecik boyutu için de bakır konsantrasyonundaki artış ile geçirilen ısı akısı yoğunluğu (Q_c) ve buna paralel olarak ısı geçiş faktörü (TF) önemli oranda azalmıştır. Minimum ve maksimum konsantrasyonlar için Q_c incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

15 µm bakır kaplı numunenin minimum konsantrasyonda 1,37 kW/m² olan Q_c değeri, maksimum konsantrasyonda 0,83 kW/m²' ye düşmüştür. 28 µm tanecik boyutunda, minimum ve maksimum konsantrasyonlar için Q_c değerleri, sırası ile 1,35 ve 0,71 kW/m² olarak elde edilmiştir. En büyük tanecik boyutu olan 42 µm'da ise minimum ve maksimum konsantrasyonlar için Q_c değerleri 1,36 ve 0,77 kW/m² olarak elde edilmiştir. Isı geçiş faktörü (TF) sonuçları incelendiğinde; üç farklı tanecik boyutu için de konsantrasyon artışı ile doğru orantılı olarak TF değerleri azalmıştır. Bu azalma 15, 28 ve 42 µm için sırasıyla %11,67, %13,51 ve %12,52 oranındadır.

Aynı konsantrasyon değerlerinde farklı tanecik boyutları kıyaslandığında 28 ve 42 µm' a ait sonuçların birbirine daha yakın oldukları görülmüştür. 28 µm bakır kaplı numunelerin TF değerleri özellikle 20 g/kg'dan itibaren 15 µm kaplı numunelere kıyasla belirgin ölçüde azalmıştır. Ancak tanecik boyutu artışı ile TF değerlerinin azalması durumu, 28 µm' dan 42 µm' a geçişte gözlemlenmemiştir. 10 g/kg için iki tanecik boyutu aynı sonucu verirken 20 g/kg'da 42 µm daha düşük TF sonucu vermiş ancak 30 ve 40 g/kg'da bu düşüş devam etmemiş tersine az da olsa artış (yaklaşık %1,2-1,8) söz konusu olmuştur. 40 g/kg konsantrasyonda kör kaplamaya kıyasla TF değerlerinde elde edilen farklar, küçük tanecik boyutundan büyüğe doğru sırasıyla; %24,54, %27,09 ve %25,88 oranındadır.



Şekil 4.27. 15 (a), 28 (b) ve 42 μm (c) bakır tozu ile kaplanmış kumaşların radyan ısı geçişi sonuçları.

Termal iletkenlik katsayısında artışa neden olan bakır kaplamalar, alüminyum kaplamalara benzer olarak radyan ısı geçişi testlerinde TF değerlerindeki ortalama %25'lik azalma ile yalıtım açısından avantajlı sonuçlar vermiştir. Alüminyum ve bakır kaplamalar kendi aralarında kıyaslandığında radyan ısı yalıtımında bakırın alüminyumun gerisinde kaldığı görülmüştür. Alüminyum kaplamalarda elde edilen en küçük TF değeri %8,03 iken bu değer bakırda %15,6'ya kadar düşebilmiştir. Radyan ısı geçişi test sonuçları yakın kızılötesi reflektans değerleri ile ilişkilendirildiğinde de sonuçlar tutarlıdır. Bir sonraki bölümde Çizelge 4.47'de de inceleneceği üzere bakır kaplı numunelerin reflektans değerleri, alüminyum kaplı olanlara göre genellikle daha düşüktür.

Çizelge 4.47. Bakır tozu ile kaplanmış kumaşların termal ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Faktör		Qc (kW/m ²)		TF (%)		λ (W/mK)	
Konsantrasyon	R	0,00*	2,09 d	0,00*	42,69 d	0,00*	0,13 a
	10		1,36 c		29,42 c		0,14 b
	20		1,19 b		26,05 b		0,15 c
	30		0,82 a		17,93 b		0,16 d
	40		0,77 a		16,85 a		0,17 e
Tanecik boyutu	R	0,00*	2,09 c	0,00*	42,69 c	0,00*	0,13 a
	15		1,12 b		24,50 b		0,15 b
	28		0,98 a		21,50 a		0,16 c
	42		1,01 a		21,69 a		0,16 c
Konsantrasyon * Tanecik boyutu		0,00*		0,01*		0,65*	

(a), (b), (c), (d) ve (e) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

Bakır kaplı numunelerin termal ölçümlerine ait istatistiksel analiz verileri Çizelge 4.47'de verilmiştir. Dolgu konsantrasyonunun ve tanecik boyutunun geçirilen ısı akısı, ısı geçiş faktörü ve termal iletkenlik değerleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde etkisi olduğu

görülmekte, Çizelge 3.11’de söz konusu değişkenler için verilen alternatif hipotezler kabul edilmektedir.

4.7.7. Solar ölçüm sonuçları

10, 20, 30 ve 40 g/kg oranlarında 15, 28 ve 42 µm bakır tozları ile kaplanmış kumaşların transmitans, reflektans ve absorbands değerleri Çizelge 4.48’de verilmiştir. Alüminyum kaplamalara benzer şekilde, artan konsantrasyon ile doğru orantılı olarak bakır kaplı numunelerin geçirgenlik değerleri (T_{UV} , T_V , T_S) azalırken, reflektans değerleri (R_V , R_S , R_{NIR}) artış göstermiştir. Kör kaplamaya kıyasla yüksek olan solar absorbands (A_S) değerleri de bakır konsantrasyonundaki artışla birlikte artma eğilimi göstermiştir. Konsantrasyon değeri 10 g/kg’dan 40 g/kg’a çıktığında;

15 µm bakır ile kaplı numunelerin T_{UV} değeri %0,84 oranında bir azalma ile %0,21’e düşmüştür. T_V ve T_S değerleri ise sırasıyla %6,71 ve %7,36 azalma ile yaklaşık %2 ve %2,76 değerlerine düşmüştür. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %3,83, %7,34 ve %10,84 oranında artış göstererek %29,23, %41,34 ve %56,41’e yükselmiştir. A_S değeri ise belirgin bir fark göstermemiştir.

28 µm tanecik boyutu için T_{UV} , T_V ve T_S değerleri sırası ile %1,35, %10,40 ve %11,72 oranında azalarak sırasıyla %0,06, %0,90 ve %1,56’ya düşmüştür. R_V , R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %4,90, %9,12 ve %13,15 oranında artış göstererek %34,07, %47,32 ve %64,24’e yükselmiştir. A_S değeri ise %2,59 oranında artarak %51,12 oranında elde edilmiştir.

42 µm bakır ile kaplı numunelerin T_{UV} , T_V ve T_S değerleri sırası ile %1,88, %11,24 ve %11,44 oranında azalarak sırasıyla %0,53, %4,59 ve %6,02’ye düşmüştür. R_S ve R_{NIR} değerleri sırasıyla %4 ve %9,69 oranında artışlarla %45,66 ve %62,54’e yükselmiştir. R_V değeri herhangi bir artış göstermeyip aynı değerde kalmış (yaklaşık %33), A_S değeri ise %6,56 oranında artarak %48,32’ye yükselmiştir.

Çizelge 4.48. Bakır tozu ile kaplanmış kumaşların solar ölçüm sonuçları

Konsantrasyon (g/kg)	Taneçik boyutu (µm)	T _{UV}		T _v		T _s		R _v		R _s		R _{NIR}		A _s	
		Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS
10	15	1,43	0,06	11,08	0,45	12,48	0,50	25,11	0,09	32,24	0,04	42,50	0,08	55,28	0,54
	28	1,41	0,09	11,30	0,31	13,28	0,29	29,17	0,29	38,20	0,14	51,09	0,09	48,52	0,42
	42	2,40	0,17	15,83	0,75	17,46	0,72	33,72	0,24	41,67	0,99	52,84	0,65	41,77	0,51
20	15	1,05	0,02	8,71	0,04	10,12	0,02	25,41	0,28	34,00	0,33	45,57	0,41	55,88	0,40
	28	0,69	0,10	6,41	0,58	8,11	0,65	29,35	0,20	39,87	0,20	54,08	0,26	52,02	0,67
	42	0,96	0,10	7,46	0,88	9,00	0,97	31,44	0,57	41,86	1,00	56,98	1,46	49,14	0,64
30	15	0,36	0,02	3,30	0,14	4,27	0,19	27,54	0,12	38,51	0,05	52,19	0,04	57,22	0,16
	28	0,11	0,02	1,37	0,17	2,06	0,21	33,30	0,10	46,40	0,32	63,35	0,51	51,55	0,35
	42	0,40	0,12	3,64	0,84	4,85	0,95	33,45	0,87	45,52	1,38	61,95	1,92	49,64	0,65
40	15	0,21	0,01	2,00	0,05	2,76	0,05	29,23	0,24	41,34	0,34	56,41	0,47	55,91	0,29
	28	0,06	0,01	0,90	0,10	1,56	0,12	34,07	0,44	47,32	0,53	64,24	0,45	51,12	0,42
	42	0,53	0,09	4,59	0,65	6,02	0,79	33,33	0,30	45,66	0,36	62,54	0,42	48,32	1,14
Kör kaplama		8,55	0,33	40,09	1,00	39,78	0,95	55,64	0,62	51,24	0,72	48,44	0,99	8,97	0,78

Maksimum dolgu konsantrasyonunda numuneler kör kaplama ile kıyaslandığında; 15, 28 ve 42 µm alüminyum için T_{UV} değeri; sırasıyla %8,16, %8,32 ve %7,84 oranında, T_V değeri; %38,09, %39,18 ve %35,50 oranında ve T_S değeri %37,03, %38,22 ve %33,77 oranında azalmıştır.

A_S değerlerinde %46,93, %42,15 ve %39,35 oranında görülen artışlara paralel olarak R_V değeri; %26,41, %21,57 ve %22,31 oranında, R_S değeri; %9,91, %3,92 ve %5,58 oranında azalmıştır. Ancak yakın kızılötesi bölgede bu durum değişmiş ve R_{NIR} değerleri; %7,97, %15,80 ve %14,10 oranında artış göstermiştir.

15 µm boyutunda belirgin bir fark olmasa da diğer tanecik boyutlarında artan bakır konsantrasyonu ile solar absorbandsın da artması sonucu Moghe ve diğerleri (2012) tarafından yürütülen çalışma sonuçları ile uyumludur. Bu çalışmada da nikel dioksit filmlerde kullanılan bakır katkı oranı en yüksek seviyede iken en yüksek absorbands değeri elde edilmiştir.

Çizelge 4.48'de görüldüğü üzere, konsantrasyona bağlı absorbands değerleri artmış olsa da bakırın tanecik boyutu arttıkça daha düşük absorbands değerleri elde edilmiştir. Bakır da dahil olmak üzere farklı metal tozları ile çalışan Brandau ve diğerleri (2022) de sonuçlarında azalan tane boyutu ile artan absorbands davranışını doğrulamıştır. Bunun nedeni olarak, artan yüzey mikro pürüzlülüğü ve tanelerin daha küçük yarıçapları nedeniyle artan çoklu yansıma gösterilmiştir. Her ikisi de absorbsiyonda bir artışa yol açmaktadır. Yine bu çalışmada, bakırın görünür aralıkta daha kısa dalga boylarına doğru güçlü bir absorbands artışı ve yeşilden ultraviyoleye doğru ($\lambda=550-330$ nm) bir absorbsiyon bölgesi gösterdiği ancak yakın kızılötesi aralığında çalışmada kullanılan tüm materyaller arasında en düşük absorbandsa sahip olduğu ifade edilmiştir. Tez çalışmasında da bakır kaplı numunelerin yakın kızılötesi bölgeye ait reflektans değerlerinin, görünür bölge reflektansına ve tüm spektrumu kapsayan solar reflektans değerlerine kıyasla yüksek olması bu sonuçla örtüşmektedir.

Osorio ve diğerleri (2010) tarafından yapılan çalışmada sunulan farklı metallere ait reflektans grafiğinde alüminyum ve bakıra ait eğriler tez çalışması ile uyumludur.

Çalışmada 350 nm dalga boyunda sunulan reflektans değerlerinde bakır (%31,6) alüminyumun (%90,3) oldukça gerisindedir.

Bakır belirgin bir kırmızı-turuncu renge sahiptir. Herhangi bir nesnenin renkli olmasının ilk ve en belirgin nedeni ise nesnenin ışığın bazı dalga boylarını absorblaması ve diğerlerini yansıtmasıdır. Bakırın ışık şiddeti tayfi incelenirse, bakır metali üzerine ışık tutulduğunda, bakır atomlarının tayfin mavi-yeşil bölgesindeki ışığın bir kısmını absorbladığı görülür. Bir nesne ışığın bir rengini absorbladığında, tamamlayıcı rengi gözümüze geri yansır. Mavi-yeşil ışık absorbe edildiğinden tamamlayıcı rengi olan kırmızı-turuncu yansıtılır. Metaller çoğunlukla gümüşü renktedirler. Bunlar (alüminyum ve gümüş gibi) üzerlerine gelen görünür ışığı yüksek oranda yansıtırlar ve bu da yansıyan ışığın renginde çok az bozulmaya neden olur. (“Why Copper Is Reddish in Color”, 2016).

Alüminyum ve magnezyum gibi çok değerlikli metaller, VIS-NIR aralığındaki bazı bantlar arası geçişler dışında, tüm dalga boyu aralığında düşük absorpsiyon sergiler (Brandau ve diğerleri, 2022). Bu bilgilerden yola çıkılarak; tez çalışmasında alüminyum kaplı numunelerin görünür (R_V), yakın kızılötesi (R_{NIR}) solar reflektans (R_S) değerlerinin birbirine çok yakın iken bakır kaplı numunelerin görünür ve solar reflektans değerlerinin yakın kızılötesi reflektans değerlerinden oldukça düşük olması ve bakır kaplamaların reflektans özelliğinin alüminyum kaplamaların gerisinde kalması, metal tozları arasındaki renk ve dolayısıyla absorban davranışı farkı ile ilişkilendirilebilir.

Tanecik boyutu artışına bağlı olarak reflektans değerlerinde görülen değişim alüminyum kaplamalara ait sonuçlarla benzerdir ve o bölümde metalik pigmentler bazında detaylı anlatıldığından burada tekrar irdelenmemiştir. Bakır kaplı numunelerde de artan tanecik boyutuna bağlı olarak reflektans değerleri artma eğilimindedir. Yalnızca 30 ve 40 g/kg konsantrasyon değerlerinde 28 μm bakır (R_{NIR} :%63-64), 42 μm 'a (R_{NIR} :%62-63) kıyasla bir miktar yüksek reflektans değerlerine sahiptir. Çizelge 4.48'de sunulan istatistiksel analiz tablosu incelendiğinde yakın kızıl-ötesi bölgede bu değerlerin SNK test sonucuna bağlı olarak aynı seviyede çıktığı görülmektedir.

Şekil 4.13'teki radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları incelendiğinde de 30 ve 40 g/kg konsantrasyonda 42 µm bakır kaplı numunelerin TF değerlerinin (%17,6-16,8), 28 µm'a (%15,8-15,6) kıyasla biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla en düşük TF ve Q_C değerlerinin; alüminyum kaplamalarda en büyük tanecik boyutu ile elde edilirken, bakırda orta tanecik boyutunda elde edilmiş olmasının, 28 ve 42 µm bakırın maksimum konsantrasyondaki reflektans değerleri farkından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 4.49. Bakır tozu ile kaplanmış kumaşların solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Faktör		T _{UV}	T _V	T _S	R _V	R _S	R _{NIR}	A _S
Konsantrasyon	0	8,37 d	40,09 d	39,78 e	55,64 d	51,24 d	48,44 a	8,97 a
	10	1,75 c	12,74 c	14,41 d	29,33 b	37,37 a	48,81 a	48,52 b
	20	0,90 b	7,53 b	9,08 c	28,73 a	38,58 b	52,21 b	52,35 c
	30	0,31 a	2,93 a	3,95 b	31,65 c	43,83 c	59,65 c	52,22 c
	40	0,24 a	2,34 a	3,22 a	31,99 c	44,42 c	60,57 c	52,36 c
Tanecik boyutu	0	8,37 d	40,09 d	39,78 d	55,64 d	51,24 d	48,44 a	8,97 a
	15	0,76 b	6,27 b	7,41 b	26,82 a	36,52 a	49,17 a	56,07 d
	28	0,57 a	5,00 a	6,25 a	31,47 b	42,95 b	58,19 b	50,80 c
	42	1,07 c	7,88 c	9,33 c	32,99 c	43,68 c	58,58 b	47,21 b
Konsantrasyon * Tanecik boyutu	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	0,00*	

(a), (b), (c), (d) ve (e) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

Çizelge 4.49'da verilen istatistiksel analiz sonuçlarına göre bakır konsantrasyonunun ve tanecik boyutunun kaplamalı numunelerin transmittans, reflektans ve absorbans özellikleri üzerinde 0,05 anlamlılık seviyesinde hem ayrı ayrı hem de birlikte etkisi

olduğu görülmektedir. Bu durumda, Çizelge 3.11’de söz konusu değişkenler için verilen alternatif hipotezler kabul edilmektedir.

4.8. Çok Katlı Kaplamalara Ait Sonuçlar

Hem düşük termal iletkenlik katsayısı hem de düşük radyan ısı geçişi elde etmek adına tez çalışmasında bu bölüme kadar sunulan tüm malzemeler arasından en uygunları seçilerek çok katlı kaplamaya sahip bir kumaş yapısı elde edilmiştir. Bu bağlamda birinci katta hem en düşük iletkenlik katsayısını hem de kendi grubu içinde en düşük radyan ısı geçişi ve geçirilen ısı akısı değerini veren 100-150 µm boyutunda perlit seçilerek denenen en yüksek konsantrasyonda çalışılmıştır.

İkinci katta ise tüm malzemeler içinde en düşük ısı geçiş faktörü ve geçirilen ısı akısı değerini veren 40 µm alüminyum seçilmiş ancak estetik açıdan da son ürünün fazla kalın olmaması adına daha düşük bir kaplama kalınlığında çalışılmıştır. Çizelge 4.50’de çok katlı kaplamalara ait parametreler sunulmuştur.

Çizelge 4.50. Çok katlı kaplama yapılan numunenin katmanlarına ait parametreler

Kat sayısı	Dolgu maddesi	Tanecik boyutu	Konsantrasyon	Kaplama kalınlığı
1. Kat	Perlit	100-150 µm	80 g/kg	0,5 mm
2. Kat	Alüminyum	40 µm	40 g/kg	0,25 mm

4.8.1. Birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık sonuçları

Çok katlı kaplama yapılan numune ve ayrı ayrı katmanlarının birim alan ağırlığı, kalınlık ve aktarılan madde miktarı değerleri Çizelge 4.51’de sunulmuştur. Çok katlı kaplamanın kalınlık değeri tek katlı perlit kaplamaya kıyasla %4,17 oranında, birim alan ağırlığı ve aktarılan madde miktarı değeri ise %12,9 oranında artmıştır.

Çizelge 4.51. Çok katlı kaplama yapılan numunenin ve katmanlarının birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık sonuçları

Numuneler	Birim alan ağırlığı sonuçları (g/m ²)		Aktarılan madde miktarı sonuçları (g/m ²)		Kalınlık sonuçları (mm)	
	Ortalama	SS	Ortalama	SS	Ortalama	SS
R (kör kaplama)	260,20	0,53	91,20	0,53	0,37	0,01
1. Kat (Perlit)	320,60	2,72	151,60	2,72	0,69	0,01
2. Kat (Alüminyum)	250,54	2,13	81,54	2,13	0,38	0,01
Perlit+Alüminyum	361,96	3,68	192,96	3,68	0,72	0,01

Çizelge 4.52’de görülen istatistiksel sonuçlar da göstermektedir ki çok katlı kaplama yapılan numune, tekli katmanlar ve kör kaplamanın birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık değerleri arasındaki farklar beklenildiği şekilde istatistiksel olarak anlamlıdır.

Çizelge 4.52. Çok katlı kaplama yapılan numunenin ve katmanlarının birim alan ağırlığı, aktarılan madde miktarı ve kalınlık verileri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

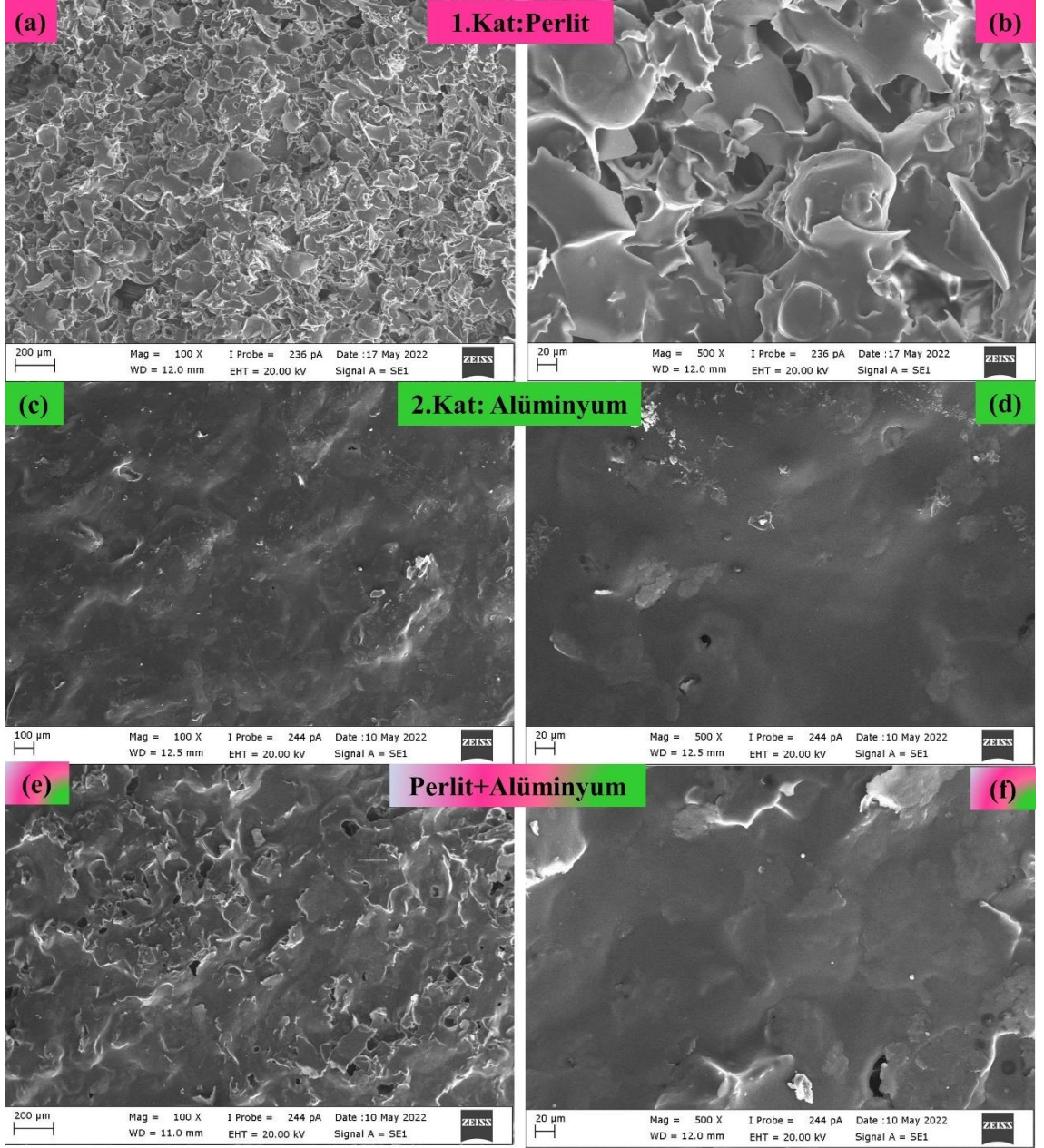
Numune	Birim alan ağırlığı (g/m ²)		Aktarılan madde miktarı (g/m ²)		Kalınlık (mm)	
R (kör kaplama)	0,00*	260,20 b	0,00*	91,20 b	0,00*	0,37 a
1. Kat (Perlit)		320,57 c		151,57 c		0,69 b
2. Kat (Alüminyum)		250,54 a		81,54 a		0,38 a
Perlit+Alüminyum		361,96 d		192,96 d		0,72 c

(a), (b), (c) ve (d) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

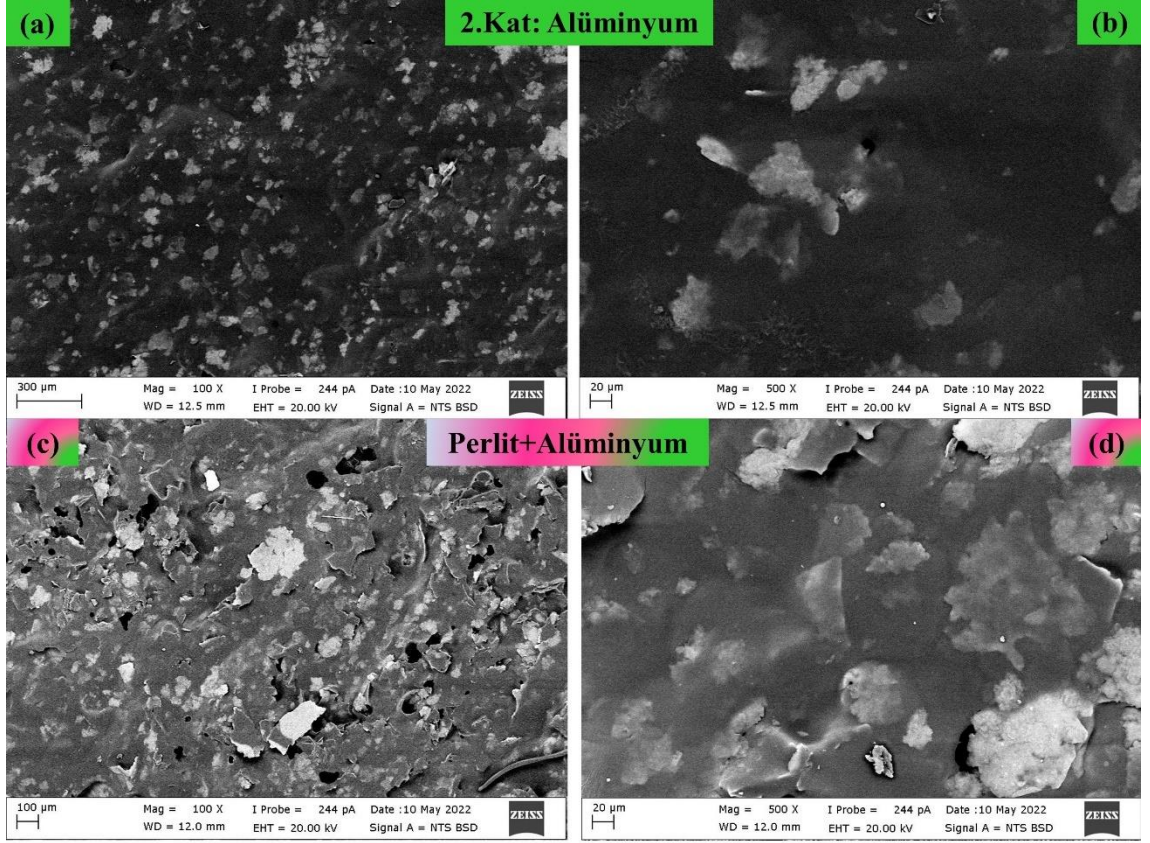
*%5 anlamlılık seviyesi

4.8.2. SEM analizi sonuçları

Çok katlı kaplamaya ve onu oluşturan katmanlara ait tekli kaplamaların SEM analizleri 100x ve 500x büyütme oranlarında, ikincil elektron ve geri saçılan elektron görüntüleri şeklinde Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da toplu olarak verilmiştir. Geri saçılan elektron görüntülerinde alüminyum pigmentler daha fark edilir olsa da ikincil elektron görüntüleri de perlit kaplamalı yüzeyle kıyaslamalı olması adına verilmiştir.

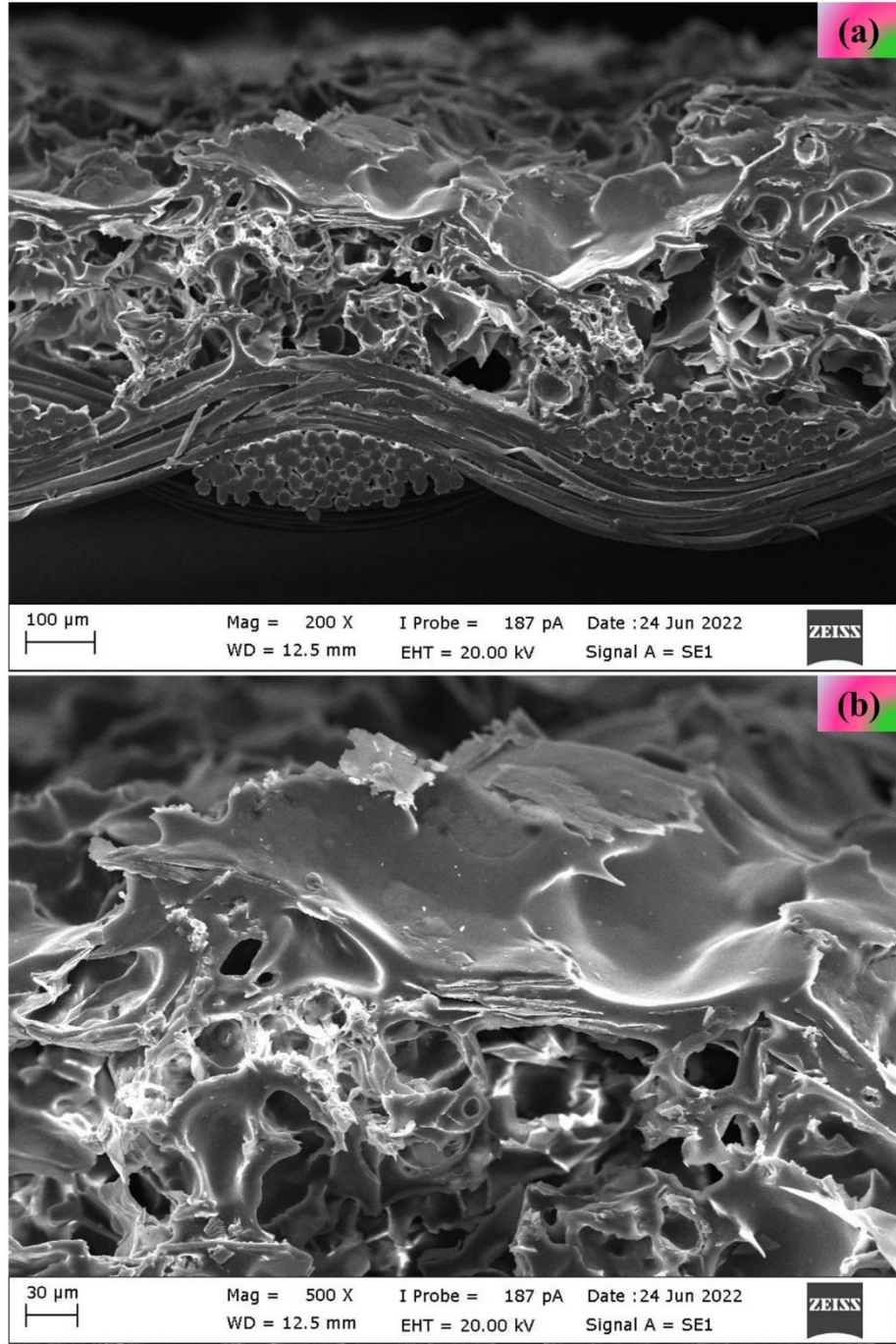


Şekil 4.28. Çok katlı kaplama ve tekli katmanların 100x (a, c, e) ve 500x (b, d, f) büyütme oranında SEM görüntüleri (ikincil elektron).

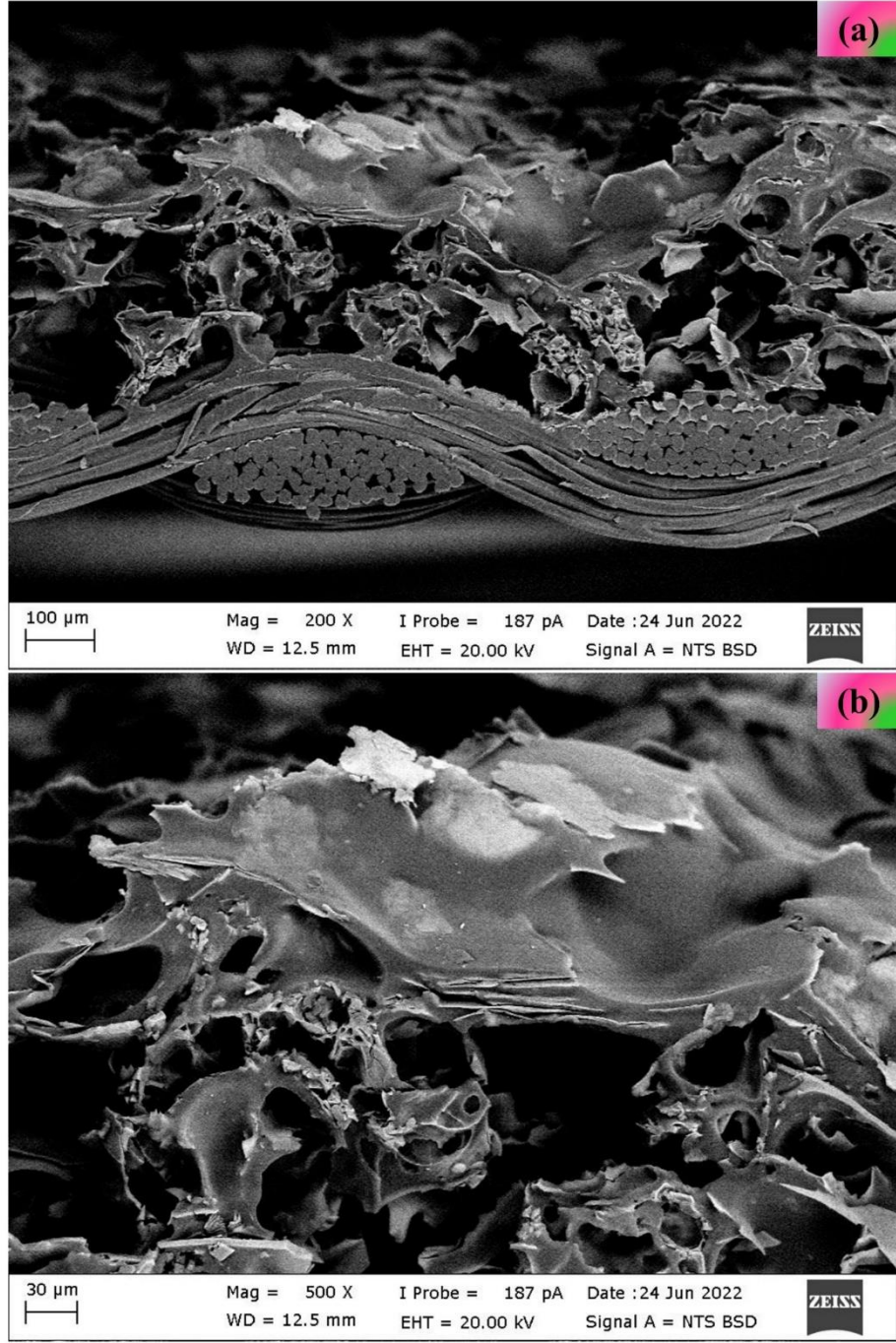


Şekil 4.29. Çok katlı kaplama ve ikinci katı oluşturan alüminyum kaplamanın 100x (a, c) ve 500x (b, d) büyütme oranında SEM görüntüleri (geri saçılmış elektron).

Perlit ve alüminyum katmanlarından oluşan çok katlı kaplamanın, 200x ve 500x büyütme oranlarında hem ikincil elektronlar hem de geri saçılan elektronlarla alınmış enine kesit görüntüleri, sırasıyla Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de verilmiştir. 0,5 mm kalınlığında kaplanan perlit katmanının oluşturduğu gözenekli yapı ve ikinci kat olarak daha ince (0,25 mm) uygulanan metalik kaplamadaki alüminyum tozların plaka/yaprakçık formu, enine kesit görüntülerinden net bir şekilde görülmektedir. Geri saçılan elektronlarla alınan görüntüler ile ikinci kaplama katındaki alüminyum tozları, yapıdaki diğer bileşenlere göre daha kolay fark edilebilir olmuştur.



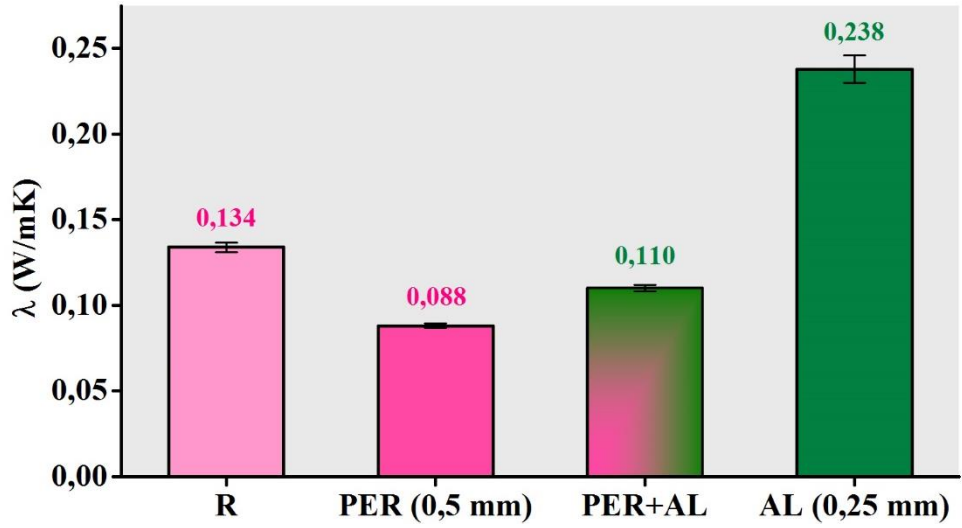
Şekil 4.30. Çok katlı kaplama yapılan numunenin enine kesitinin 200x (a) ve 500x (b) büyütme oranında SEM görüntüleri (ikincil elektron).



Şekil 4.31. Çok katlı kaplama yapılan numunenin enine kesitinin 200x (a) ve 500x (b) büyütme oranında SEM görüntüleri (geri saçılmış elektron).

4.8.3. Termal iletkenlik katsayısı ölçüm sonuçları

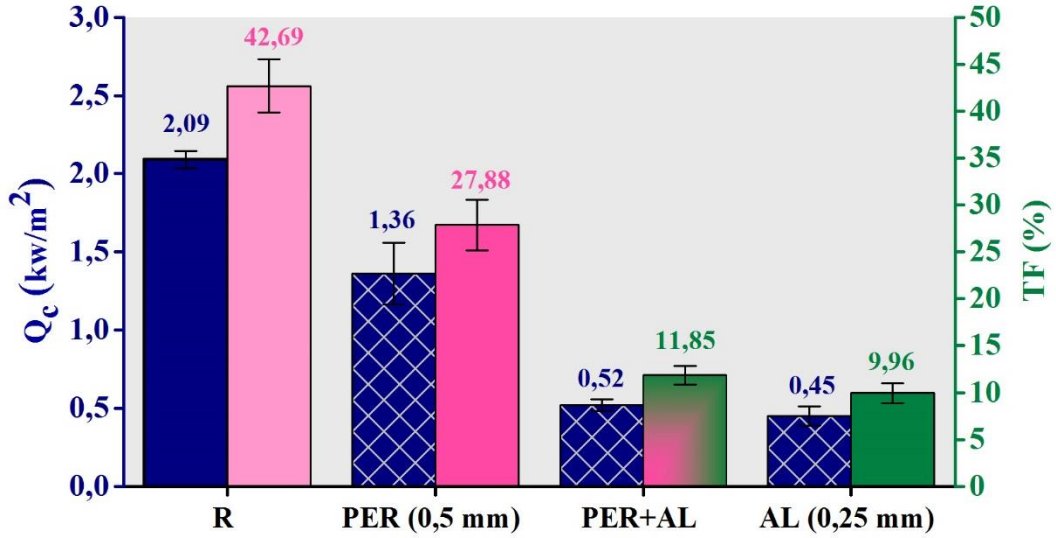
Çok katlı kaplama yapılan kumaşa ait termal iletkenlik katsayısı değeri, tekli katmanları ve kör kaplama ile kıyaslamalı olarak Şekil 4.32’de verilmiştir. Çok katlı kaplamanın iletkenlik katsayısı, kör kaplamaya kıyasla %17,9 oranında azalmıştır. Bu durum birinci kattaki perlitin etkisinden kaynaklıdır. İkinci katta kullanılan 0,25 mm alüminyum kaplama nedeni ile tekli perlit kaplamaya kıyasla iletkenlik katsayısı %25 artmış ancak ikinci kattaki alüminyum kaplamanın değerine kıyasla %53,78 oranında azalmıştır. Sonuç olarak çok katlı numunenin termal iletkenlik değeri, yapıyı oluşturan katmanların arasında bir değer olarak özellikle alüminyum gibi iletken bir katmana rağmen oldukça azalmıştır. Dolayısıyla bu sonuçlara göre tek başına alüminyum kaplamada çok yüksek olan ısı iletim katsayısını alt katmanda perlit kullanmak suretiyle etkili bir şekilde düşürmenin mümkün olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.32. Çok katlı kaplama yapılan numune ve katmanlarının termal iletkenlik katsayısı sonuçları.

4.8.4. Radyan ısı geçişi ölçüm sonuçları

Çok katlı kaplama yapılan numuneye ait ısı geçiş faktörü (TF) ve geçirilen ısı akısı yoğunluğu (Q_c) değerleri, katmanlarını oluşturan tekli kaplamalar ve kör kaplama ile kıyaslamalı olarak Şekil 4.33'te verilmiştir.



Şekil 4.33. Çok katlı kaplama yapılan numune ve katmanlarının radyan ısı geçişi sonuçları.

Çok katlı kaplamanın TF değeri, kör kaplamaya göre %30,84 oranında azalmış, 2,09 kW/m^2 olan Q_c değeri ise 0,52 kW/m^2 'ye düşmüştür. Çok katlı kaplama yapılmış numunenin TF ve Q_c sonuçları (%11,85 ve 0,52 kW/m^2), perlit katmanının kalınlığı daha büyük olmasına karşın ikinci katı oluşturan alüminyum kaplamasına ait sonuçlara (%9,96 ve 0,45 kW/m^2) daha yakındır.

Çok katlı kaplamanın TF değeri perlit katmanına kıyasla %16,03 oranında azalmış, termal iletkenlik katsayısı ölçümlerinde olduğu gibi TF ve Q_c değerleri de her iki katmana ait sonuçların arasında yer almıştır. Bu sonuçlar radyan ısı yalıtımı açısından zemindeki perlit katmanının etkin bir rol oynamadığını göstermektedir.

Çizelge 4.53. Çok katlı kaplama yapılan numune ve katmanlarının termal ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Numune	Q _c (kW/m ²)		TF (%)		λ (W/mK)	
R	0,00*	2,09 c	0,00*	42,69 c	0,00*	0,13 c
1. Kat (Perlit)		1,36 b		27,88 b		0,09 a
2. Kat (Alüminyum)		0,45 a		9,96 a		0,24 d
Perlit+Alüminyum		0,52 a		11,58 a		0,11 b

(a), (b) ve (c) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

Çizelge 4.53 çok katlı kaplama, tekli katmanlar ve kör kaplamanın termal ölçümlerine ait istatistiksel analiz sonuçlarını içermektedir. Değerler arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı olmakla birlikte perlit ve alüminyum kaplı çok katlı numune ile ikinci katı oluşturan 0,25 mm alüminyum kaplı numunenin TF ve Q_c değerleri, SNK test sonuçlarına göre aynı seviyededir.

4.8.5. Solar ölçüm sonuçları

Çok katlı kaplama yapılan numuneye ait transmittans, reflektans ve absorptans değerleri tekli katmanları ve kör kaplama ile kıyaslamalı olarak Çizelge 4.54'te verilmiştir. Kör kaplamaya kıyasla çok katlı kaplamanın T_{UV}, T_V ve T_S değerleri sırasıyla %8,04, %36,84 ve %36,55 oranında azalmış, R_V, R_S ve R_{NIR} değerleri ise %2,96, %7,85 ve %12,07 oranında artmıştır. A_S değeri de %28,71 oranında artış göstermiştir.

İkinci kaplama katmanında kullanılan 0,25 mm alüminyum kaplı numunede %67,83 olan R_{NIR} değerinin, çok katlı numunede %60,51'e düştüğü görülmüştür. Alt katman perlit nedeniyle pürüzlü (engebeli) olduğundan, üst kattaki alüminyum parçacıklarının oryantasyonunun bozulmuş olabileceği düşünülmektedir. Zemindeki porozite, plaka formunda alüminyum yapıların arasındaki boşlukların artmasına ve düzensizliğe yol açmış olabileceğinden, buna bağlı olarak yakın kızıl-ötesi bölgede yansıtma özelliği beklenen seviyeden bir miktar daha fazla azalmıştır.

Çizelge 4.54. Çok katlı kaplama yapılan numune ve katmanlarının solar ölçüm sonuçları

Numune	T _{UV}		T _V		T _S		R _V		R _S		R _{NIR}		A _S	
	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS	Ort.	SS
1.Kat (Perlit)	4,98	0,12	25,21	0,37	24,58	0,33	64,93	0,11	62,59	0,17	62,49	0,20	12,83	0,44
2.Kat (Alüminyum)	0,09	0,01	0,43	0,01	0,44	0,06	66,61	0,61	66,80	0,42	67,83	0,25	32,75	0,37
Perlit+Alüminyum	0,51	0,13	3,25	0,91	3,23	0,89	58,60	0,80	59,09	0,92	60,51	1,02	37,68	0,80
Kör kaplama	8,55	0,33	40,09	1,00	39,78	0,95	55,64	0,62	51,24	0,72	48,44	0,99	8,97	0,78

Literatürde, çok bileşenli kaplama sistemlerinde bileşenlerin uyumu, oranı, kırılma indisi vb. özellik farkları gibi çeşitli parametrelerin numunenin optik özellikleri üzerinde etkili olacağı ifade edilmiştir. Işık, kaplama filmine girdiğinde, kaplama filmi içindeki optik homojensizliğin, ışığın çoklu kırılmasına neden olacağı, bu nedenle kaplama filmi tarafından yansıtılan ışık yoğunluğunun büyük ölçüde zayıflayacağı belirtilmiştir (Yong, Xu, Liu, Xiao ve Wei, 2021). Dolayısıyla, perlit ve alüminyum katmanları olarak farklı iki bileşenden oluşan çok katlı kaplamanın reflektans değerlerinin katmanlarını oluşturan tekli kaplamalara göre azalmış olması sonucu, bu bilgi ile örtüşmektedir.

Çizelge 4.55’teki veriler göstermektedir ki çok katlı kaplama yapılan numune, perlit ve alüminyum katmanları ile kör kaplama numunelerine ait solar sonuçlar arasındaki farklar istatistiki olarak anlamlıdır.

Çizelge 4.55. Çok katlı kaplama yapılan numune ve katmanlarının solar ölçümleri için istatistiksel analiz (ANOVA ve SNK) sonuçları

Numune	T _{UV}	T _V	T _S	R _V	R _S	R _{NIR}	A _S
R	8,37 d	40,09 d	39,78 d	55,64 a	51,24 a	48,44 a	8,97 a
1.Kat (Perlit)	4,98 c	25,21 c	24,58 c	64,93 c	62,59 c	62,49 c	12,83 b
2. Kat (Alüminyum)	0,09 a	0,43 a	0,44 a	66,61 d	66,80 d	67,83 d	32,75 c
Perlit + Alüminyum	0,51 b	3,25 b	3,23 b	58,60 b	59,09 b	60,51 b	37,68 d

(a), (b), (c) ve (d) SNK testine göre istatistiksel farklılıkları göstermektedir.

*%5 anlamlılık seviyesi

5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında, pencerelerden ısı kaybını ve kazanımını azaltarak enerji tasarrufu sağlama amacıyla kaplamalı perdelik kumaşların ısı yalıtımı ve güneş ışınlarını yansıtma özelliklerini geliştirmeye yönelik olarak polyester zemin kumaşı üzerine farklı tanecik boyutuna sahip çeşitli malzeme grupları ile farklı konsantrasyonlarda rakleli (bıçaklı) kaplama metodu kullanılarak kaplamalar gerçekleştirilmiş ve elde edilen test ve analiz sonuçlarına göre çalışılan her bir gruptan kontakt ve radyan ısı yalıtımı sağlamak için uygun dolgu maddesi alternatifleri belirlenmiştir.

Isı iletim katsayıları, titanyum dioksit ve kalsit gibi yaygın olarak kullanılan geleneksel dolgu maddelerine kıyasla oldukça düşük olan perlit, pomza ve selüloz tozu ile 20, 40, 60 ve 80 g/kg; yüksek solar reflektans özellikleri nedeniyle de alüminyum ve bakır tozları ile 10, 20, 30 ve 40 g/kg konsantrasyonlarda çalışılmıştır. Ayrıca, tekstil kaplamacılığında yaygın olarak kullanılan dört farklı kaplama polimeri ile kör kaplamalar (dolgu maddesi kullanmaksızın) yapılarak kaplama işlemlerinde kullanılan polimer türünün radyan yalıtım üzerine etkisi de incelenmiştir. Üretilen kaplamalı kumaşların birim alan ağırlığı, kalınlık ve aktarılan madde miktarı gibi fiziksel özellikleri test edilmiş, yüzey görüntüleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Kaplanmış numunelerin termal iletkenlik katsayıları ve radyan ısı geçişi ölçümleri gerçekleştirilerek, termal yalıtım özellikleri iki farklı prensibe göre değerlendirilmiştir. Ayrıca, 280-2500 nm aralığında alınan transmitans ve reflektans ölçümleri ile solar özellikler de incelenmiştir. Tüm test sonuçlarının etkisi istatistiksel olarak değerlendirilmiş, varyans analizi ve SNK (Student-Newman Keuls) testi uygulanmıştır.

Mikroskobik incelemelerde genel olarak homojen ve sorunsuz kaplama filmlerinin elde edildiği görülmüştür. Ayrıca, ön deneme olarak dört farklı binder ile yapılan denemelerin sonuçlarına göre kaplama polimeri türünün, ısı yalıtım özellikleri üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı ortaya çıkmıştır. Solar özellikler açısından ise elde edilen en önemli fark; poliüretan esaslı polimerin, diğerlerine kıyasla oldukça düşük ultraviyole geçirgenlik değeri vererek UV ışınlarına karşı daha koruyucu etki sağlamasıdır.

Düşük ısı iletim katsayısına sahip malzemeler kendi içinde değerlendirildiğinde; perlitin en düşük termal iletkenlik katsayısı ve radyan test sonucunda da daha düşük ısı geçiş faktörü sonuçları ile kendi grubu içerisinde öne çıktığı görülmüştür. Artan konsantrasyon ile kalsit ve titanyum dioksitin artan termal iletkenlik katsayılarına kıyasla, perlitin gittikçe azalan katsayı değerleri, iletimle ısı transferi baz alındığında perlitin ısı yalıtım amaçlı kaplamalar açısından avantajlı bir dolgu maddesi olacağını ortaya çıkarmaktadır. Yakın kızılötesi bölge başta olmak üzere reflektans değerleri titanyum dioksitin gerisinde kalsa da kalsit kullanılan kaplamalara göre daha yüksektir. Bununla uyumlu olarak radyan ısı geçişi testlerinde titanyum dioksit kadar olmasa da kalsite kıyasla düşük ısı geçiş faktörlerine sahip olarak radyan ısı yalıtımına da daha fazla katkı sağlamıştır. Pomza ve selüloz tozu ile kaplanan kumaşlar ile ısı geçiş faktörü ve termal iletkenlik katsayısı değerlerinde azalma olsa da çalışılan konsantrasyon değerlerinde perlit kadar etkili bir termal yalıtım sağlayamadıkları görülmüştür. Reflektans sonuçları açısından selüloz tozu kaplı numuneler, pomza ve perlit kaplı numunelerin arasında yer almaktadır. Üç malzeme içinde en yüksek görünür, yakın-kızılötesi ve solar reflektans değerleri perlit kaplı numuneler ile elde edilmiştir. Perlit ve selüloz tozu kaplı numunelerin konsantrasyon ile doğru orantılı olarak artan ve en yüksek orana orta tanecik boyutunda ulaşan reflektans değerlerinden farklı olarak, pomza kaplanmış numunelerin reflektans değerlerinin artan dolgu maddesi konsantrasyonu ile azaldığı görülmüştür. Bu durumun, pomza tozlarının perlit ve selüloz tozlarına göre daha sarımtırak olan rengi nedeniyle konsantrasyon artışı ile birlikte gittikçe kaplamaların renk tonunun koyulaşması ve buna paralel olarak perlit ve selüloz tozu kaplı numunelere göre yüksek olan solar absorpsiyon değerlerinin sonucu olabileceği tahmin edilmiştir. Bu üç malzeme için sonuçlar SEM görüntüleri ile desteklenerek incelendiğinde, tanecik boyutunun fazla artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı ve bu durumun da solar yansıtma özelliklerinde geriye gidişe yol açtığı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle yüzey pürüzlülüğünün de solar yansıtma, dolayısıyla radyan ısı yalıtımında göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husus olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Metalik pigmentlerden alüminyum ve bakır kendi içerisinde değerlendirildiğinde; alüminyum kaplamalarda daha yüksek olmakla birlikte artan konsantrasyona bağlı olarak termal iletkenlik katsayıları belirgin bir şekilde artış göstermiştir. Her iki metal tozunda

da artan konsantrasyon ile birlikte tüm reflektans değerleri artış göstermiştir. Literatürdeki bazı çalışmalarla da uyumlu olarak, metal tozunun tanecik boyutu arttıkça solar yansıtma ve güneşe karşı koruma etkisinin arttığı sonucu ortaya konmuştur. Hem yakın kızılötesi bölge hem de tüm UV-NIR spektrumunda alüminyum, bakıra kıyasla daha yüksek reflektans değerleri vermiştir. İlave olarak, alüminyum kaplanmış kumaşların görünür (R_V), yakın kızılötesi (R_{NIR}) ve solar reflektans (R_S) değerleri birbirine oldukça yakın iken bakır kaplamaların görünür ve solar reflektans değerleri, yakın kızılötesi reflektans değerlerinden oldukça düşüktür. Gümüşü renge sahip metallerin diğerlerine kıyasla üzerine gelen görünür ışığı çok yüksek oranda yansıttığı bilgisinden de yola çıkılarak söz konusu sonuçların, metalik tozların renk ve dolayısıyla absorbans farkından kaynaklanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Radyan ısı geçişi ölçümlerinde ise alüminyum birinci olmak üzere, her iki metal tozunun da tezde kullanılan tüm malzemeler içinde en düşük ısı geçiş faktörlerine sahip olarak radyan ısı yalıtımı açısından etkili oldukları görülmüştür.

Değerlendirmeler sonucunda, iyi ısı yalıtımı ve solar yansıtma özelliği nedeniyle çalışılan iki grup malzeme içerisinde en başarılı olan malzeme türleri ile kullanım oranları seçilerek iki katlı kaplamalar da yapılmıştır. Birinci katta en yüksek tanecik boyutunda perlit, ikinci katta yine en büyük boyuta sahip alüminyum tozları kullanılarak çok katlı kaplamalar elde edilmiştir. Üretilen çok katmanlı yapı termal iletim katsayısı değerini; kör kaplamaya kıyasla %18, ikinci katmanında kullanılan alüminyum katına kıyasla ise %54 oranında azaltmış olup, bu sonuçlarda birinci kattaki perlitin özelliği ön plana çıkmıştır. Radyan ısı geçişi testinde ise çok katlı numune, ısı geçiş faktörünü kör kaplamaya kıyasla %31, perlitten oluşan birinci katmanına kıyasla ise %16 oranında azaltmıştır. Böylece, ısı yalıtım özelliği yüksek bir malzeme ile solar yansıtma özelliği yüksek bir malzemenin kombine edilmesiyle aynı üründe iletim yoluyla meydana gelen ısı kayıplarına ve ışıma yoluyla meydana gelen ısı kazanımlarına karşı birlikte koruma (yalıtım) sağlanabileceği ortaya konulmuştur.

Elde edilen sonuçlar ile tekstil kaplamacılığında alternatif olabilecek farklı dolgu maddelerinin termal yalıtım ve solar reflektans davranışları literatüre kazandırılmış ve son ürüne dair beklentileri karşılamak adına, farklı özellikleri ile farklı prensiplerde ısı

yalıtımına katkılar sağlayan malzemelerin kombine kullanımının avantajlı olacağı ortaya konmuştur. Tez çalışmasında ulaşılan sonuçların ışığında, sonraki çalışmalarda kullanılan dolgu maddesi konsantrasyonunun yükseltilmesi, renk etkisinin daha detaylı çalışılması ve kalandırlama ile yüzey pürüzlülüğünün azaltılması üzerine araştırmaların yapılması faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

Akıncı, H. (2007). *Günümüzde uygulanan ısı yalıtım malzemeleri, özellikleri, uygulama teknikleri ve fiyat analizleri* (Yüksek lisans tezi) <https://acikerisim.sakarya.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12619/81269/T02792.pdf?sequence=1&isAllowed=y> veri tabanından erişildi.

Akovali, G. (2012). *Advances in polymer coated textiles*. Yer: Smithers Rapra.

Al-Homoud, M. S. (2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and environment*, 40(3), 353-366. Doi: 10.1016/j.buildenv.2004.05.013

Ali, A., Baheti, V., Militky, J., Khan, Z., Tunakova, V. ve Naeem, S. (2018). Copper coated multifunctional cotton fabrics. *Journal of Industrial Textiles*, 48(2), 448-464. Doi: 10.1177/1528083717732076

Aluminum Pigments for Powder Coatings (t.y.). Erişim Adresi: <https://docplayer.net/20680499-Aluminum-pigments-for-powder-coatings.html>

Atmosphere (t.y.). Erişim Adresi: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/atmosphere/#:~:text=Earth's%20atmosphere%20is%20composed%20of,up%20the%20remaining%200.1%20percent.>

ANT Teknik (t.y.). Erişim Adresi: <https://www.antteknik.com/tr>

ATC-MX01/01P (t.y.). Erişim Adresi: <https://www.atacmakina.com.tr/urun/laboratuvar-tipi-mikser-atc-mx01-01p/>

Ayçam, İ. ve Utkuğu, G. (1999, Kasım). *Farklı malzemelerle üretilen pencere tiplerinin ısı performanslarının incelenmesi ve enerji etkin pencere seçimi*, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, İzmir.

Bala, K., Pradhan, P. R., Saxena, N. S. ve Saksena, M. P. (1989). Effective thermal conductivity of copper powders. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 22(8), 1068-1072.

Bansal, N. K., Garg, S. N. ve Kothari, S. (1992). Effect of exterior surface colour on the thermal performance of buildings. *Building and Environment*, 27(1), 31-37. Doi: 10.1016/0360-1323(92)90005-A

Bao, Y., Kang, Q. L., Ma, J. Z. ve Liu, C. (2017). Monodisperse hollow TiO₂ spheres for thermal insulation materials: Template-free synthesis, characterization and properties. *Ceramics International*, 43(12), 8596-8602. Doi: 10.1016/j.ceramint.2017.03.155

Benk, A. ve Coban, A. (2012). Possibility of producing lightweight, heat insulating bricks from pumice and H₃PO₄-or NH₄NO₃-hardened molasses binder. *Ceramics International*, 38(3), 2283-2293. Doi: 10.1016/j.ceramint.2011.10.080

- Berg, J. C. (1993). *Wettability*. Yer: Marcel Dekker, New York.
- Bergado, S. (1994). Working with titanium dioxide today. I: Pigment properties. *Plastics Compounding*, 17(7), 32-38.
- Billah, S.M.R. (2019). *Textile coatings*. M. A. J. Mazumder, H. Sheardown ve A. Al-Ahmed (Ed.), Functional polymers (s.825-882) içinde. Doi: 10.1007/978-3-319-95987-0_30
- Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri (2015). Erişim adresi: <https://docplayer.biz.tr/19979892-Binalarda-isi-yalitimi-ve-isi-yalitim-malzemeleri.html>
- Bluestein, C., Loewrigkeit, P., Mcgimpsey, T. T. ve Van dyk, K. A. (1975). Factors influencing latex tie-coat adhesion in urethane skin coat to fabric bonding. *Journal of Coated Fabrics*, 4(3), 158-165. Doi: 10.1177/152808377500400304
- Bulut, Y. ve Sular, V. (2008). Kaplama veya laminasyon teknikleri ile üretilen kumaşların genel özellikleri ve performans testleri. *Tekstil ve Mühendis*, 15(71), 5-16.
- Brandau, B., Da Silva, A., Wilsnack, C., Brueckner, F. ve Kaplan, A. F. (2022). Absorbance study of powder conditions for laser additive manufacturing. *Materials & Design*, 216, 110591. Doi: [10.1016/j.matdes.2022.110591](https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110591)
- Bronze Powders (t.y.). Erişim Adresi: <http://www.eckart.net/markets/coatings/powder-coatings/resistances/standard/non-leafing/standartr-resist.html>
- Bwayo, E. ve Obwoya, S. K. (2014). Thermal conductivity of insulation brick developed from sawdust and selected Uganda clays. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(9), 282-285.
- Calcite (2012). Erişim Adresi: <https://www.crystran.co.uk/optical-materials/calcite-caco3>
- Cao, X. Q., Vaßen, R. ve Stöver, D. (2004). Ceramic materials for thermal barrier coatings. *Journal of the European Ceramic Society*, 24(1), 1-10. Doi: 10.1016/S0955-2219(03)00129-8
- Celik, S., Family, R. ve Menguc, M. P. (2016). Analysis of perlite and pumice based building insulation materials. *Journal of Building Engineering*, 6, 105-111. Doi: 10.1016/j.jobe.2016.02.015
- Chen, H., Ginzburg, V. V., Yang, J., Yang, Y., Liu, W., Huang, Y., Du, L. ve Chen, B. (2016). Thermal conductivity of polymer-based composites: Fundamentals and applications. *Progress in Polymer Science*, 59, 41-85. Doi: 10.1016/j.progpolymsci.2016.03.001

Cheng, M. Ji, J. ve Chang, Y. (2009). Study of solar heat-reflective pigments in cool roof coatings. *Journal of Beijing University of Chemical Technology (Natural Science Edition)*, 36(1), 50-54.

Cole, P. J. ve Macosko, C. W. (2000). Polymer-polymer adhesion in melt-processed layered structures. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 16(3), 213-222. Doi: [10.1106/6N2B-V63L-32AW-4JYD](https://doi.org/10.1106/6N2B-V63L-32AW-4JYD)

Conway, R. (2016). *Coating of textiles*. A. R. Horrocks ve S. C. Anand (Ed.), Handbook of Technical Textiles (s. 211-229). Yer: Woodhead Publishing.

Cuce, E., Cuce, P. M., Wood, C. J. ve Riffat, S. B. (2014). Toward aerogel based thermal superinsulation in buildings: a comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 273-299. Doi: 10.1016/j.rser.2014.03.017

Cui, W., Du, F., Zhao, J., Zhang, W., Yang, Y., Xie, X. ve Mai, Y. W. (2011). Improving thermal conductivity while retaining high electrical resistivity of epoxy composites by incorporating silica-coated multi-walled carbon nanotubes. *Carbon*, 49(2), 495-500. Doi: 10.1016/j.carbon.2010.09.047

Çengel, Y. A. ve Ghajar, A. J. (2015). *Isı ve kütle transferi esaslar ve uygulamalar*. Yer: Palme Yayıncılık, Ankara.

Dahlquist, C. A. (2001). *The theory of adhesion*. D. Satas ve A. A. Tracton (Ed.), Coatings Technology Handbook (s. 47-56). Yer: Marcel Dekker, New York.

Dalgaların Fiziği (2019). Erişim Adresi: <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/dalgalarin-fizigi>

Dartman, T., ve Shishoo, R. (1993). Studies of adhesion mechanisms between PVC coating and different textile substrates. *Journal of Coated Fabrics*, 22(4), 317-335. Doi: [10.1177/152808379302200409](https://doi.org/10.1177/152808379302200409)

de Oliveira, A. G., Jandorno Jr, J. C., da Rocha, E. B. D., de Sousa, A. M. F. ve da Silva, A. L. N. (2019). Evaluation of expanded perlite behavior in PS/Perlite composites. *Applied Clay Science*, 181, 105223. Doi: 10.1016/j.clay.2019.105223

Devlet Planlama Teşkilatı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu. (2001). *Endüstriyel hammaddeler alt komisyonu genel endüstri mineralleri I (Asbest-grafit-Kalsit-Fluorit-Titanyum)* (Teknik rapor) https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/08_Madencilik_SanayiHammaddeleri_AsbetGrafitKalsitFluorit.pdf web sayfasından erişildi.

Donaldson, I. W. (2014). High thermal conductivity aluminum powder metallurgy materials. *Materials Science Forum*, 783, 120-125. Doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.783-786.120

Dussan, E. B. (1979). Spreading of liquids on solid surfaces: Static and dynamic contact lines. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 11(1), 371-400.

Dwivedi, C., Bamola, P., Singh, B. ve Sharma, H. (2020). *Infrared radiation and materials interaction: Active, passive, transparent, and opaque coatings*. G. K. Dalapati ve M. Sharma (Ed.), *Energy Saving Coating Materials* (s. 33-56) içinde. Yer: Elsevier. Doi: 10.1016/B978-0-12-822103-7.00002-9

Electric & Magnetic Fields (t.y.) Erişim Adresi: <https://www.niehs.nih.gov/health/topics/agents/emf/index.cfm>

Electromagnetic Spectrum (2019). Erişim Adresi: <https://www.britannica.com/science/electromagnetic-spectrum>

Electromagnetics Waves (2015). Erişim Adresi: <https://ncert.nic.in/ncerts/l/leph108.pdf>

El-Hady, R. A. M. A., ve El-Baky, R. A. A. A. (2011). Enhancing the functional properties of sportswear fabric based carbon fiber. *Asian Journal Textile*, 1(1), 14-26. Doi:10.3923/ajt.2011.14.26

Esen, M., İlhan, İ., Karaaslan, M., ve Esen, R. (2020). Investigation of electromagnetic and ultraviolet properties of nano-metal-coated textile surfaces. *Applied Nanoscience*, 10(2), 551-561. Doi:[10.1007/s13204-019-01122-1](https://doi.org/10.1007/s13204-019-01122-1)

Fang, V., Kennedy, J. V., Futter, J. ve Manning, J. (2013). A review of near infrared reflectance properties of metal oxide nanostructures. *GNS Science*. Erişim Adresi: <https://www.gns.cri.nz/static/pubs/2013/SR%202013-039.pdf>

Farboodmanesh, S., Chen, J., Mean, J. L., White, K. D., Yesilalan, H. E., Laoulache, R. Ve Warner, S. B. (2005). Effect of coating thickness and penetration on shear behavior of coating fabric. *Journal of Elastomers and Plastics*, 37(3), 197-227. Doi: 10.1177/0095244305047987

Ferguson, R. (2005). Advances in aluminum pigment technology to meet the demands of the coatings industry. *Asia Pacific Coatings Journal*, 12, 34-36.

Fung, W. (2002). *Coated and laminated textiles (Vol. 23)*. Yer: Woodhead Publishing.

Gao, Q., Wu, X., Xia, Z. ve Fan, Y. (2017). Coating mechanism and near-infrared reflectance property of hollow fly ash bead/TiO₂ composite pigment. *Powder Technology*, 305, 433-439. Doi: 10.1016/j.powtec.2016.10.037

GK40 RKL (t.y.) Erişim Adresi: <https://www.atacmakina.com.tr/urun/laboratuvar-tipi-kaplama-ve-kurutucu-gk-40rkl/>

Glawe, A., Reuscher, R., Koppe, R. ve Kolbusch, T. (2003). Hot melt application for functional compounds on technical textiles. *Journal of Industrial Textiles*, 33(2), 85–92. Doi: [10.1177/152808303038587](https://doi.org/10.1177/152808303038587)

Gong, C., Duan, Y., Tian, J., Wu, Z. ve Zhang, Z. (2008). Preparation of fine Ni particles and their shielding effectiveness for electromagnetic interference. *Journal of Applied Polymer Science*, 110(1), 569-577. Doi: 10.1002/app.28654

Goossens, F. A. (2001). *Rotary screen coating*. D. Satas ve A. A. Tracton (Ed.), Coatings Technology Handbook (s.179-183) içinde. Yer: Marcel Dekker, New York.

Govaert, F., ve Vanneste, M. (2014). Preparation and application of conductive textile coatings filled with honeycomb structured carbon nanotubes. *Journal of Nanomaterials*, 2014, 651265. Doi: 10.1155/2014/651265

Granqvist, C. G. ve Hultåker, A. (2002). Transparent and conducting ITO films: new developments and applications. *Thin solid films*, 411(1), 1-5. Doi: 10.1016/S0040-6090(02)00163-3

Grant, R. R. (1978). Coating techniques for the manufacture of continuous web products. *Journal of Coated Fabrics*, 8(2), 171-182. Doi: 10.1177/152808377800800205

Greer, R. ve Stelling, P. (1994). Application equipment for radiation curable coatings. *Journal of Coated Fabrics*, 24(1), 40-50. Doi: [10.1177/152808379402400104](https://doi.org/10.1177/152808379402400104)

Gunde, M. K. ve Kunaver, M. (2003). Infrared reflection-absorption spectra of metal-effect coatings. *Applied Spectroscopy*, 57(10), 1266-1272.

Gündüz, L. (2001, Ekim). *Isı yalıtım agregası olarak pomzanın kullanımı*. 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.

Gündüz, L. ve Uğur, İ. (2005). The effects of different fine and coarse pumice aggregate/cement ratios on the structural concrete properties without using any admixtures. *Cement and Concrete Research*, 35(9), 1859-1864. Doi: 10.1016/j.cemconres.2004.08.003

Güneş Enerjisi: Teori ve Uygulama (2016). Erişim Adresi: <https://enerji.mmo.org.tr/wp-content/uploads/2021/05/G%C3%9CNE%C5%9E-ENERJ%C4%B0S%C4%B0-TEOR%C4%B0-VE-UYGULAMA-Murat-Durak.pdf>

Güneş Spektrumu (t.y.) Erişim Adresi: <https://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/ozonuv/gunesspectrumu.pdf>

Gürsoy, M. ve Karaman, M. (2016). Hydrophobic coating of expanded perlite particles by plasma polymerization. *Chemical Engineering Journal*, 284, 343-350. Doi: 10.1016/j.cej.2015.09.007

Hallenstvet, M., Mårdalen, J., Bolm, H., Rekowski, V., Tanem, B. S. ve Lein, J. E. (2006). Heat reflective coatings of aluminium. Erişim Adresi: https://www.researchgate.net/profile/Jostein-Mardalen-2/publication/242776423_HEAT_REFLECTIVE_COATINGS_OF_ALUMINIUM/links/0c9605368c3ac8c987000000/HEAT-REFLECTIVE-COATINGS-OF-ALUMINIUM.pdf

Heller K. B. ve Pringle C. (2001). Economic impact analysis (EIA) for the fabric coatings NESHAP-Industry Profile (Teknik rapor No. 7647.002.137). Research Triangle Institute, https://www3.epa.gov/ttnecas1/regdata/IPs/Fabric%20Coatings_IP.pdf web sayfasından erişildi.

Hens, H. L. S. C., Karagiozis, A. N., Kuenzel, H. M. ve TenWolde, A. (2001). *Thermal and moisture control in insulated assemblies-fundamentals*. J. Baird (Ed.), ASHRAE Handbook (s. 24-39) içinde. Erişim adresi: https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/ME550/1/material_docente/bajar?id_material=165391

Hewson, R. W., Kapur, N. ve Gaskell, P. H. (2006). A theoretical and experimental investigation of tri-heilcal gravure roll coating. *Chemical Engineering Science*, 61(16), 5487–5499. Doi: 10.1016/j.ces.2006.04.021

Horrocks, A. R. ve Anand S. C. (2002). *Teknik Tekstiller El Kitabı*, Yer: Türk Tekstil Vakfı.

Hossain, K. M. A. ve Lachemi, M. (2005). Thermal conductivity and acoustic performance of volcanic pumice based composites. *Materials Science Forum*, 480, 611-616. Doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.480-481.611

Infrared Radiation (2020). Erişim adresi: <https://www.britannica.com/science/infrared-radiation>

Işık Tayfı (2015). Erişim Adresi: <https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/isik-tayfi-nedir>

Jabbari, M., Åkesson, D., Skrifvars, M., ve Taherzadeh, M. J. (2015). Novel lightweight and highly thermally insulative silica aerogel-doped poly (vinyl chloride)-coated fabric composite. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 34(19), 1581-1592. Doi: 10.1177/0731684415578306

Jagadeshvaran, P. L., Panwar, K., Ramakrishnan, I. ve Bose, S. (2021). Smart textiles coated with functional particles derived from sustainable sources that can block both UV and EM. *Progress in Organic Coatings*, 159, 106404. Doi: 10.1016/j.porgcoat.2021.106404

Jeevanandam, P., Mulukutla, R. S., Phillips, M., Chaudhuri, S., Erickson, L. E. ve Klabunde, K. J. (2007). Near infrared reflectance properties of metal oxide nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry C*, 111(5), 1912-1918. Doi: 10.1021/jp066363o

Jiang, S., Xu, J., Miao, D., Peng, L., Shang, S., ve Zhu, P. (2017). Water-repellency, ultraviolet protection and infrared emissivity properties of AZO film on polyester fabric. *Ceramics International*, 43(2), 2424-2430. Doi: 10.1016/j.ceramint.2016.11.032

Joshi, M. ve Butola, B. S. (2013). *Application technologies for coating, lamination and finishing of technical textiles*. M. L. Gulrajani (Ed.), Advances in the dyeing and finishing of technical textiles (s. 355-411) içinde. Doi: [10.1533/9780857097613.2.355](https://doi.org/10.1533/9780857097613.2.355)

Kaynakli, O. (2012). A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 415-425. Doi: 10.1016/j.rser.2011.08.006

Kılıç, F. Ç. (2015). Güneş enerjisi, Türkiye'deki son durumu ve üretim teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 56(671), 28-40.

Kılıç, M. ve Yiğit, A. (2008). *Isı transferi*. Yer: Alfa Yayınevi, Bursa.

Kilincarslan, Ş., Davraz, M. ve Akça, M. (2018). The effect of pumice as aggregate on the mechanical and thermal properties of foam concrete. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(11), 1-6. Doi: 10.1007/s12517-018-3627-y

Kistler, S. F. ve Schweizer, P. M. (1997). Coating science and technology: an overview. Kistler, S. F. ve Schweizer, P. M. (Ed.), *Liquid Film Coating* (s.3-15) içinde. Doi: 10.1007/978-94-011-5342-3_1

Korpela, A. ve Orelma, H. (2020). Manufacture of fine cellulose powder from chemically crosslinked kraft pulp sheets using dry milling. *Powder Technology*, 361, 642-650. Doi: 10.1016/j.powtec.2019.11.064

Koukouzas, N. K., Dunham, A. C. ve Scott, P. W. (2000). Suitability of Greek perlite for industrial applications, *Applied Earth Science*, 109(2), 105-111. Doi: 10.1179/aes.2000.109.2.105

Köse, H., Pamukçu, H., Yalçın, N. ve Seçer, T. (1997, Ekim). *Pomza ve yapı malzemesi olarak kullanım olanakları*. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.

Labomar (t.y.). Erişim Adresi: <https://www.labomaronline.com/brookfield-viskozimetre-rvt-viskozimetreler-urun338.html>

Licari, J. J. (2003). *Coating materials for electronic applications: polymers, processes, reliability, testing*. Yer: William Andrew Publishing, Norwich, New York.

Lin, D. G. ve Vorobieva, E. V. (2001). On oxidation and adhesion of copper-filled PE. *Journal of Applied Polymer Science*, 80(11), 2047-2052. Doi: 10.1002/app.1303

- Lin, J. H., Lin, Z. I., Pan, Y. J., Hsieh, C. T., Lee, M. C. ve Lou, C. W. (2016). Manufacturing techniques and property evaluations of conductive composite yarns coated with polypropylene and multi-walled carbon nanotubes. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 84, 354-363. Doi: 10.1016/j.compositesa.2016.02.004
- Liu, W., Du, T., Ru, Q., Zuo, S., Yang, X., Yao, C. ve Kong, Y. (2018). Facile synthesis and characterization of 2D kaolin/CoAl₂O₄: a novel inorganic pigment with high near-infrared reflectance for thermal insulation. *Applied Clay Science*, 153, 239-245. Doi: 10.1016/j.clay.2017.12.030
- Lugolole, R. ve Obwoya, S. K. (2015). The effect of thickness of aluminium films on optical reflectance. *Journal of Ceramics*, 2015, 213635. Doi: 10.1155/2015/213635
- Lv, J., Kong, X., Zhu, C., Zhang, J., ve Feng, J. (2020). Robust, infrared-reflective, superhydrophobic and breathable coatings on polyester fabrics. *Progress in Organic Coatings*, 147, 105786. Doi: 10.1016/j.porgcoat.2020.105786Kalsit. (t.y). Erişim Adresi: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kalsit>
- Lv, Q. R., Mao, Q. J., Wang, Y. L., Wang, Z. M. ve Cui, S. P. (2015). Energy saving property of heat-reflective coatings on temporary buildings. *Materials Science Forum*, 814, 519-523. Doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.814.519
- MacLeod, D. M. (2001). *Wire-wound rod coating*. D. Satas ve A. A. Tracton (Ed.), *Coatings Technology Handbook* (s.129-137) içinde.Yer: Marcel Dekker, New York.
- Mahmoudifard, M. ve Safi, M. (2012). Novel study of carbon nanotubes as UV absorbers for the modification of cotton fabric. *Journal of the Textile Institute*, 103(8), 893-899. Doi: 10.1080/00405000.2011.622461
- Mamish, A. L. (1990). Co-extrusion coating of woven fabrics. *Journal of Coated Fabrics*, 20(2), 108-125. Doi: 10.1177/152808379002000206
- Manasoglu, G., Celen, R., Kanik, M. ve Ulcay, Y. (2019). Electrical resistivity and thermal conductivity properties of graphene-coated woven fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(40), 48024. Doi: 10.1002/app.48024
- Meirowitz, R. E. (2016). *Coating processes and techniques for smart textiles*. J. Hu (Ed.), *Active Coatings for Smart Textiles* (s. 159-177). Doi: 10.1016/B978-0-08-100263-6.00008-3
- Meisinger, A. C. (1979). *Perlite*. Yer: Bureau of Mines, US Department of the Interior.
- Metallic Pigments-The Science of Optics (t.y.). Erişim Adresi: https://www.spmorell.com/newsletters/metallic_pigments/metallic_pigments.html
- Metallic Ink Pigment Guide (t.y.). Erişim Adresi: <https://www.eckart.net/cn/en/LP-Metallic-Ink-Pigment-Guide>

Metallic Pigments- The Science of Optics (t.y.). Erişim Adresi: https://spmorell.com/newsletters/metallic_pigments/metallic_pigments.html

Mewes, H. (1989). Adhesion and tear resistance of coated fabrics from polyester and nylon. *Journal of Coated Fabrics*, 19(2), 112-128. Doi: 10.1177/152808378901900205

Miao, D., Jiang, S., Liu, J., Ning, X., Shang, S., ve Xu, J. (2017). Fabrication of copper and titanium coated textiles for sunlight management. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 28(13), 9852-9858. Doi: 10.1007/s10854-017-6739-3

Miao, D., Li, A., Jiang, S., ve Shang, S. (2015). Fabrication of Ag and AZO/Ag/AZO ceramic films on cotton fabrics for solar control. *Ceramics International*, 41(5), 6312-6317. Doi: 10.1016/j.ceramint.2015.01.057

Moghe, S., Acharya, A. D., Panda, R., Shrivastava, S. B., Gangrade, M., Shripathi, T. ve Ganesan, V. (2012). Effect of copper doping on the change in the optical absorption behaviour in NiO thin films. *Renewable Energy*, 46, 43-48. Doi: 10.1016/j.renene.2012.02.028

Molina, R., Esquena, J. ve Erra, P. (2010). Interfacial processes in textile materials: relevance to adhesion. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 24(1), 7-33. Doi: 10.1163/016942409X12538865055917

Murphy, G. M. (1999). Sunblocks: mechanisms of action. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*, 15(1), 34-36. Doi: 10.1111/j.1600-0781.1999.tb00051.x

Mustard, J. F. ve Hays, J. E. (1997). Effects of hyperfine particles on reflectance spectra from 0.3 to 25 μm . *Icarus*, 125(1), 145-163. Doi: 10.1006/icar.1996.5583

Myers, T. L., Brauer, C. S., Su, Y. F., Blake, T. A., Tonkyn, R. G., Ertel, A. B., Johnson, T. J. ve Richardson, R. L. (2015). Quantitative reflectance spectra of solid powders as a function of particle size. *Applied Optics*, 54(15), 4863-4875. Doi: 10.1364/AO.54.004863

Onar, N., Aksit, A. C., Sen, Y., ve Mutlu, M. (2011). Antimicrobial, UV-protective and self-cleaning properties of cotton fabrics coated by dip-coating and solvothermal coating methods. *Fibers and Polymers*, 12(4), 461-470. Doi: 10.1007/s12221-011-0461-1

Osorio, M. F., Salazar, A., Prieto, F., Boulanger, P. ve Figueroa, P. (2012). Three-dimensional digitization of highly reflective and transparent objects using multi-wavelength range sensing. *Machine Vision and Applications*, 23(4), 761-772. Doi: 10.1007/s00138-010-0308-6

Padday, J. F. (1978). *Wetting, spreading and adhesion*. Yer: Londra, Academic Press.

Pakdel, E., Naebe, M., Kashi, S., Cai, Z., Xie, W., Yuen, A. C. Y., Montazer, M., Sun, L. ve Wang, X. (2020). Functional cotton fabric using hollow glass microspheres: Focus on thermal insulation, flame retardancy, UV-protection and acoustic performance. *Progress in Organic Coatings*, 141, 105553. Doi: 10.1016/j.porgcoat.2020.105553

Pan, Y. (2019). Research progress and application status of thermal insulation coatings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 295(3), 032048. Doi: 10.1088/1755-1315/295/3/032048

Papadopoulos, A. M. (2005). State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments. *Energy and Buildings*, 37(1), 77-86. Doi: 10.1016/j.enbuild.2004.05.006

Peng, K., ve Yang, H. M. (2013). Preparation of aerogel-modified expanded perlite and its application in heat insulation coating. *Advanced Materials Research* 668, 360-364. Doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.668.360

Peng, L., Jiang, S., Guo, R., Xu, J., Li, X., Miao, D., Wang, Y. ve Shang, S. (2018). IR protection property and color performance of TiO₂/Cu/TiO₂ coated polyester fabrics. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(19), 16188-16198. Doi: 10.1007/s10854-018-9708-6

Perlit (t.y.). Erişim Adresi: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/perlit>

Pomza (t.y.). Erişim Adresi: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/pomza>

Potočić Matković, V. M., Čubrić, I. S., ve Skenderi, Z. (2014). Thermal resistance of polyurethane-coated knitted fabrics before and after weathering. *Textile Research Journal*, 84(19), 2015-2025. Doi: 10.1177/0040517514537368

Qi, Y., Xiang, B. Ve Zhang, J. (2017). Effect of titanium dioxide (TiO₂) with different crystal forms and surface modifications on cooling property and surface wettability of cool roofing materials. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 172, 34-43. Doi: 10.1016/j.solmat.2017.07.017

Rapid (t.y.). Erişim Adresi: http://trrapid.com/ProductDetail/en-US/2062/Ht_Steamer_Model_H_TS_3.aspx

Rashid, M. M. ve Mahltig, B. (2019). Light absorption of the aluminium effect pigment coated textile: an Investigation using TiO₂ nanoparticle in the basecoat and Al₂O₃ nanoparticle in the topcoat. *Journal of Materials Science and Nanomaterials*, 3(1), 110.

Rashidi, S., Esfahani, J. A. ve Karimi, N. (2018). Porous materials in building energy Technologies-a review of the applications, modelling and experiments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 229-247. Doi: 10.1016/j.rser.2018.03.092

Revel, G. M., Martarelli, M., Bengochea, M. Á., Gozalbo, A., Orts, M. J., Gaki, A., Gregou, M., Taxiarchou, M., Bianchin, A. ve Emiliani, M. (2013). Nanobased coatings with improved NIR reflecting properties for building envelope materials: Development and natural aging effect measurement. *Cement and Concrete Composites*, 36, 128-135. Doi: 10.1016/j.cemconcomp.2012.10.002

Robinson, J. ve Marrick, K. (2006). Printing techniques for enhancing nonwovens *Nonwovens World*, 15(2), 36-44.

Ruffen, C. ve Mahltig, B. (2021). Basalt fibers as functional additives in coating of textiles. *Journal of Coatings Technology and Research*, 18(1), 271-281. Doi: 10.1007/s11998-020-00383-8

Ruiz-Calleja, T., Bonet-Aracil, M., Gisbert-Payá, J., Bou-Belda, E., Montava, I. ve Calderón-Villajos, R. (2021). Influence of fabric structure on electrical resistance of graphene-coated textiles. *Textile Research Journal*, 92(5-6), 760-772. Doi: 10.1177/004051752111043249

Saidur, R. (2009). Energy consumption, energy savings, and emission analysis in Malaysian office buildings. *Energy Policy*, 37(10), 4104-4113. Doi: 10.1016/j.enpol.2009.04.052

Samar, M. ve Saxena, S. (2016). Study of chemical and physical properties of perlite and its application in India. *International Journal of Science Technology and Management*, 5(4), 70-80.

Sandin, O., Nordin, J. ve Jonsson, M. (2017). Reflective properties of hollow microspheres in cool roof coatings. *Journal of Coatings Technology and Research*, 14(4), 817-821. Doi: 10.1007/s11998-017-9973-y

Sankaran, S. ve Ehsani, R. (2014). *Introduction to the electromagnetic spectrum*. Manickavasagan, A. ve Jayasuriya, H. (Ed.), *Imaging with Electromagnetic Spectrum* (s. 1-15) içinde. Yer: Springer, Berlin. Doi: 10.1007/978-3-642-54888-8_1

Santamouris, M., Synnefa, A. ve Karlessi, T. (2011). Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy*, 85(12), 3085-3102. Doi: 10.1016/j.solener.2010.12.023

Schönhorn, H. (1985). Adhesion and adhesive: Interactions at interface. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, 1(2), 163-179. Doi: [10.1177/875608798500100210](https://doi.org/10.1177/875608798500100210)

Scott, R. A. (1995). *Coated and laminated fabrics*. C. M. Carr (Ed.), *Chemistry of The Textiles Industry* (s. 210-248). Doi: 10.1007/978-94-011-0595-8_7

Sen, A. K. (2007). *Coated textiles: principles and applications*. Yer: Crc Press.

Shao, Y., Shih, Y. C., Kim, G. ve Shi, F. G. (2015). Study of optimal filler size for high performance polymer-filler composite optical reflectors. *Optical Materials Express*, 5(2), 423-429. Doi: 10.1364/OME.5.000423

Shateri-Khalilabad, M., ve Yazdanshenas, M. E. (2013). Fabricating electroconductive cotton textiles using graphene. *Carbohydrate polymers*, 96(1), 190-195. Doi: 10.1016/j.carbpol.2013.03.052

Shim, E. (2013). *Bonding requirements in coating and laminating of textiles*. I. Jones ve G. K. Stylios (Ed.), *Joining textiles* (s. 309-351) içinde. Yer: Woodhead Publishing.

Shim, E. (2019). *Coating and laminating processes and techniques for textiles*. W. C. Smith (Ed.), *Smart Textile Coatings and Laminates* (s. 11-45). Doi: 10.1016/B978-0-08-102428-7.00002-X

Solar Energy, Albedo, and The Polar Regions (2008). Erişim Adresi: <https://beyondpenguins.ehe.osu.edu/issue/energy-and-the-polar-environment/solar-energy-albedo-and-the-polar-regions>

Solar Radiation (t.y.). Erişim Adresi: <https://www.kippzonen.com/Knowledge-Center/Theoretical-info/Solar-Radiation/Introduction>

Song, G., Cao, W., ve Gholamreza, F. (2011). Analyzing stored thermal energy and thermal protective performance of clothing. *Textile Research Journal*, 81(11), 1124-1138. Doi: 10.1177/0040517511398943

Song, G., Paskaluk, S., Sati, R., Crown, E. M., Doug Dale, J., ve Ackerman, M. (2011). Thermal protective performance of protective clothing used for low radiant heat protection. *Textile Research Journal*, 81(3), 311-323. Doi: 10.1177/0040517510380108

Sun, Z., Lv, Y. ve Tong, Z. (2016). Effects of particle size on bidirectional reflectance factor measurements from particulate surfaces. *Optics Express*, 24(6), A612-A634. Doi: 10.1364/OE.24.00A612

Şeffaf Güneş Pilleri (2021). Erişim Adresi: <https://yeserenerji.com/seffaf-gunes-pilleri/>

Tav, A., Öz, Y. ve Akyıldız, H. İ. (2021). Thermal and mechanical properties of sol-gel silica coated fabrics. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 31, 309-319. Doi: 10.31590/ejosat.1000774

Tavman, I. H. (1996). Thermal and mechanical properties of aluminum powder-filled high-density polyethylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 62(12), 2161-2167. Doi: 10.1002/(SICI)1097-4628(19961219)62:12<2161::AID-APP19>3.0.CO;2-8

Tawiah, B., Narh, C., Li, M., Zhang, L., ve Fu, S. (2015). Polymer-encapsulated colorful Al pigments with high NIR and UV reflectance and their application in textiles. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 54(47), 11858-11865. Doi: 10.1021/acs.iecr.5b03555

The Electromagnetic Spectrum (2018). Erişim Adresi: <https://espectro.org.br/en/content/electromagnetic-spectrum>

Tiber, B. (2011). *Perlit içeren fonksiyonel bir tekstil ürününün tasarımı* (Doktora tezi) <http://acikerisim.deu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/20.500.12397/9127/306834.pdf?sequence=1&isAllowed=y> veri tabanından erişildi.

Titanium dioxide for Coatings (2019). Erişim Adresi: <https://www.tipure.cn/-/media/files/tipure/legacy/titanium-dioxide-for%20coatings.pdf?rev=70975dd1245f4082841a13ef41058282>

Toz retim Teknikleri (t.y.). Erişim Adresi: https://rahmiunal.net/toz/tozuretimi/powder_product.html

Tsutsumi, N., Takeuchi, N. ve Kiyotsukuri, T. (1991). Measurement of thermal diffusivity of filler-polymide composites by flash radiometry. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 29(9), 1085-1093. Doi: 10.1002/polb.1991.090290907

Ultraviolet Radiation (2022). Erişim Adresi: <https://www.britannica.com/science/ultraviolet-radiation>

lker, S. (2009). *Isı yalıtım malzemelerinin özelliklerinin uygulamaya etkileri* (Yüksek lisans tezi) <https://polen.itu.edu.tr/items/b9c3635e-eaed-44f5-ac05-caff1850f11a> veri tabanından erişildi.

Viruthagiri, G., Nareshananda, S. N. ve Shanmugam, N. (2013). Analysis of insulating fire bricks from mixtures of clays with sawdust addition. *Indian Journal of Applied Research*, 3(6), 469-473.

Yang, G., Zhao, C. Y. ve Wang, B. X. (2013). Experimental study on radiative properties of air plasma sprayed thermal barrier coatings. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 66, 695-698. Doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.07.069

Yang, K., Wiener, J., Venkataraman, M., Wang, Y., Yang, T., Zhang, G., Zhu, G., Yao, J. ve Militky, J. (2021). Thermal analysis of PEG/metal particle-coated viscose fabric. *Polymer Testing*, 100, 107231. Doi: 10.1016/j.polymertesting.2021.107231

Ye, X. F., Chen, D. C., Chang, M. L., Liang, Q. H. ve Lu, Q. P. (2015). The preparation of fluorocarbon thermal insulation coating with different fillers. *Advanced Materials Research*, 1101, 36–39. Doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.1101.36

- Ye, X. ve Chen, D. (2018). *Thermal insulation coatings in energy saving*. M. Eyvaz, A. Gok ve E. Yüksel (Ed.), *Energy-Efficient Approaches in Industrial Applications* (s. 1-17) içinde. Doi: 10.5772/intechopen.81137
- Yildirim, K., Kanber, A., Karahan, M., ve Karahan, N. (2018). The solar properties of fabrics produced using different weft yarns. *Textile Research Journal*, 88(13), 1543-1558. Doi: 10.1177/0040517517712095
- Yilmazer, S. ve Ozdeniz, M. B. (2005). The effect of moisture content on sound absorption of expanded perlite plates. *Building and Environment*, 40(3), 311-318. Doi: 10.1016/j.buildenv.2004.07.004
- Yong, Q., Xu, D., Liu, Q., Xiao, Y. ve Wei, D. (2022). Advances in polymer-based matte coatings: A review. *Polymers for Advanced Technologies*, 33(1), 5-19. Doi: 10.1002/pat.5508
- Yosomiya, R. (1990). *Adhesion and bonding in composites*. Yer: Marcel Dekker, New York.
- Young, T. (1805). An essay on the cohesion of fluids. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 95, 65-87. Doi: 10.1098/rstl.1805.0005
- Yuan, L., Weng, X. L., Xie, J. L. ve Deng, L. J. (2015). Effects of shape, size and solid content of Al pigments on the low-infrared emissivity coating. *Materials Research Innovations*, 19(sup1), 325-330. Doi: 10.1179/1432891715Z.0000000001497
- Yusoff, P. M., Ahmad, F., Amir, N. ve Leong, S. F. (2010). Effect of particle dispersion on thermal conductivity of copper powder filled epoxy composites. *AIP Conference Proceedings*, 1217(1), 363-369. American Institute of Physics. Doi: 10.1063/1.3377845
- Waelde, L. R. (2001). *Thermoset powder coatings*. D. Satas ve A. A. Tracton (Ed.), *Coatings Technology Handbook* (s. 691-705) içinde. Yer: Marcel Dekker, New York.
- Wake, W. C. (1973). The adhesion of polymers to fibrous masses. *Journal of Coated Fabrics*, 3(2), 84-95. Doi: 10.1177/152808377300300202
- Wang, J., Kaynak, A., Wang, L. ve Liu, X. (2006). Thermal conductivity studies on wool fabrics with conductive coatings. *Journal of The Textile Institute*, 97(3), 265-270. Doi: 10.1533/joti.2005.0298
- Wang, S., Cheng, Y., Wang, R., Sun, J. ve Gao, L. (2014). Highly thermal conductive copper nanowire composites with ultralow loading: toward applications as thermal interface materials. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 6(9), 6481-6486. Doi: 10.1021/am500009p

Wang, X., Hu, Y., Song, L., Xing, W., Lu, H., Lv, P. ve Jie, G. (2010). Effect of antimony doped tin oxide on behaviors of waterborne polyurethane acrylate nanocomposite coatings. *Surface and Coatings Technology*, 205(7), 1864-1869. Doi: 10.1016/j.surfcoat.2010.08.053

Wang, Z., Liu, J., Wang, F. ve Yu, X. (2011). A facial one-pot route synthesis and characterization of Y-stabilized Sb₂O₃ solar reflective thermal insulating coatings. *Materials Chemistry and Physics*, 130(1-2), 466-470. Doi: 10.1016/j.matchemphys.2011.07.015

Why Copper Is Reddish in Color (2016). Erişim Adresi: <https://www.flinnsci.com/api/library/Download/485982234af046b491724d3736c93c51#:~:text=When%20an%20object%20absorbs%20one,appears%20a%20red%2Dorange%20color.>

Wicks, Z. W., Jones, F. N. ve Pappas, S. P. (1999). *Organic coatings: Science and technology*. Yer: Wiley, New York.

Wong, A., Daoud, W. A., Liang, H. H. ve Szeto, Y. S. (2015). Application of rutile and anatase onto cotton fabric and their effect on the NIR reflection/surface temperature of the fabric. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 134, 425-437. Doi: 10.1016/j.solmat.2014.12.011

Woodruff, F. A. (1997). Advances in powder and other thermoplastic coating and laminating systems. *Journal of Coated Fabrics*, 26(4), 308-315. Doi: 10.1177/152808379702600406

Wright, E. L. (1981). Low wet pick-up finishing: a review of commercial experience. *Textile Research Journal*, 51(4), 251-255. Doi: 10.1177/004051758105100405

Wu, H. ve Drzal, L. T. (2013). High thermally conductive graphite nanoplatelet/polyetherimide composite by precoating: Effect of percolation and particle size. *Polymer Composites*, 34(12), 2148-2153. Doi: 10.1002/pc.22624

Wypych, G. (2016). *Handbook of fillers*. Yer: ChemTec Publishing, Toronto.

Xu, L., Jiang, Y., Feng, J., Feng, J. ve Yue, C. (2015). Infrared-opacified Al₂O₃-SiO₂ aerogel composites reinforced by SiC-coated mullite fibers for thermal insulations. *Ceramics international*, 41(1), 437-442. Doi: 10.1016/j.ceramint.2014.08.088

Xue, C. H., Zhang, L., Wei, P. ve Jia, S. T. (2016). Fabrication of superhydrophobic cotton textiles with flame retardancy. *Cellulose*, 23(2), 1471-1480. Doi: 10.1007/s10570-016-0885-2

Zhang, Z., Wang, K., Mo, B., Li, X. ve Cui, X. (2015). Preparation and characterization of a reflective and heat insulative coating based on geopolymers. *Energy and Buildings*, 87, 220-225. Doi: 10.1016/j.enbuild.2014.11.028

Zhiying, C., Yanmin, W. ve Weiyuan, Z. (2010). Thermal protective performance and moisture transmission of firefighter protective clothing based on orthogonal design. *Journal of Industrial Textiles*, 39(4), 347-356. Doi: 10.1177/1528083709347126

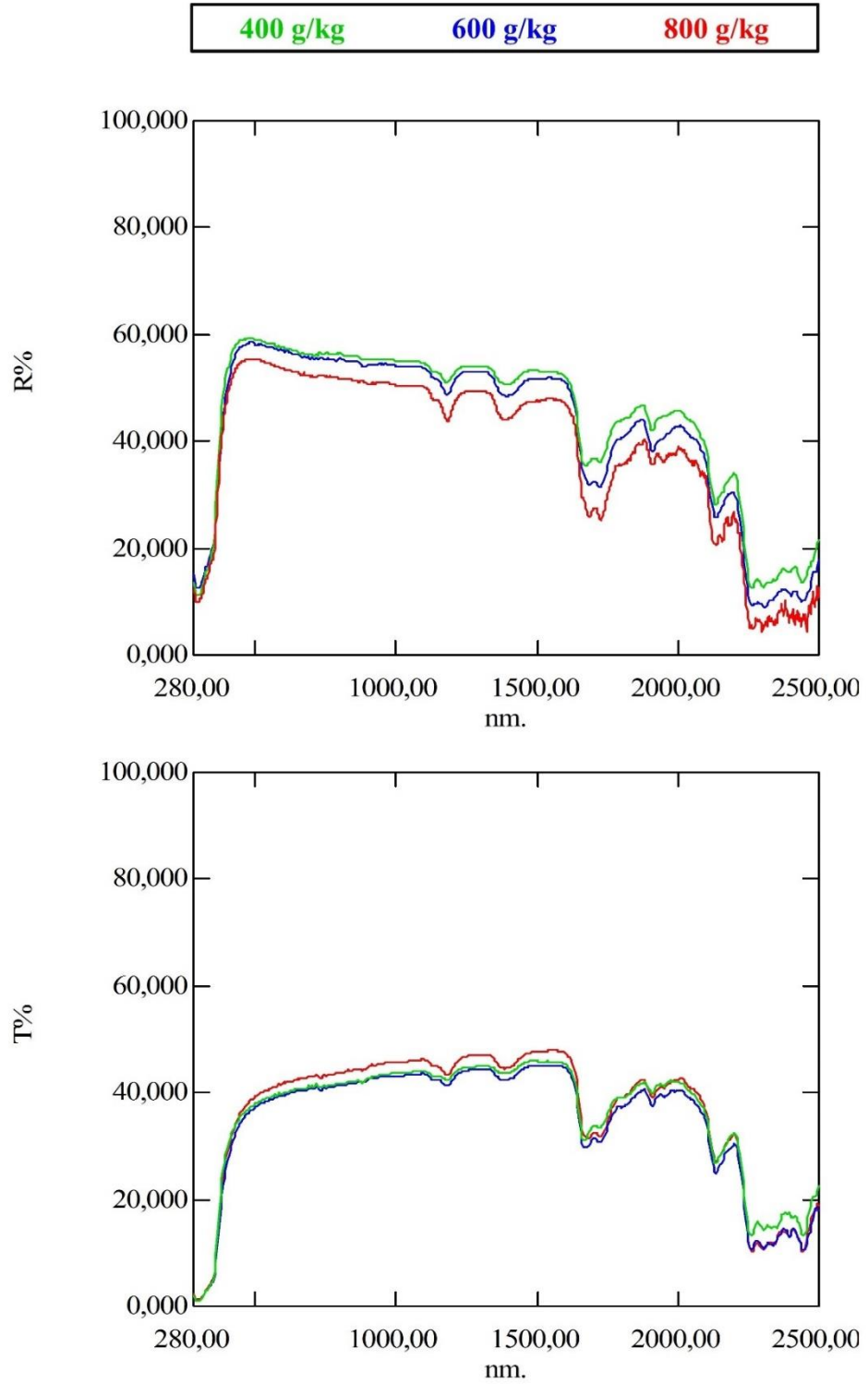
Ziaei M, Ghane M. (2013). Thermal insulation property of spacer fabrics integrated by ceramic powder impregnated fabrics. *Journal of Industrial Textiles*. 43(1), 20-33. Doi:10.1177/1528083712446384

EKLER

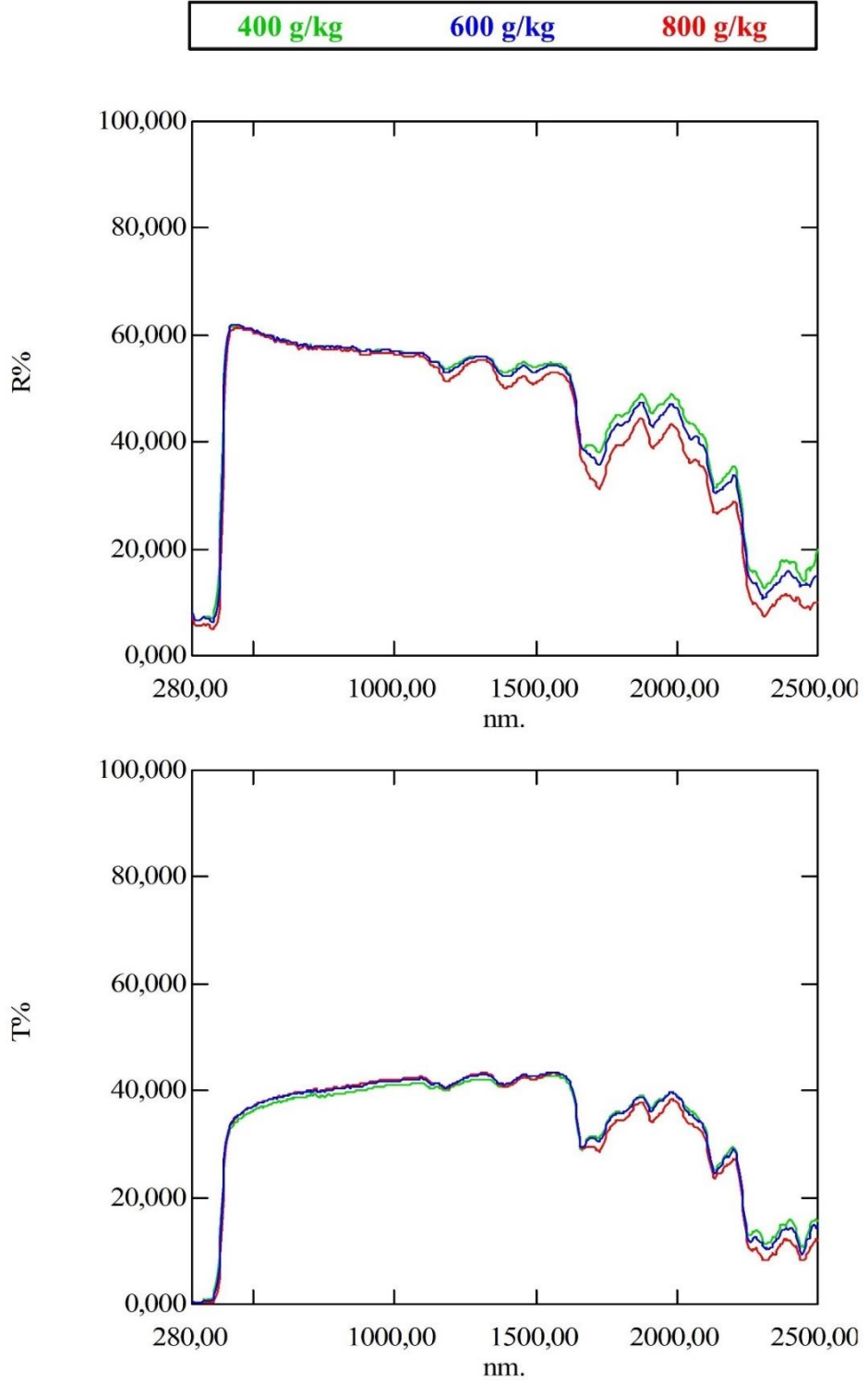
- EK 1** Akrilik İle Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 2** Poliüretan İle Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 3** Stiren-Akrilik İle Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 4** Vinil Asetat İle Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 5** Farklı Kaplama Polimerleri İle 400 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 6** Kalsit İle Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 7** Titanyum Dioksit İle Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 8** 10-38 µm Perlit ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 9** 50-63 µm Perlit ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 10** 100-150 µm Perlit ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 11** Farklı Tanecik Boyutlarında Perlit ile 80 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 12** 0-25 µm Pomza ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 13** 50-75 µm Pomza ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 14** 100-125 µm Pomza ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 15** Farklı Tanecik Boyutlarında Pomza ile 80 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 16** 18 µm Selüloz Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 17** 120 µm Selüloz Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 18** 300 µm Selüloz Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 19** Farklı Tanecik Boyutlarında Selüloz Tozu ile 80 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 20** Yakın Tanecik Boyutlarına Sahip Perlit, Pomza ve Selüloz Tozu ile 80 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 21** 14 µm Alüminyum Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 22** 20 µm Alüminyum Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 23** 40 µm Alüminyum Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Trnsmi

- EK 24** Farklı Tanecik Boyutlarında Alüminyum Tozu ile 40 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 25** 15 µm Bakır Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 26** 28 µm Bakır Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 27** 42 µm Bakır Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 28** Farklı Tanecik Boyutlarında Bakır Tozu ile 40 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 29** Yakın Tanecik Boyutlarına Sahip Alüminyum ve Bakır Tozu ile 40 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri
- EK 30** Çok Katlı Numune ve Katmanlarını oluşturan Kaplamaların Reflektans ve Transmittans Grafikleri

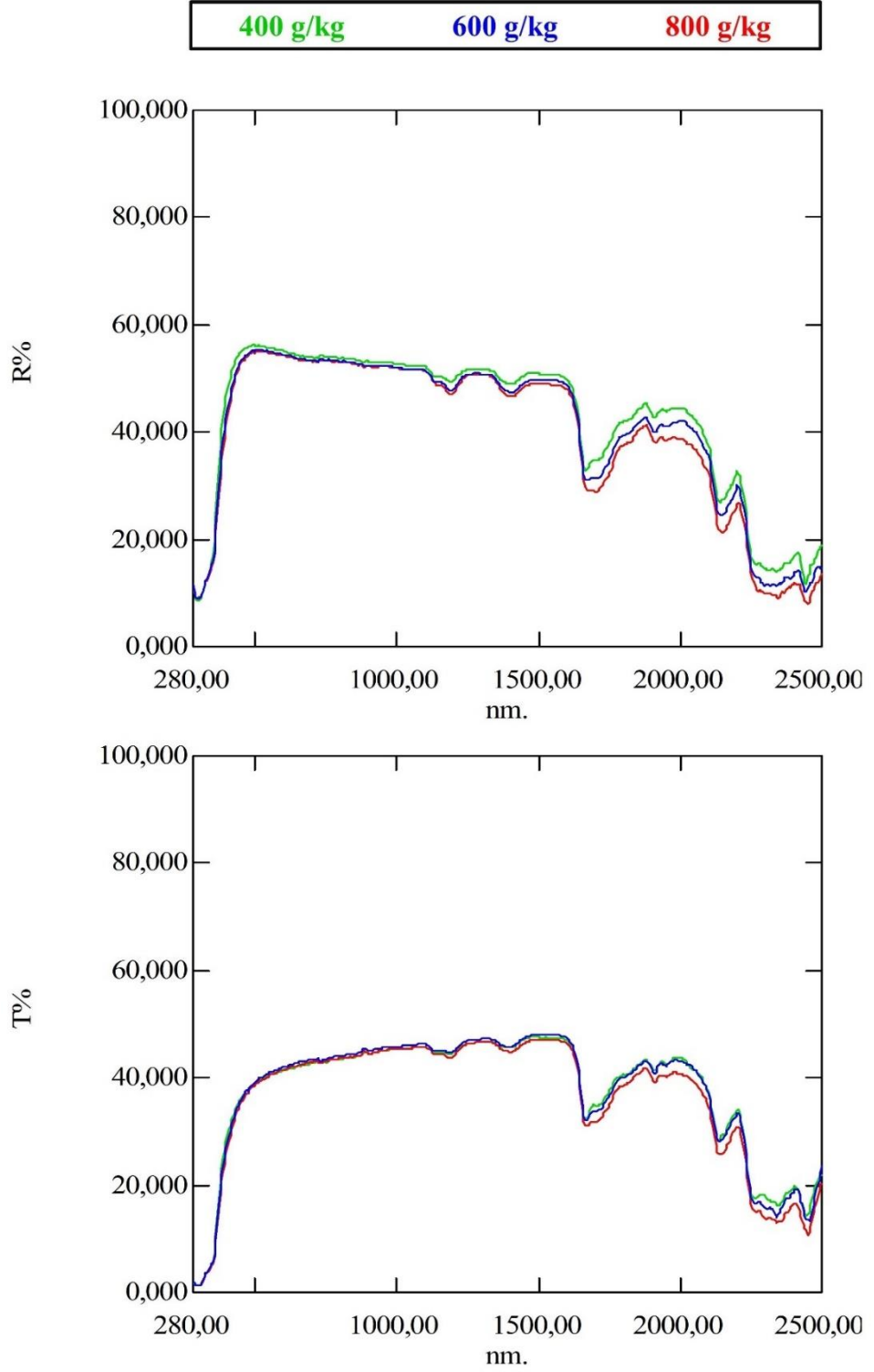
EK 1 Akrilik ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



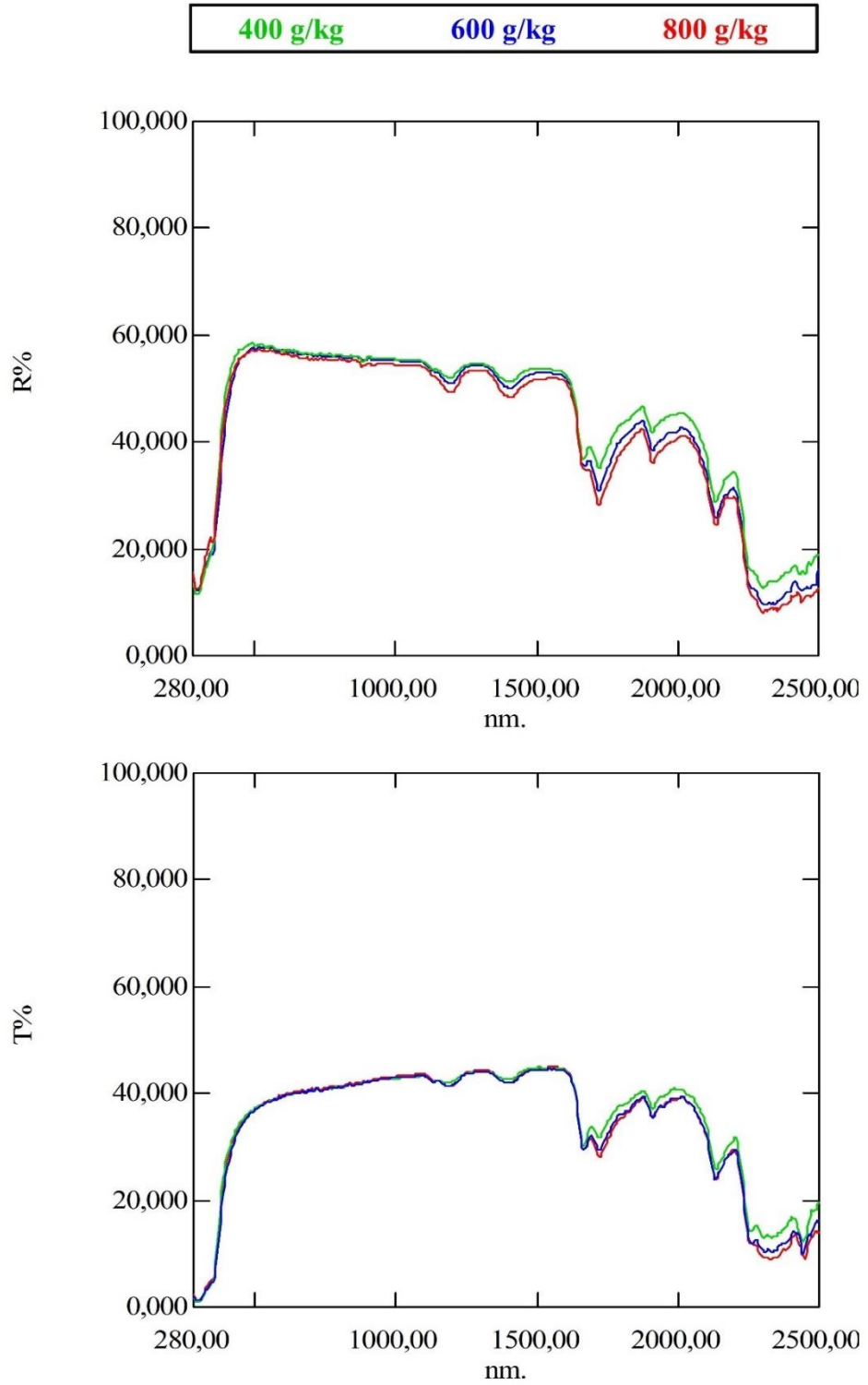
EK 2 Poliüretan ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



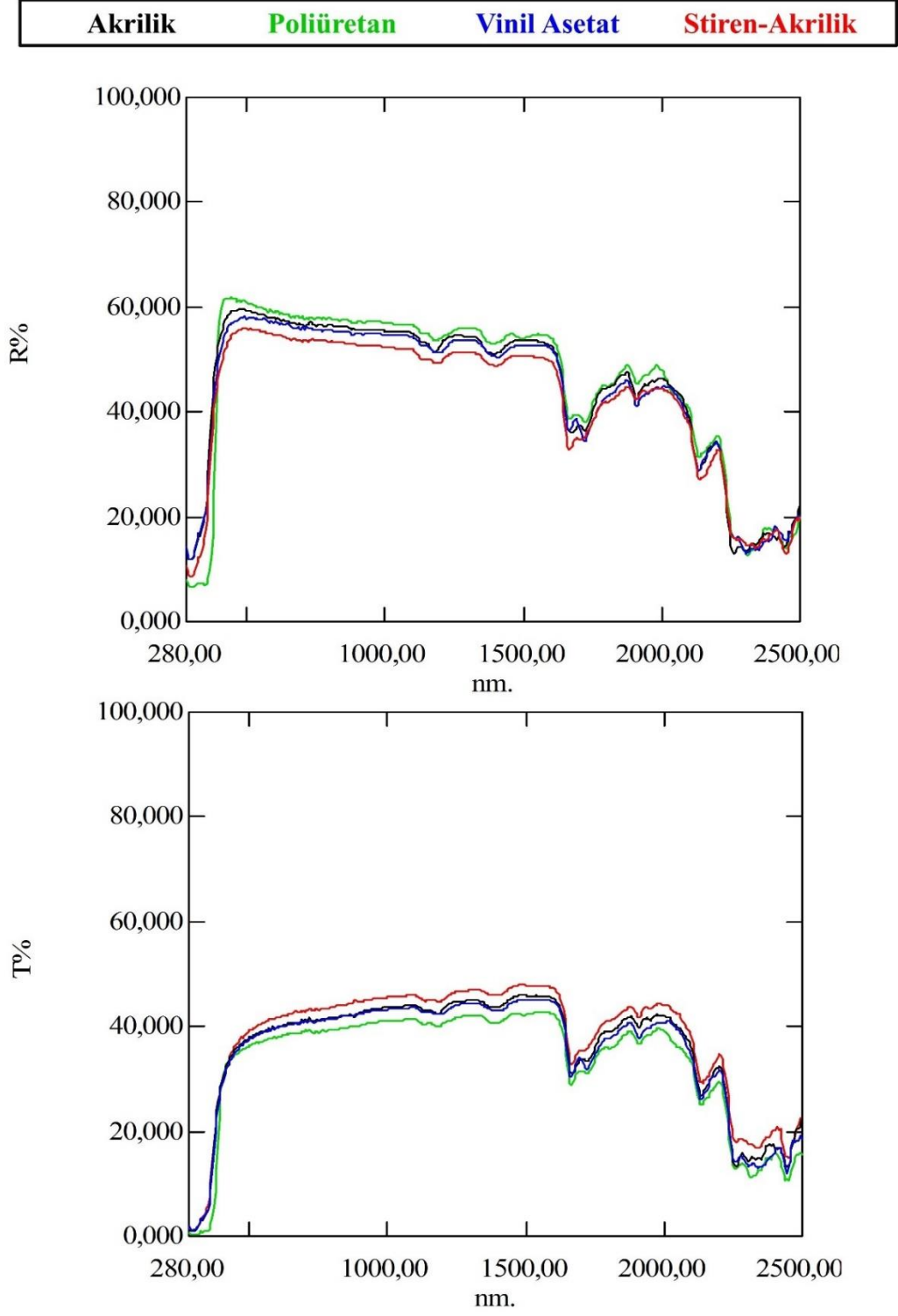
EK 3 Stiren-Akrilik ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



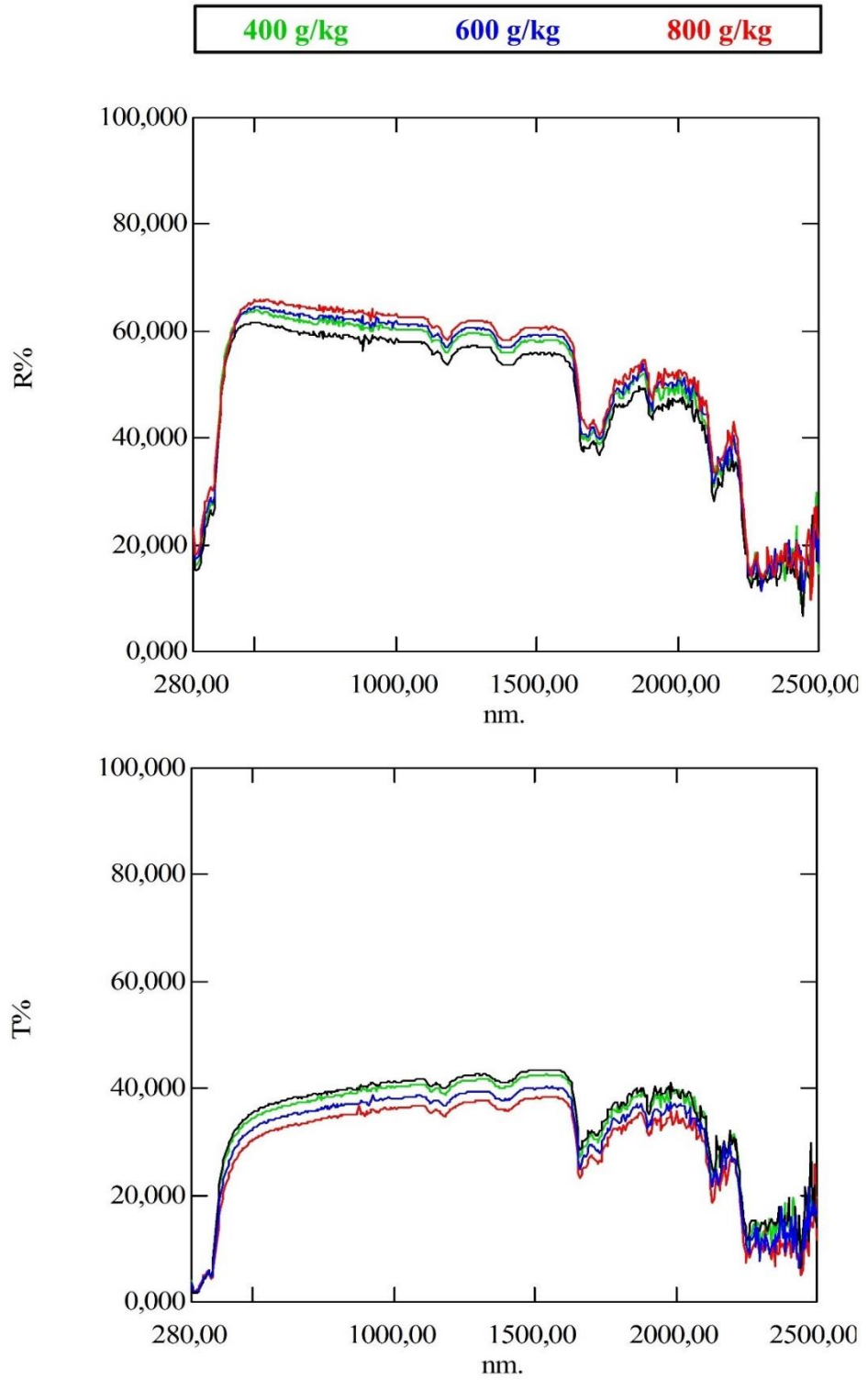
EK 4 Vinil Asetat ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



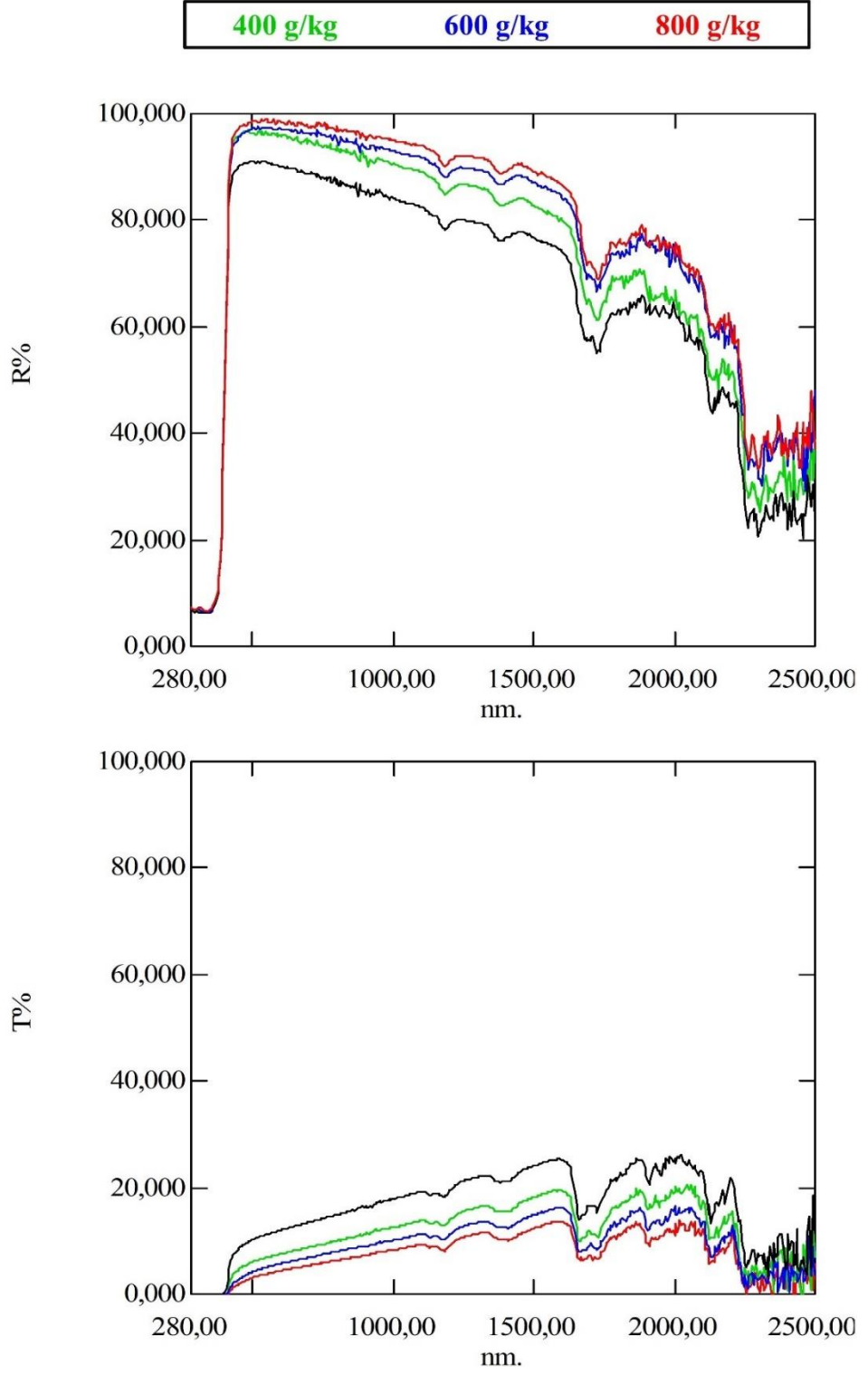
EK 5 Farklı Kaplama Polimerleri ile 400 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



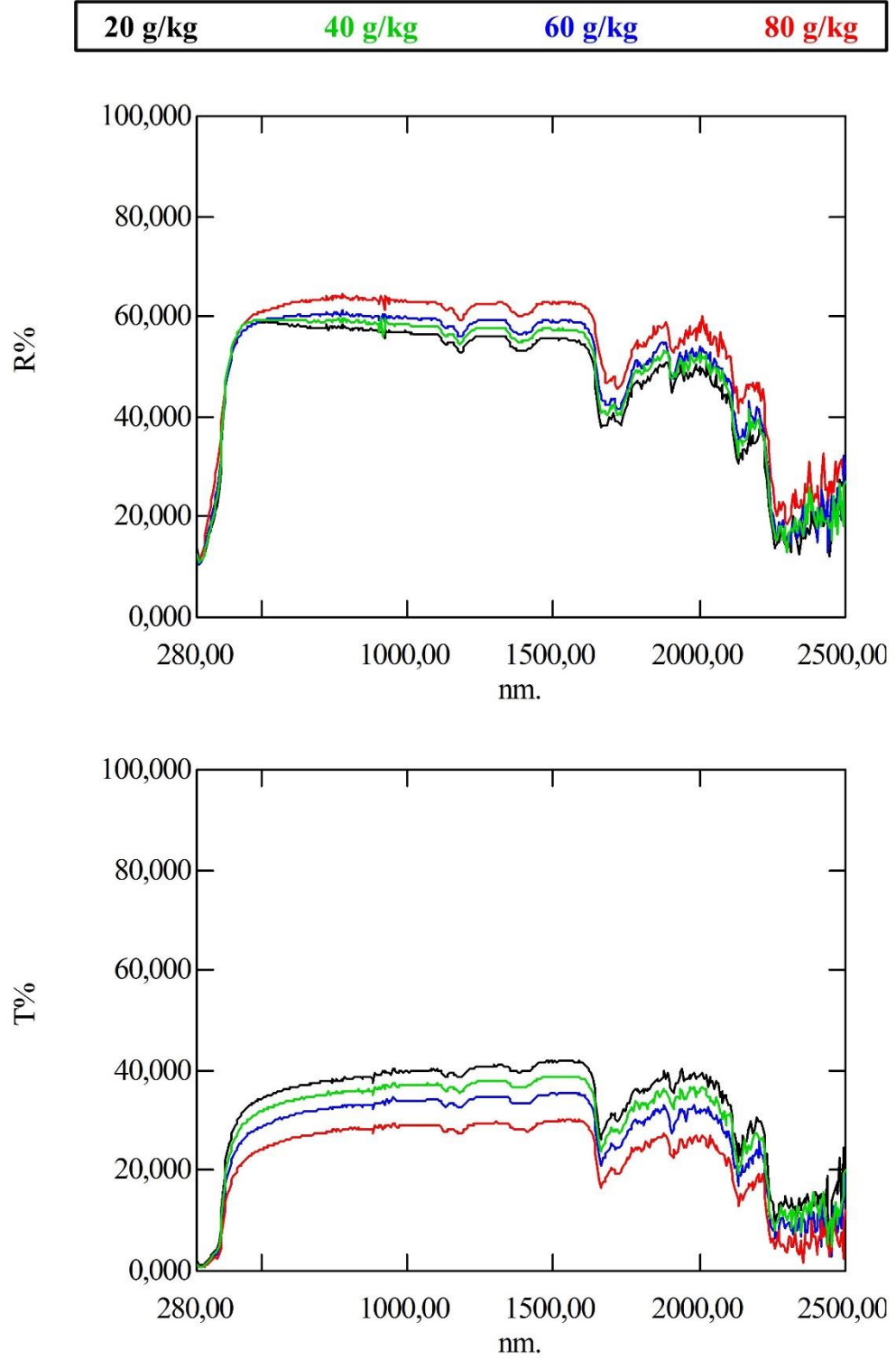
EK 6 Kalsit ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



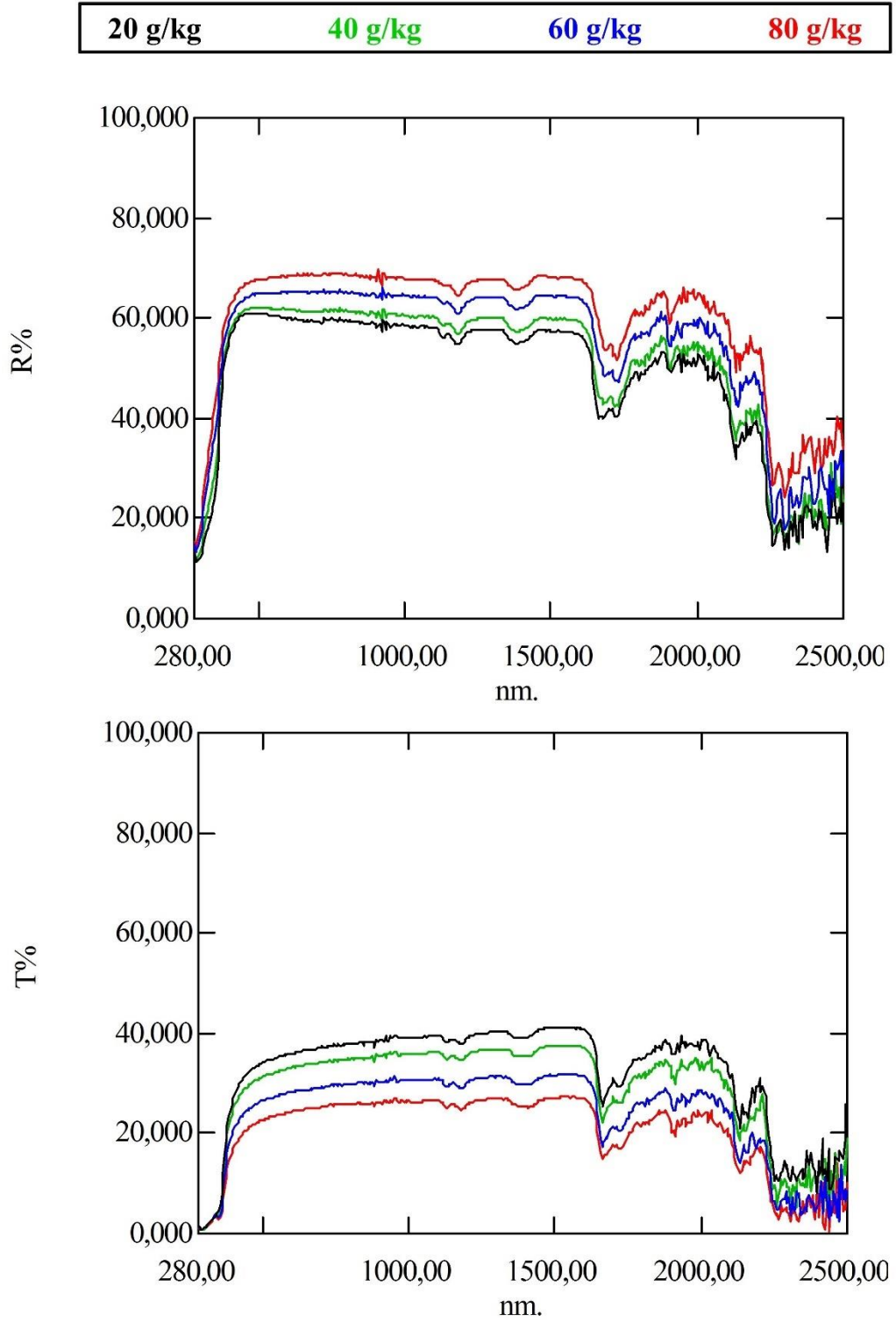
EK 7 Titanyum Dioksit ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



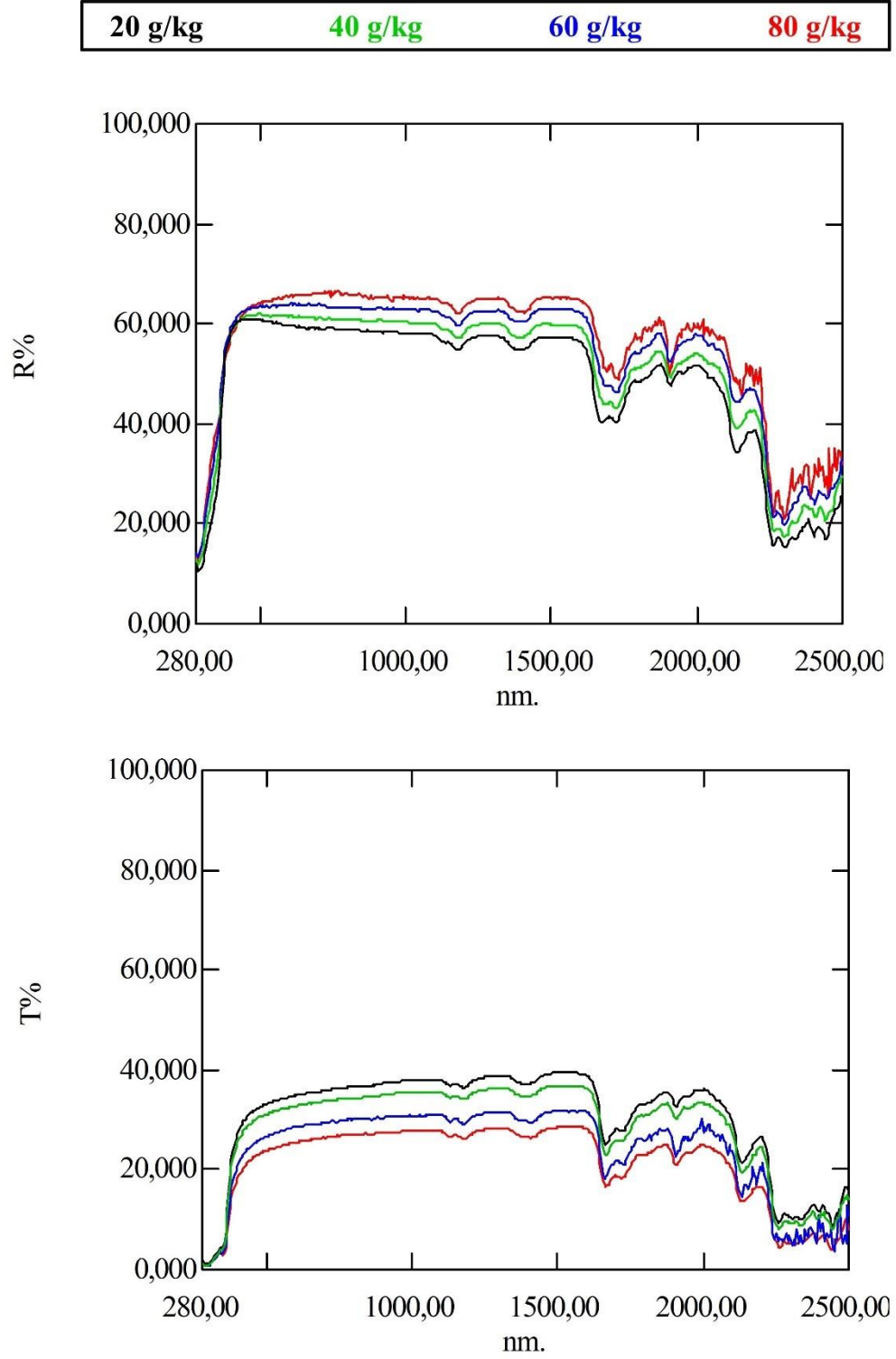
EK 8 10-38 μm Perlit ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



EK 9 50-63 μm Perlit ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri

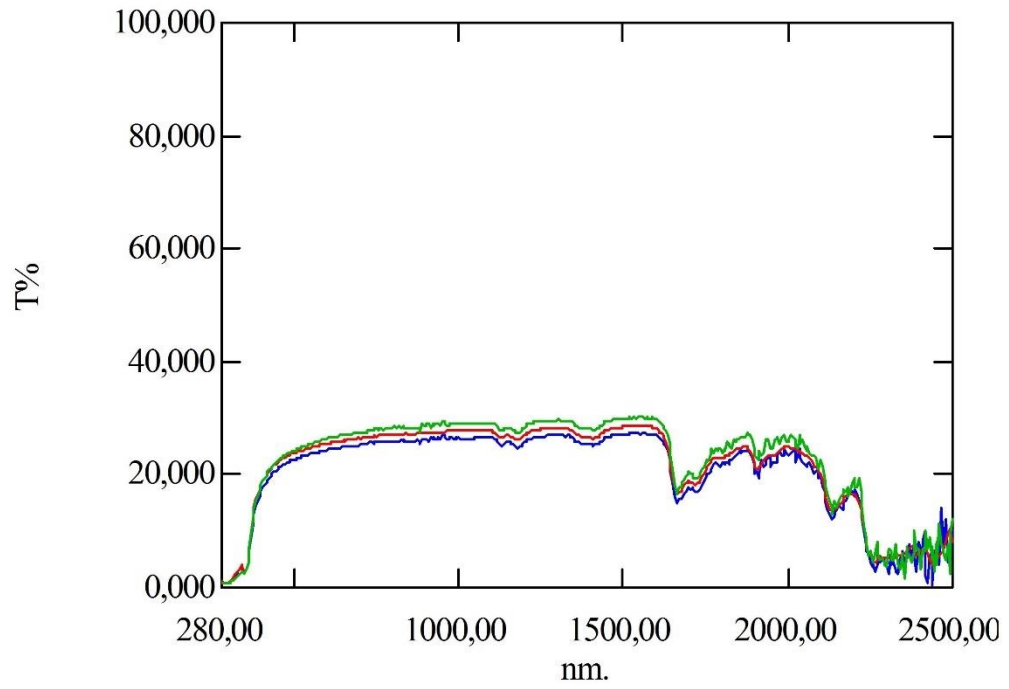
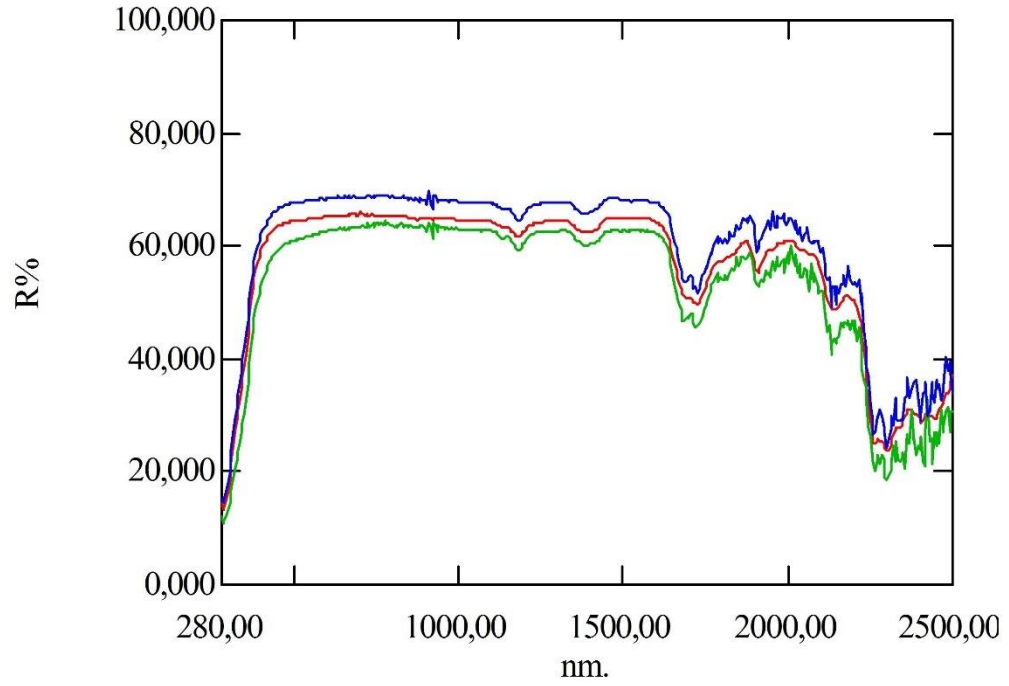


EK 10 100-150 µm Perlit ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri

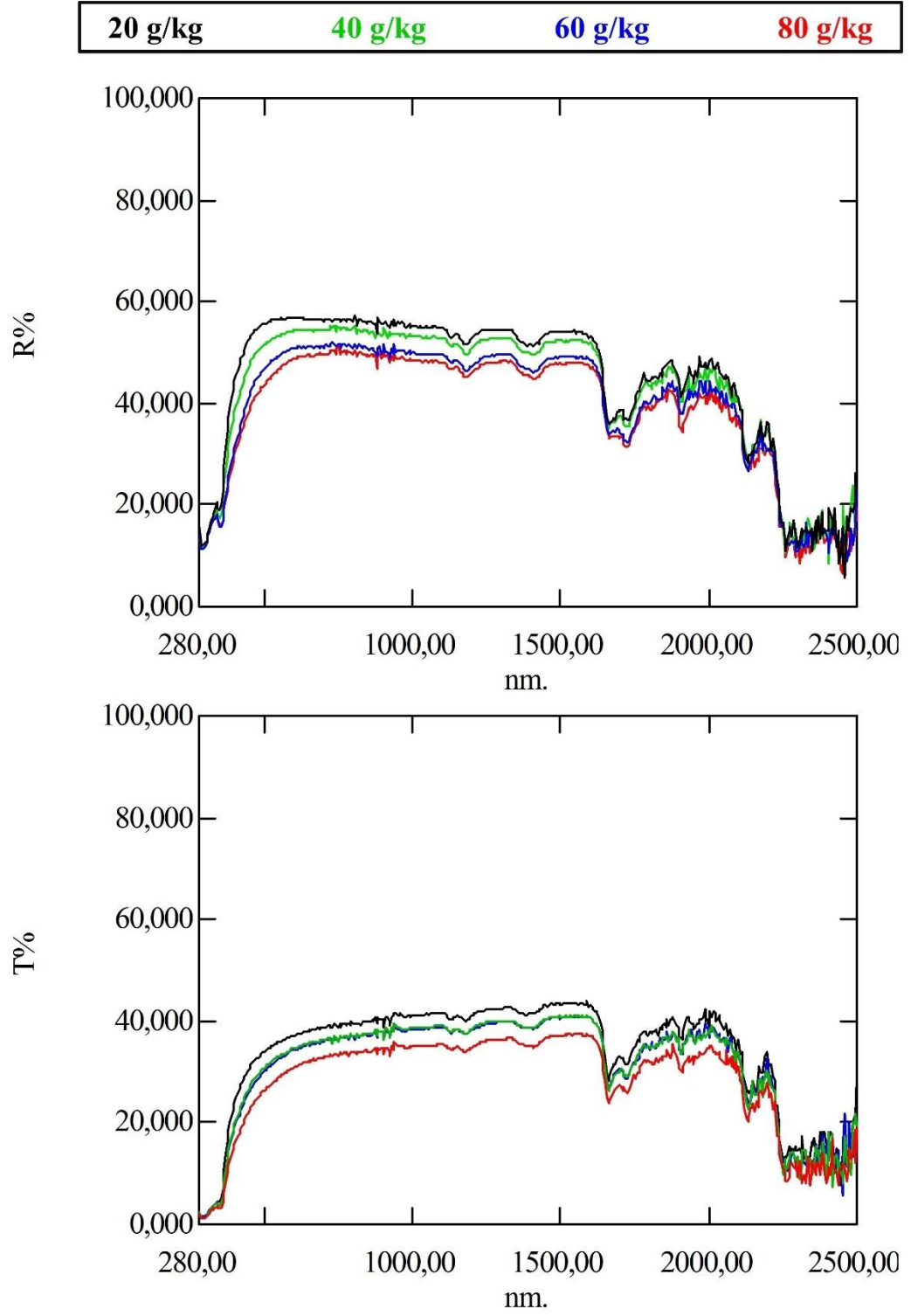


EK 11 Farklı Tanecik Boyutlarında Perlit ile 80 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri

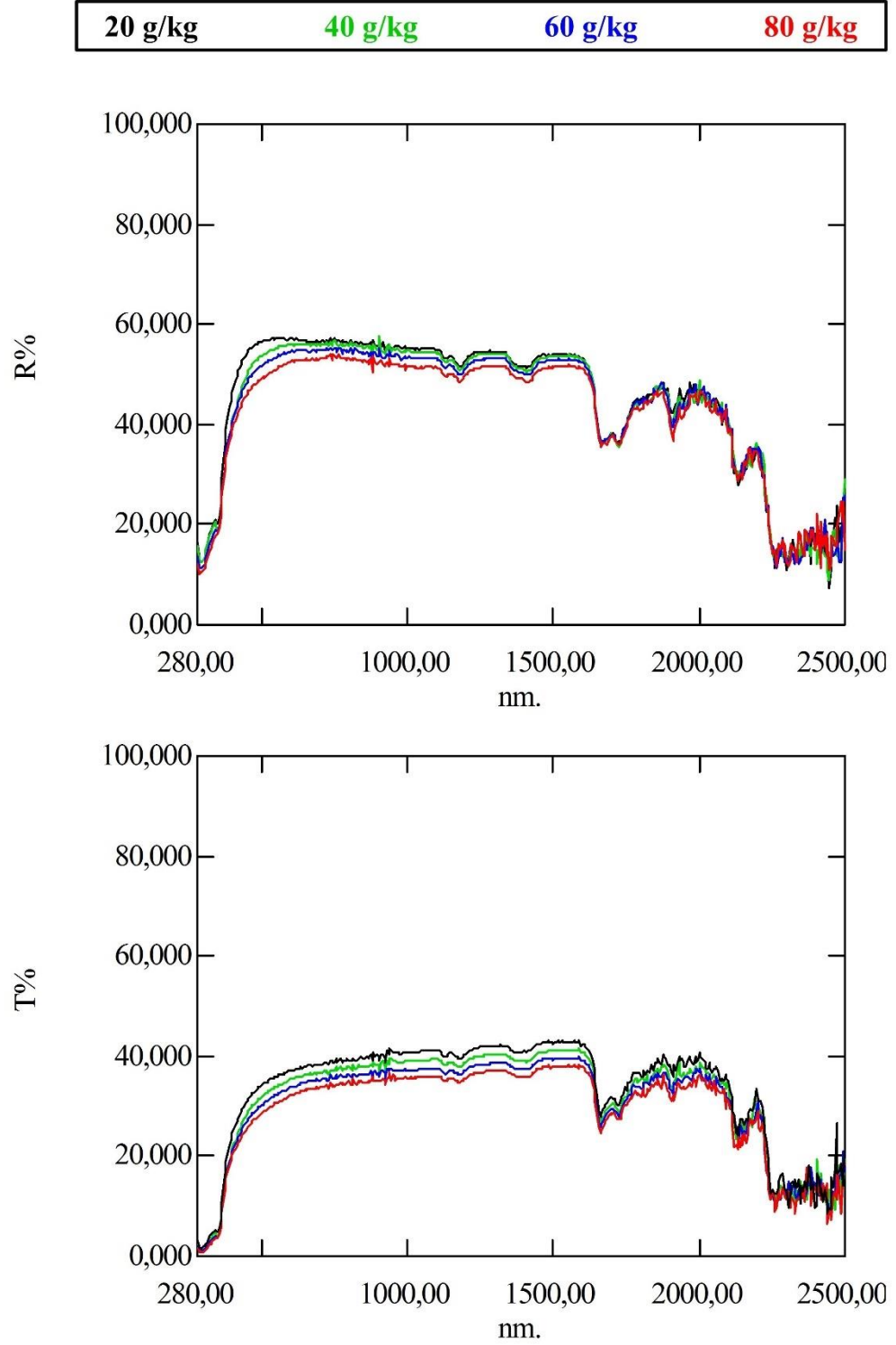
10-38 μm **50-63 μm** **100-150 μm**



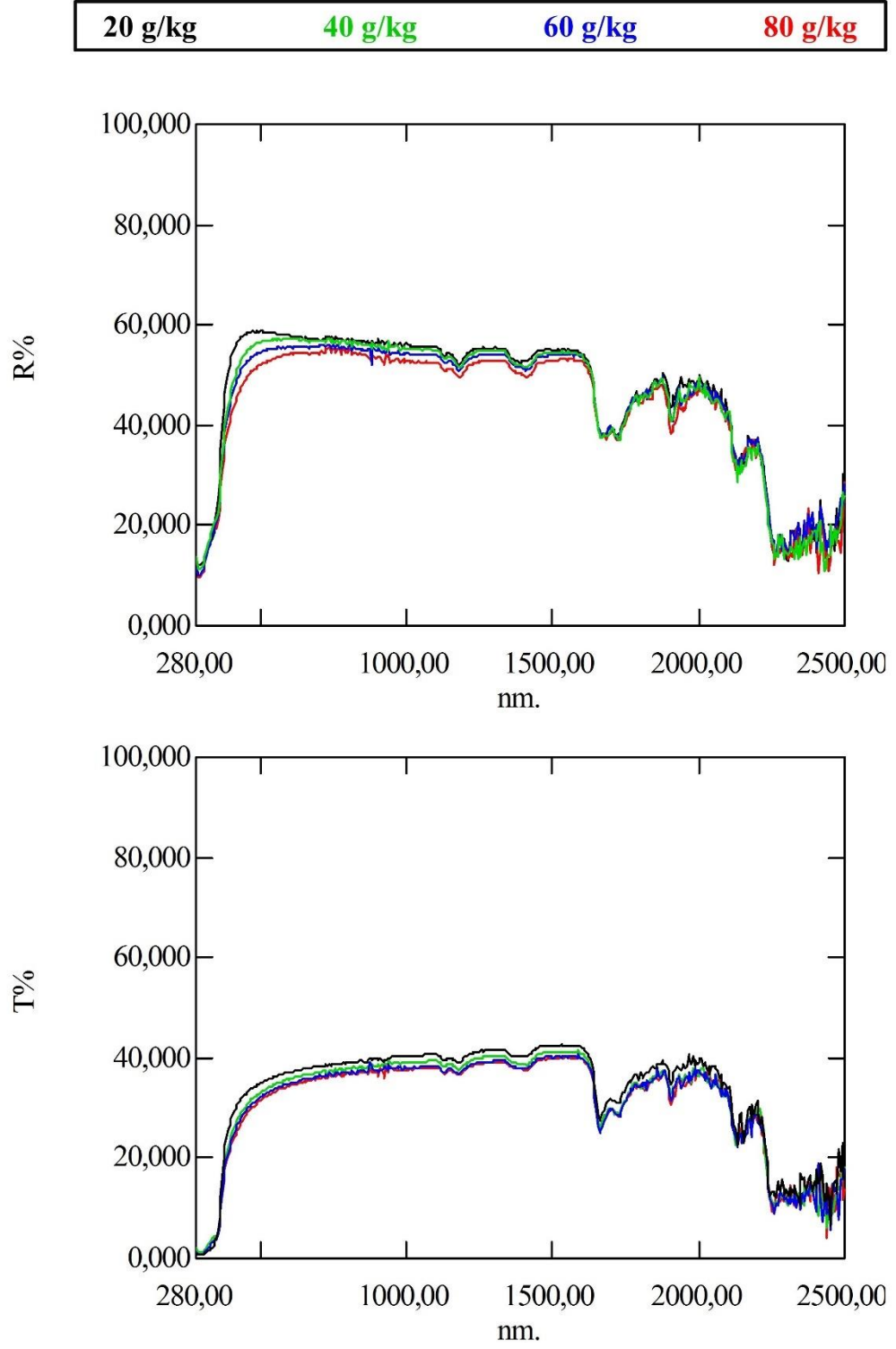
EK 12 0-25 µm Pomza ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



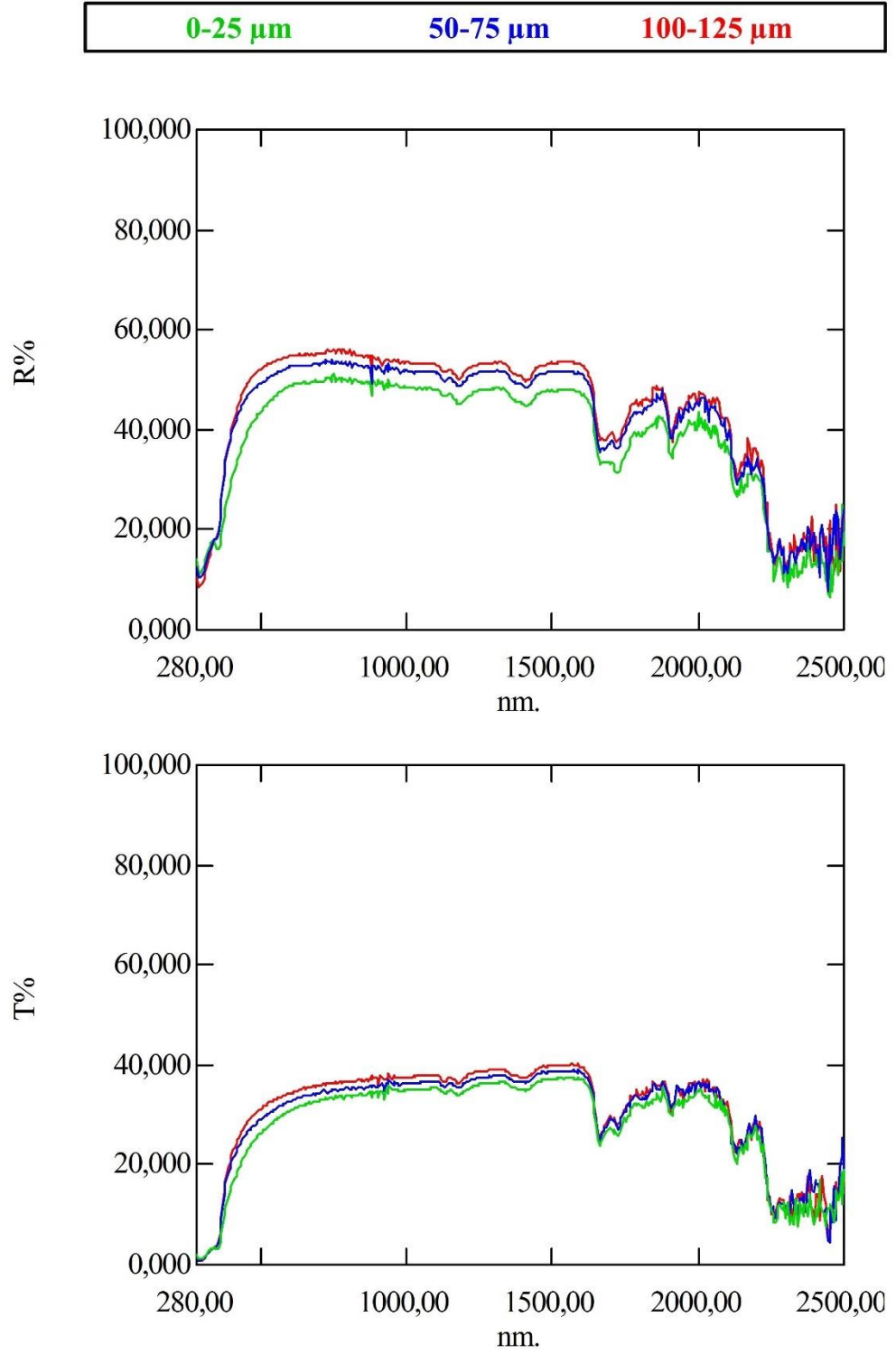
EK 13 50-75 μm Pomza ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



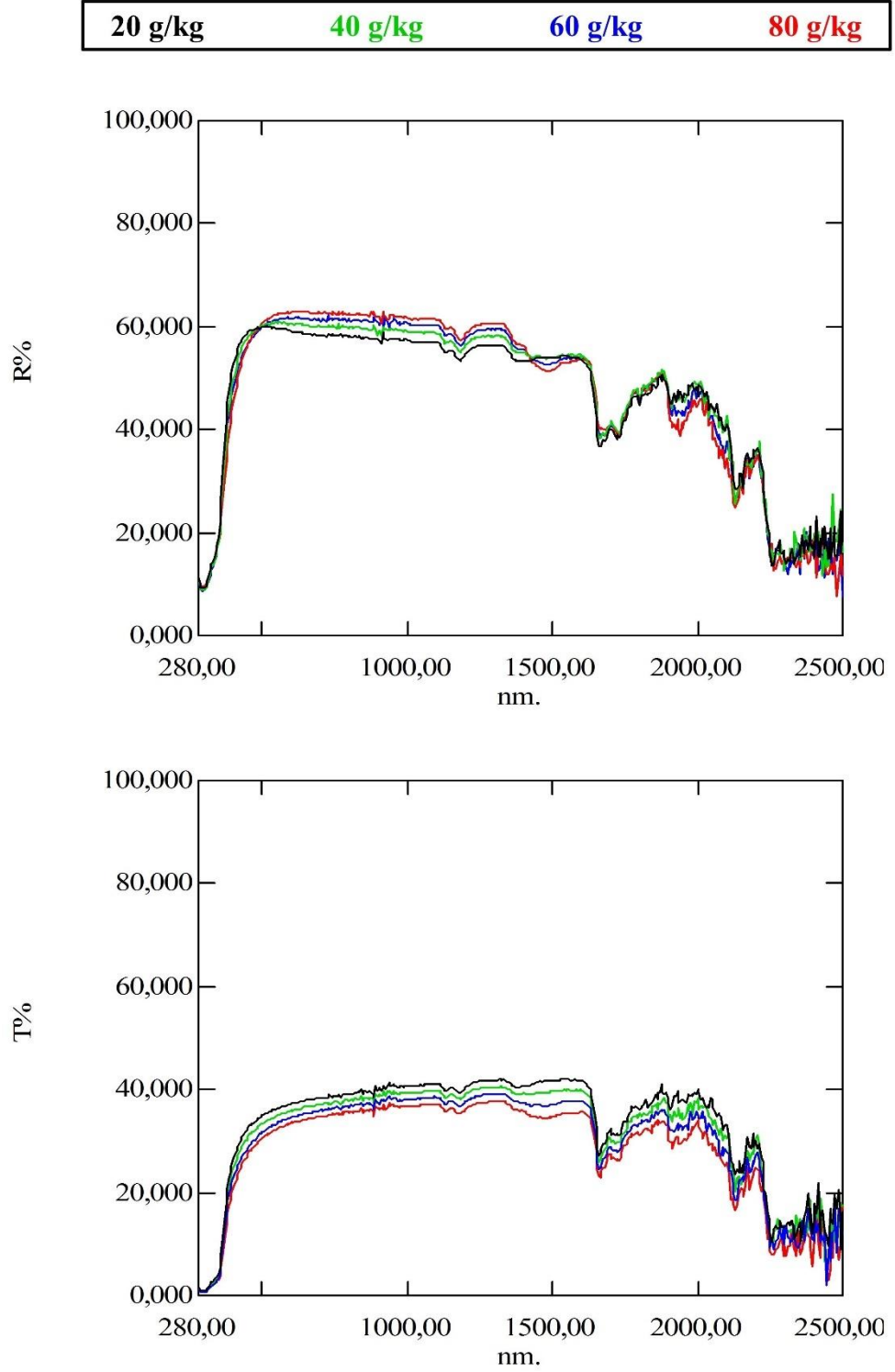
EK 14 100-125 µm Pomza ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



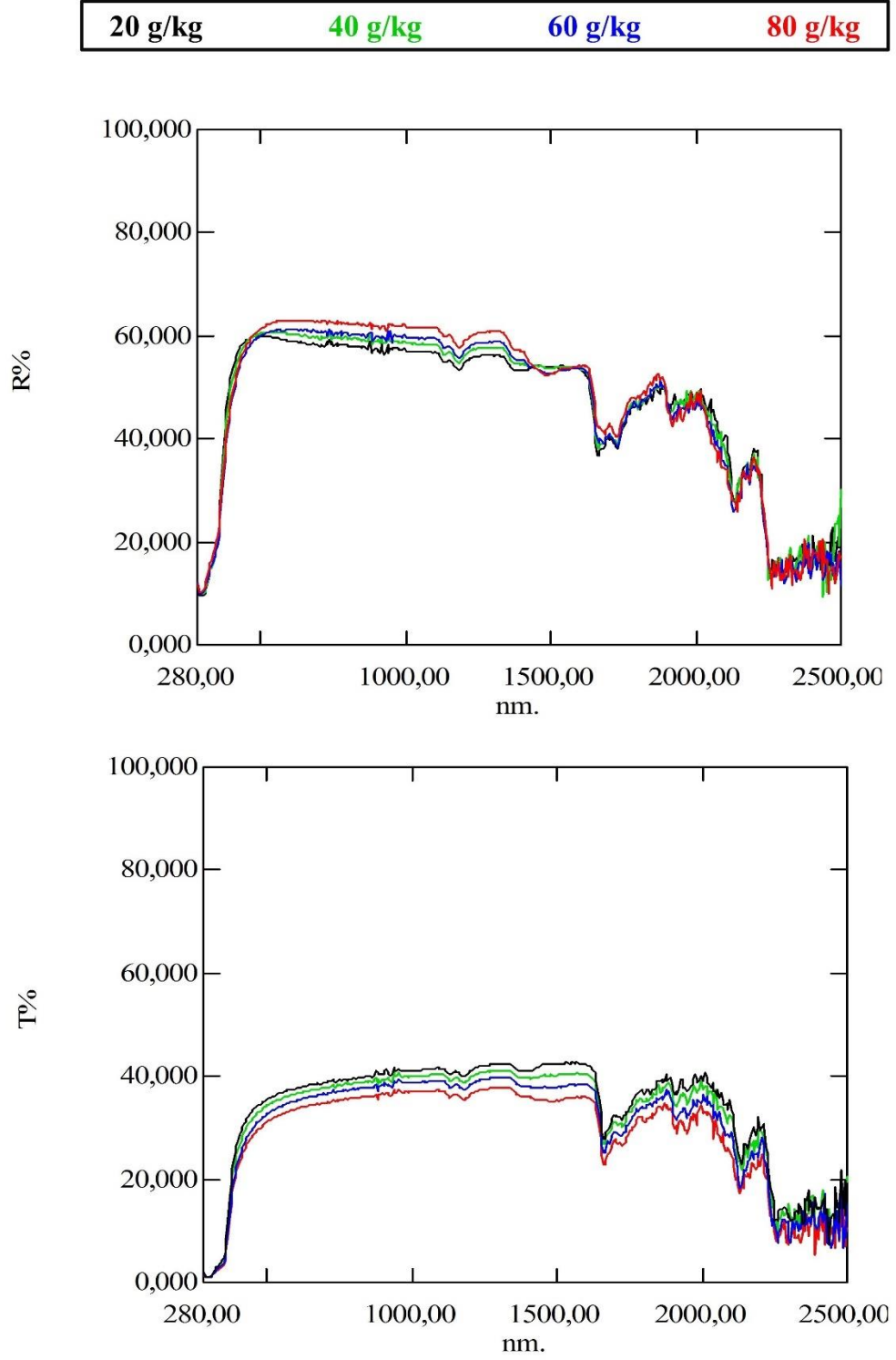
**EK 15 Farklı Tanecik Boyutlarında Pomza ile 80 g/kg Konsantrasyonda
Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri**



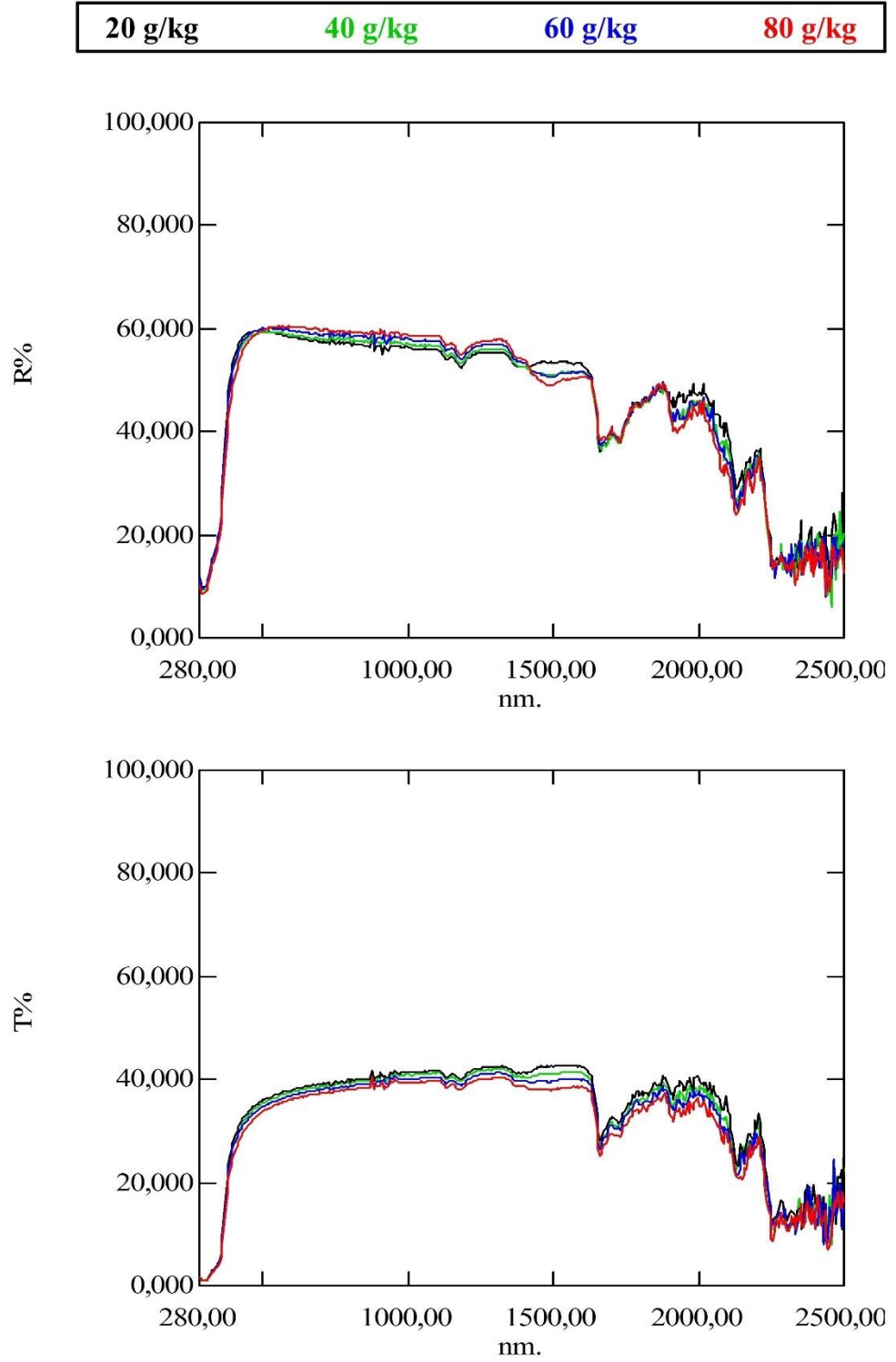
EK 16 18 μm Selüloz Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



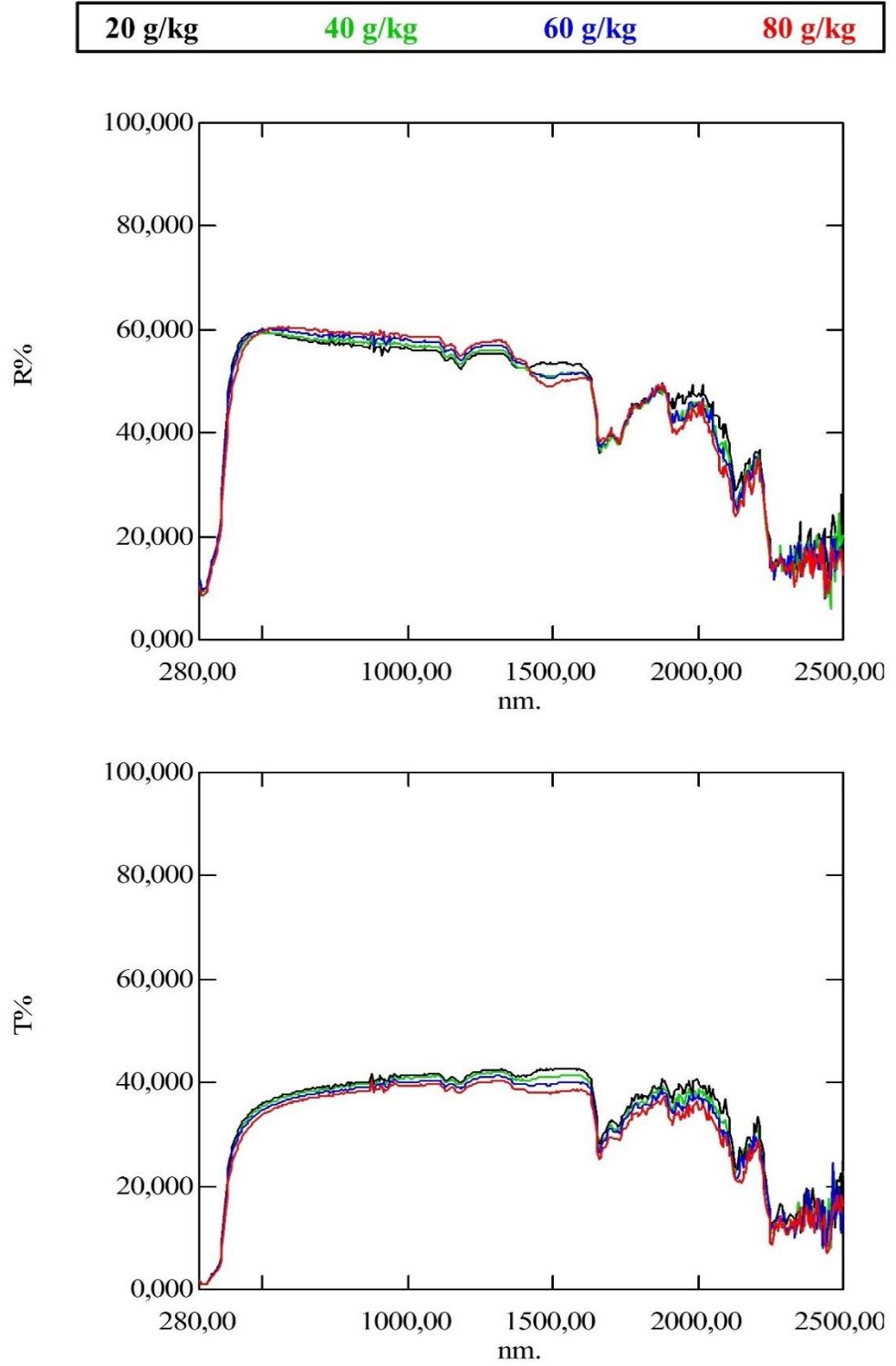
EK 17 120 μm Selüloz Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



EK 18 300 μm Selüloz Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri

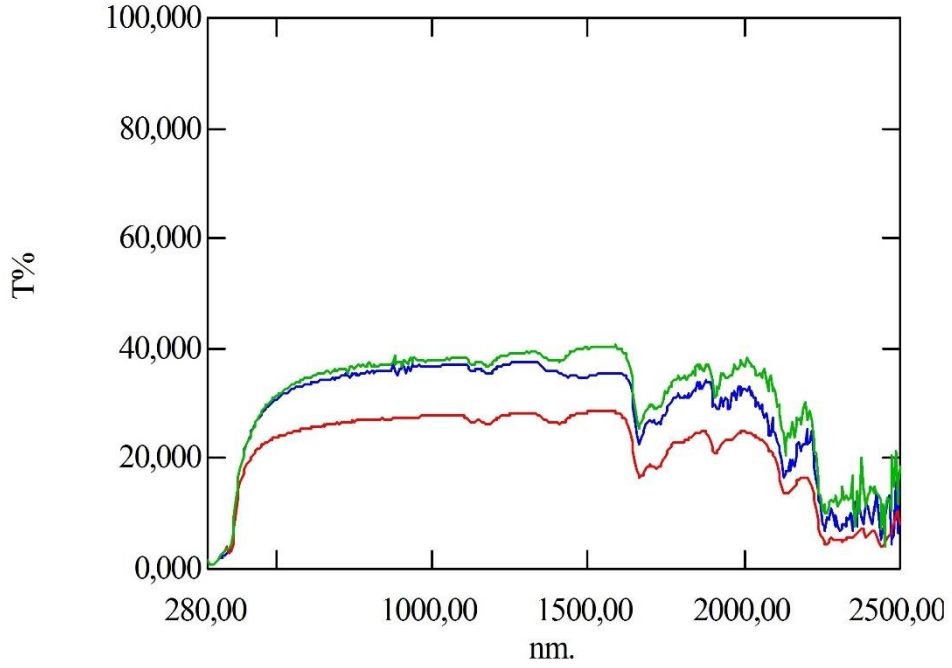
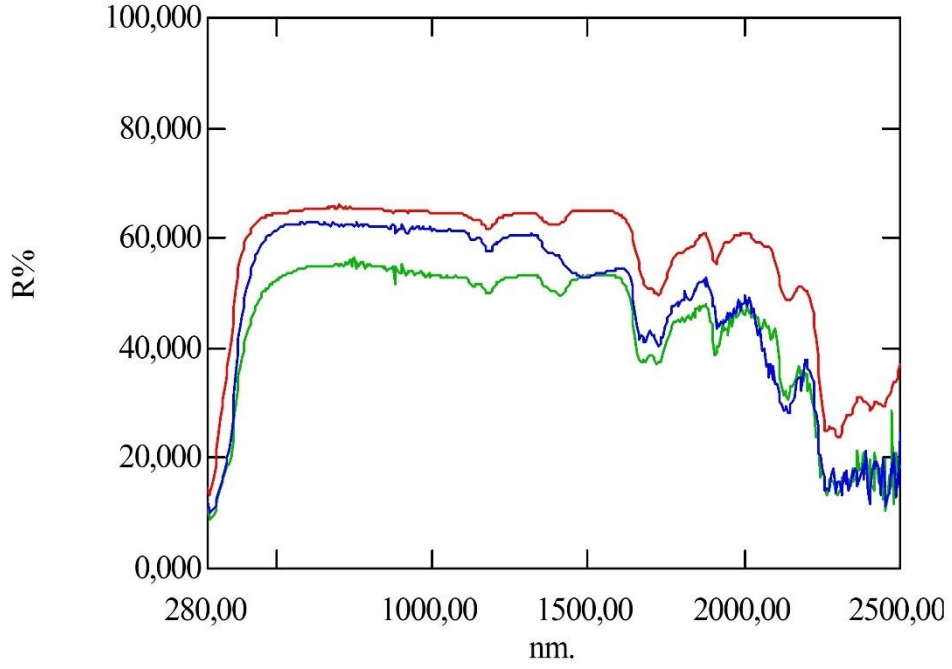


**EK 19 Farklı Tanecik Boyutlarında Selüloz Tozu ile 80 g/kg Konsantrasyonda
Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri**

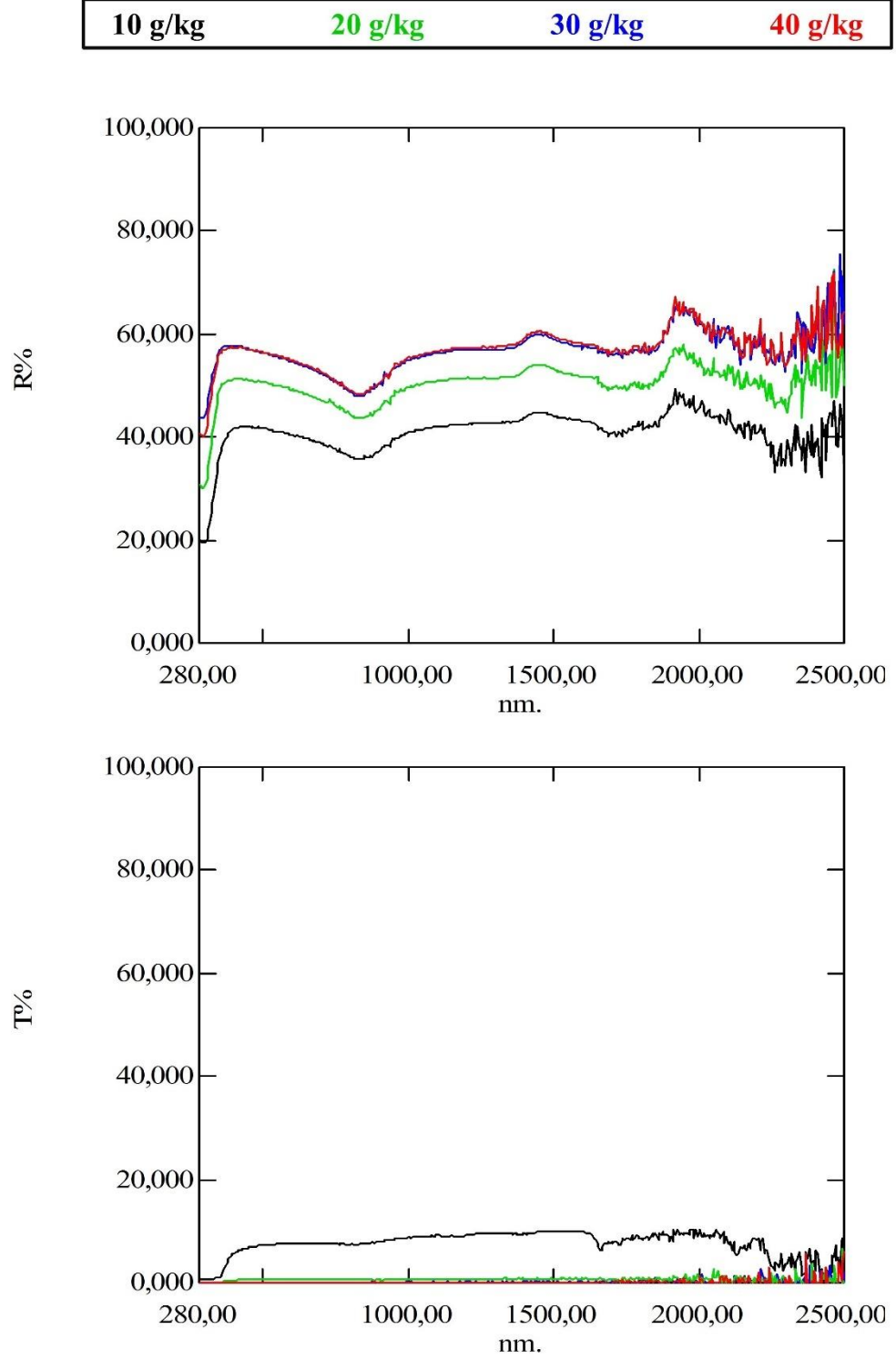


EK 20 Yakın Tanecik Boyutlarına Sahip Perlit, Pomza ve Selüloz Tozu ile 80 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri

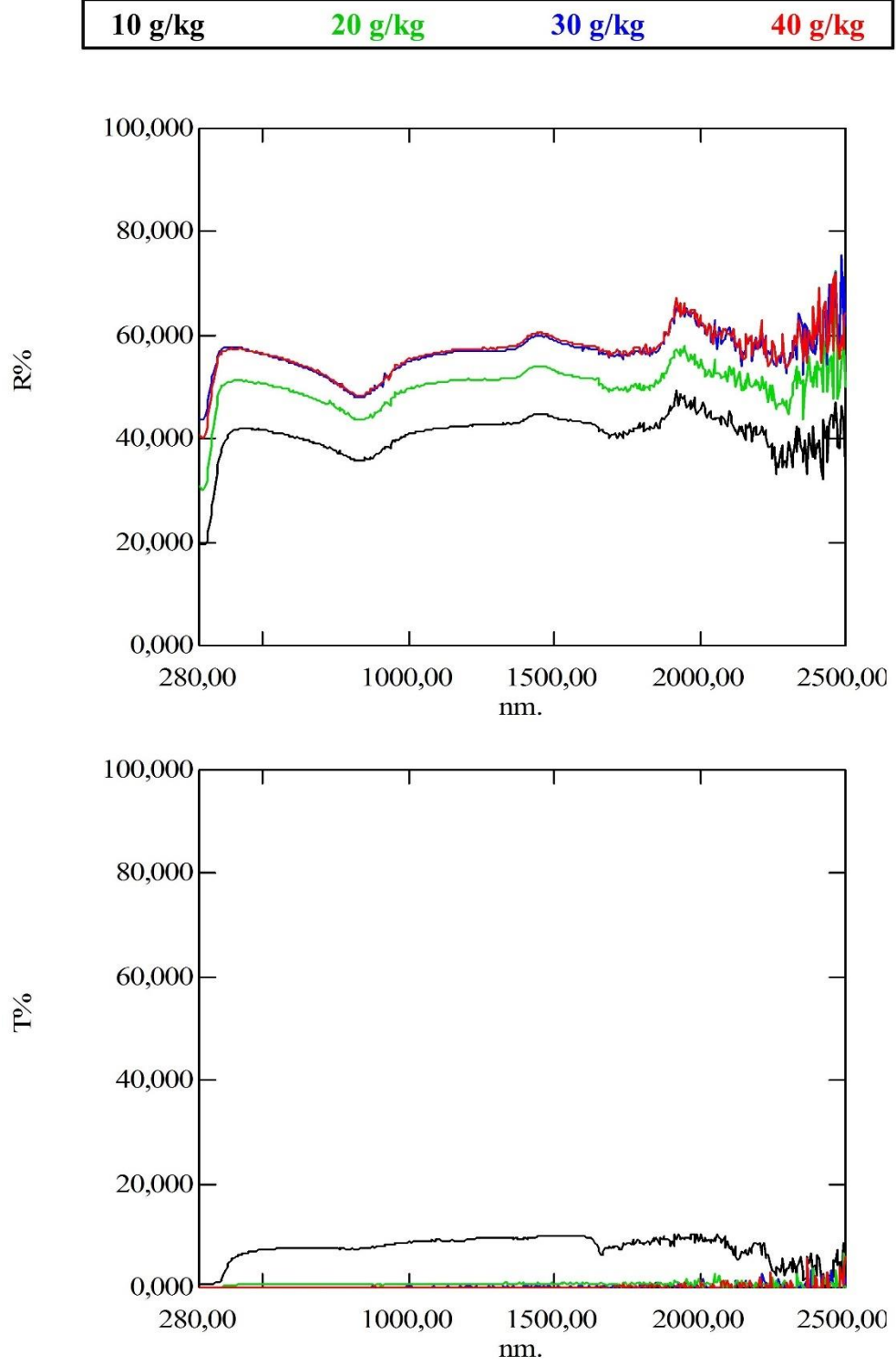
100-125 μm Pomza **120 μm Selüloz tozu** **100-150 μm Perlit**



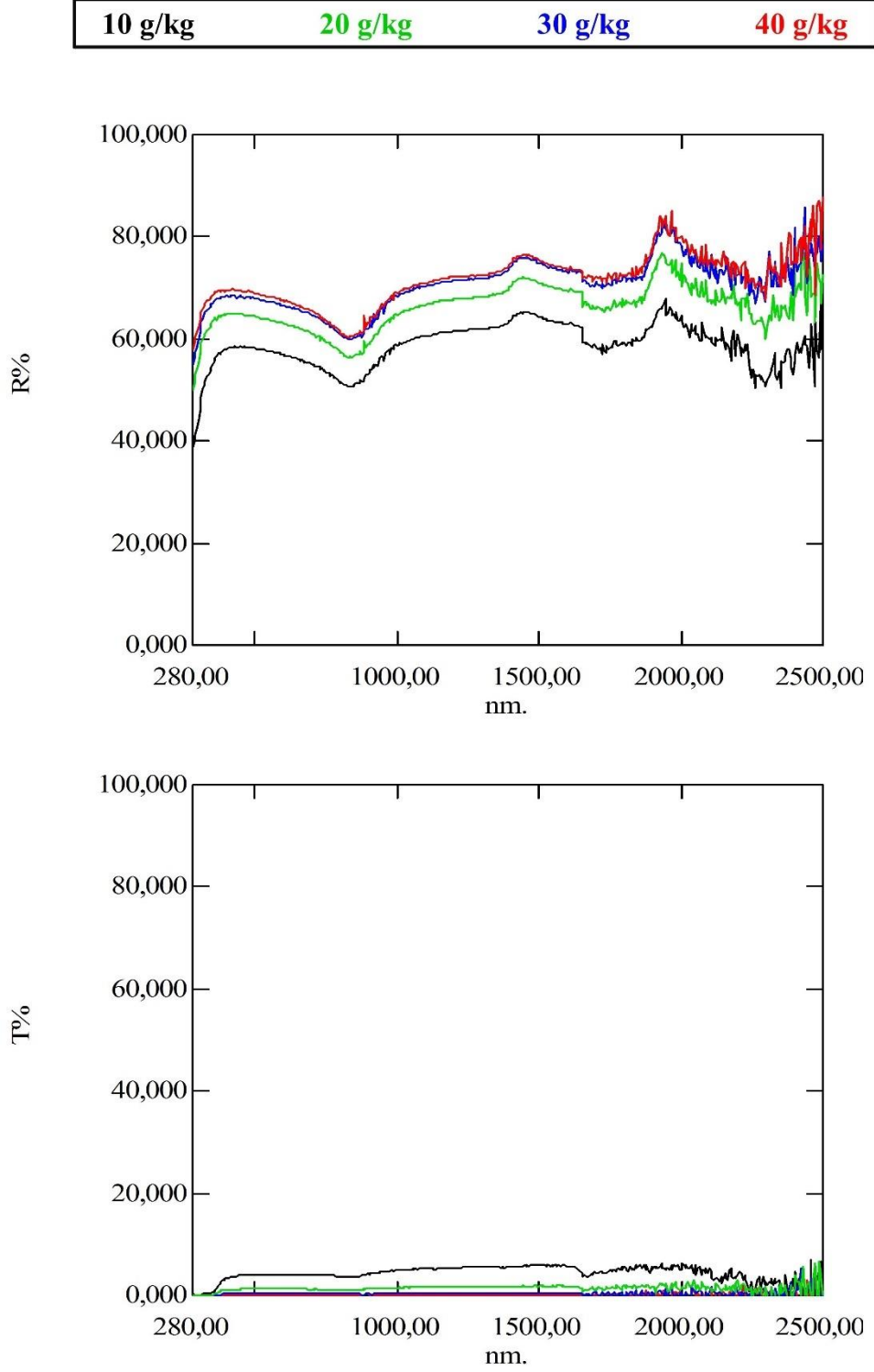
EK 21 14 μm Alüminyum Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



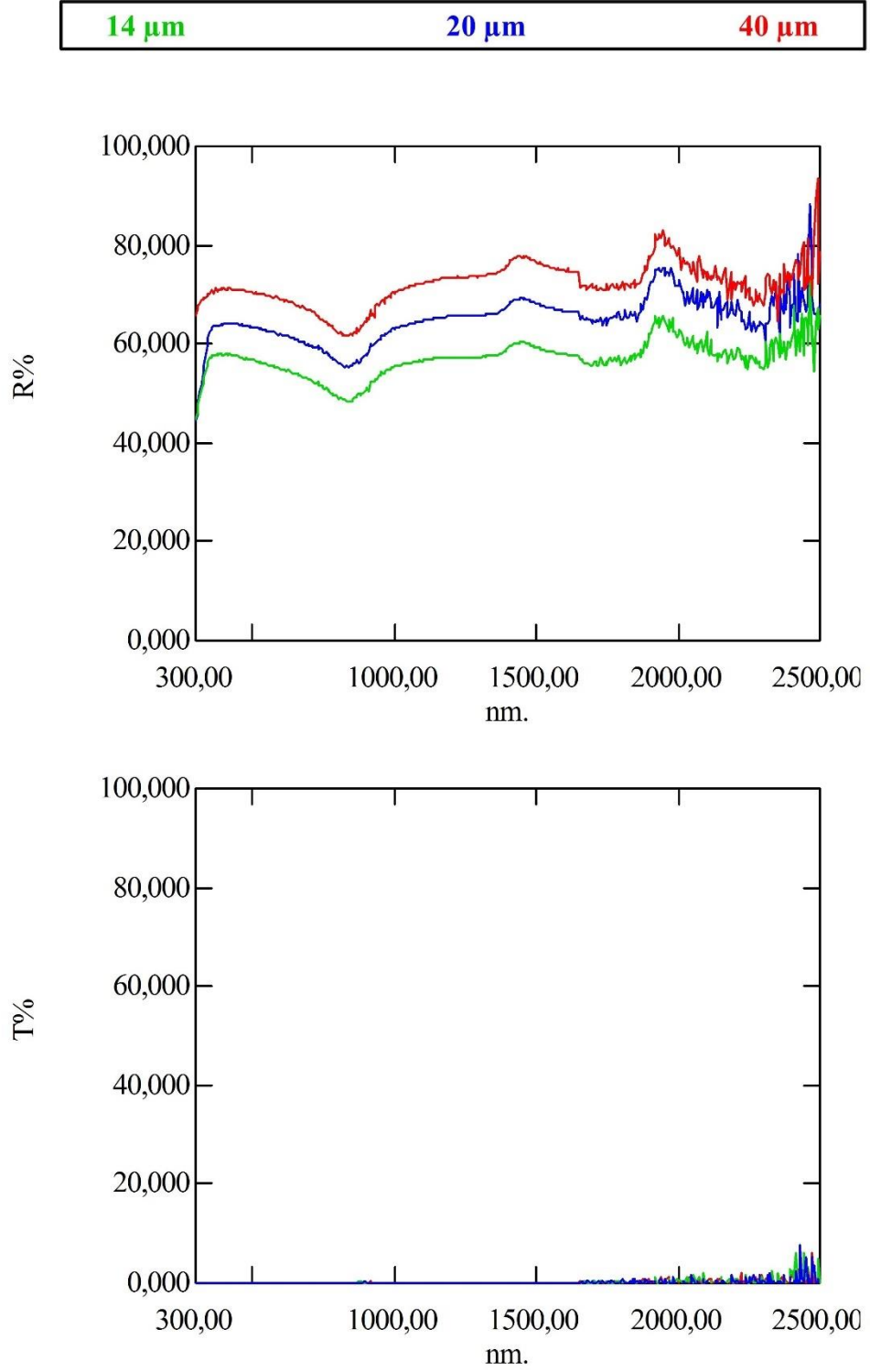
EK 22 20 µm Alüminyum Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



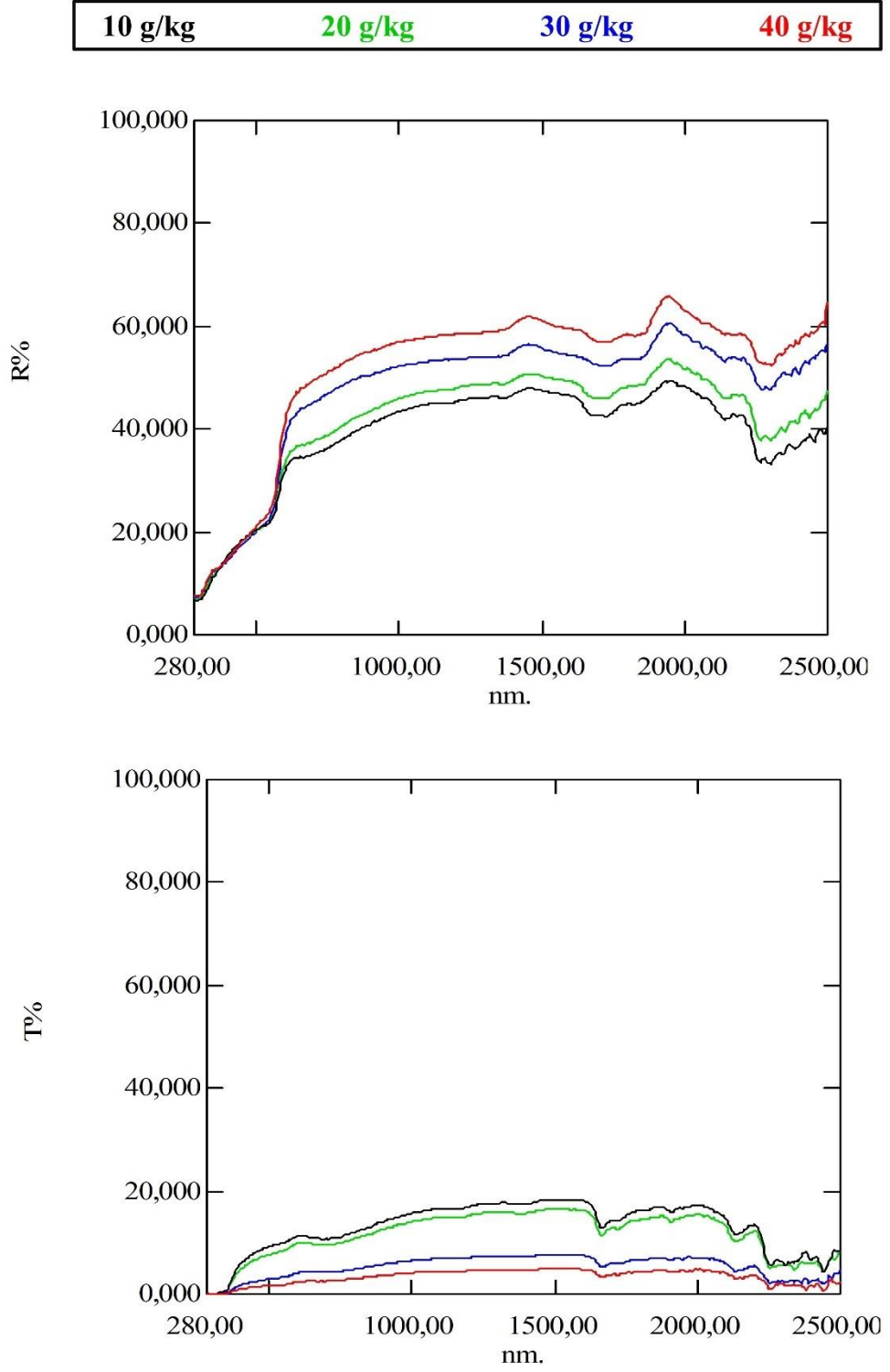
EK 23 40 µm Alüminyum Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



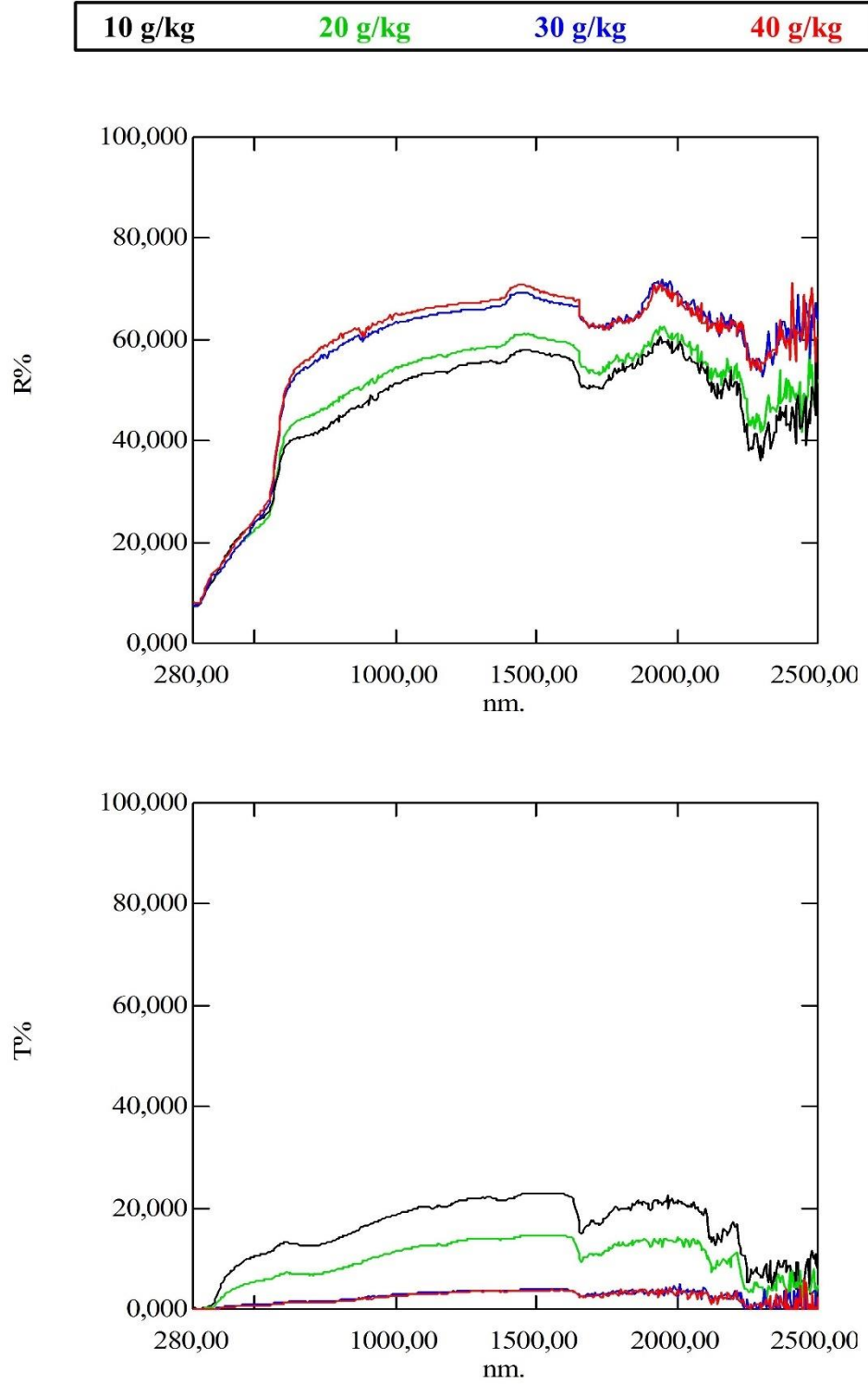
**EK 24 Farklı Tanecik Boyutlarında Alüminyum Tozu ile 40 g/kg Konsantrasyonda
Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri**



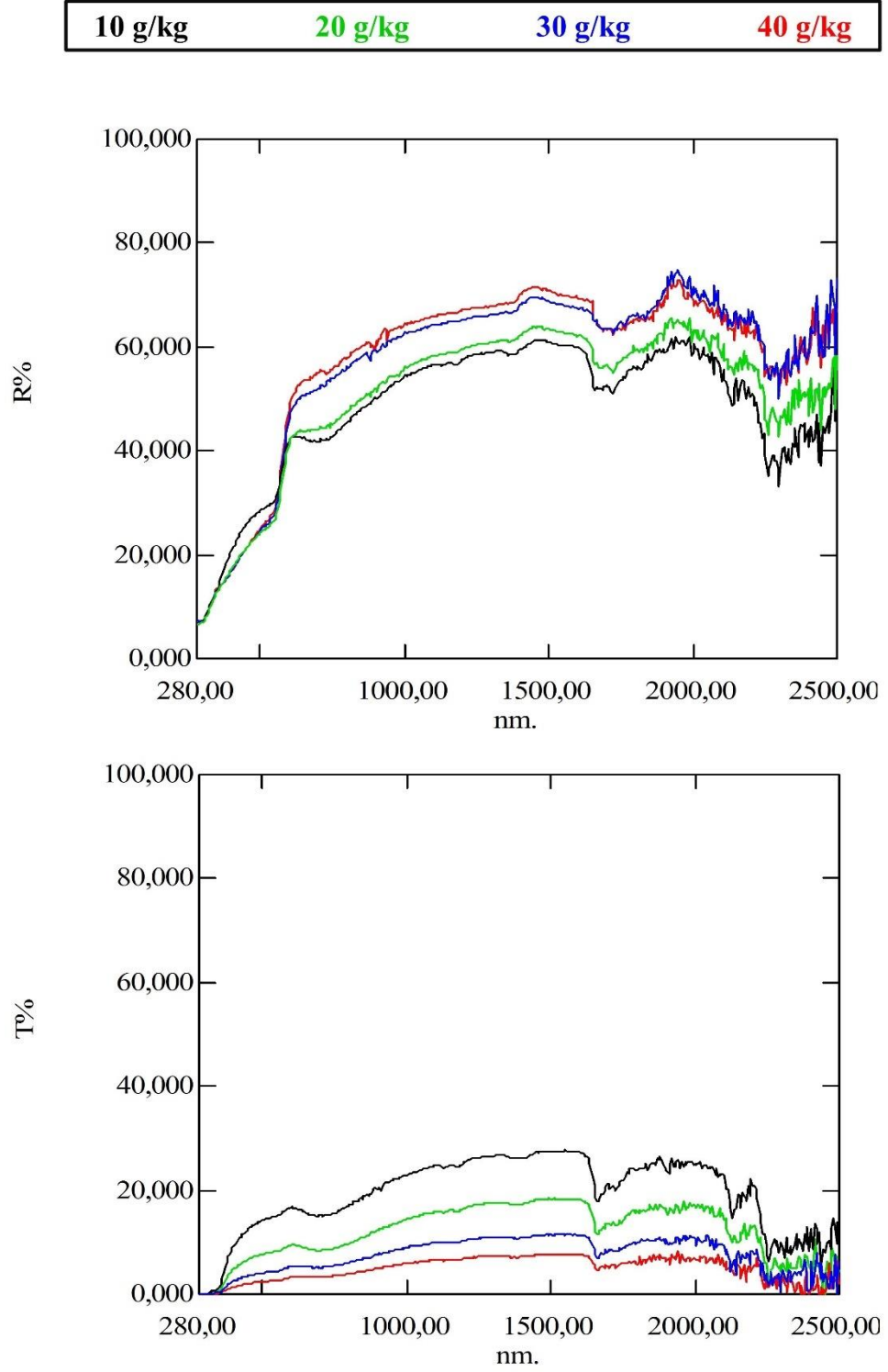
EK 25 15 μm Bakır Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



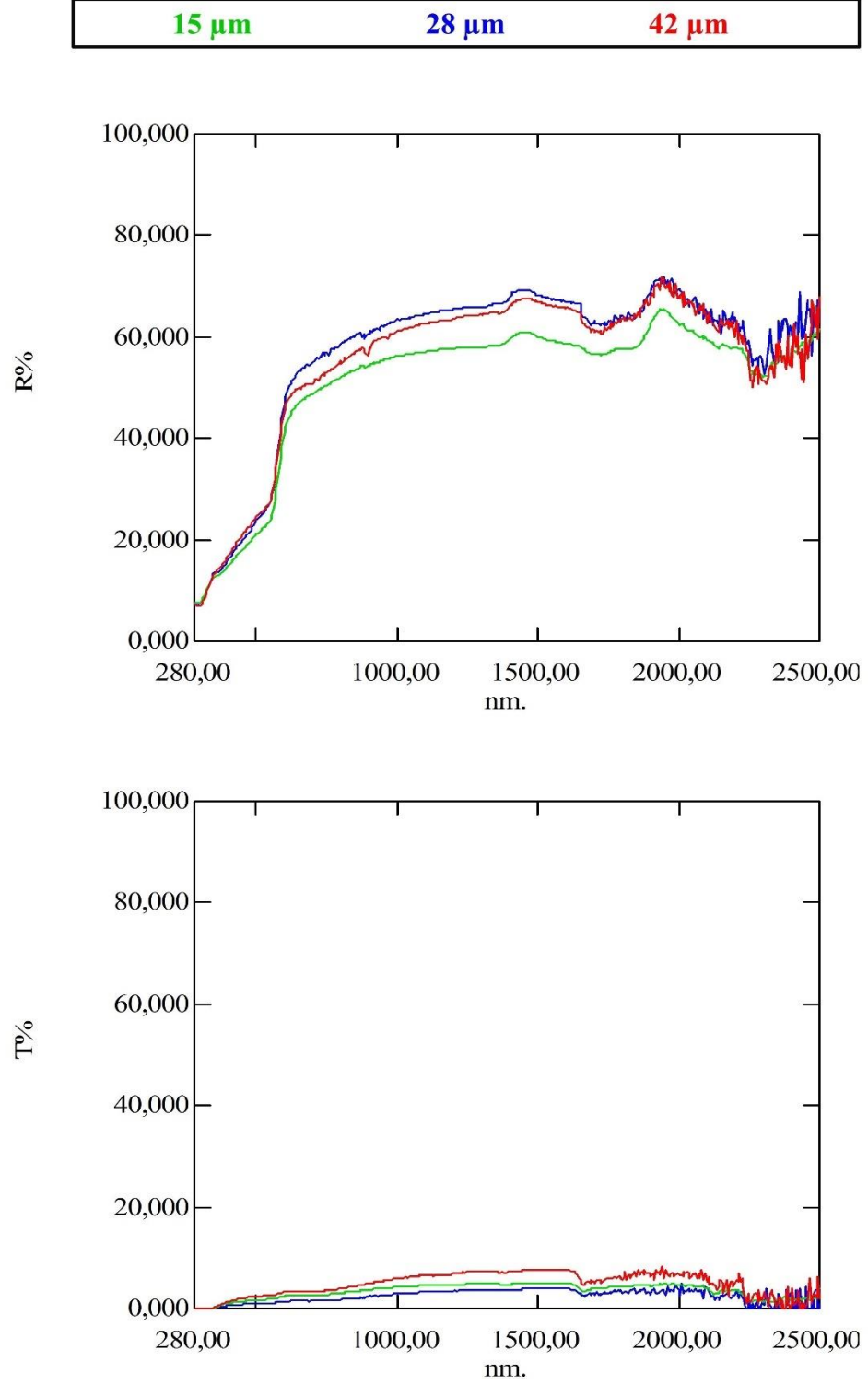
EK 26 28 μm Bakır Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



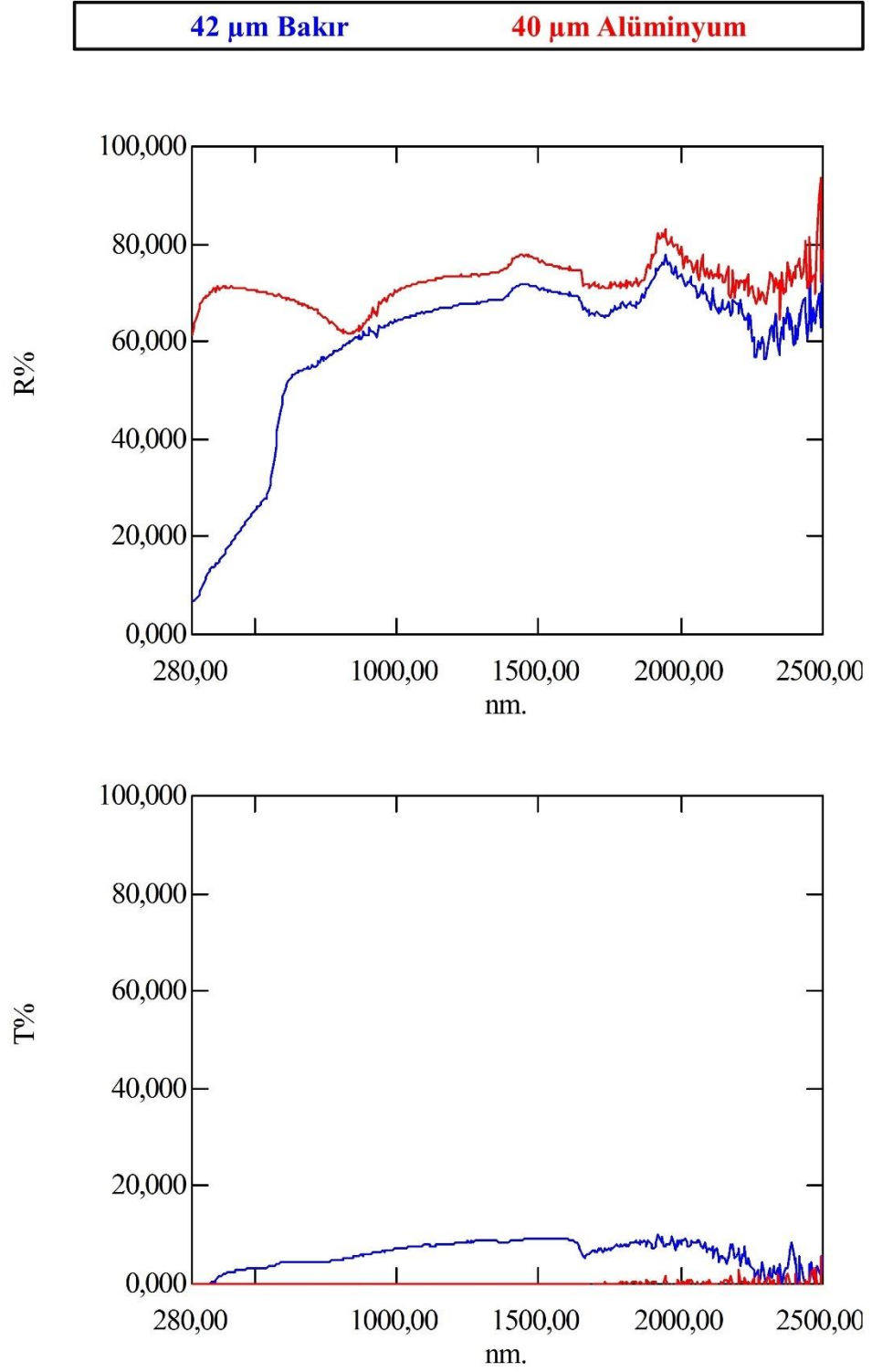
EK 27 42 μm Bakır Tozu ile Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



**EK 28 Farklı Tanecik Boyutlarında Bakır Tozu ile 40 g/kg Konsantrasyonda
Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri**

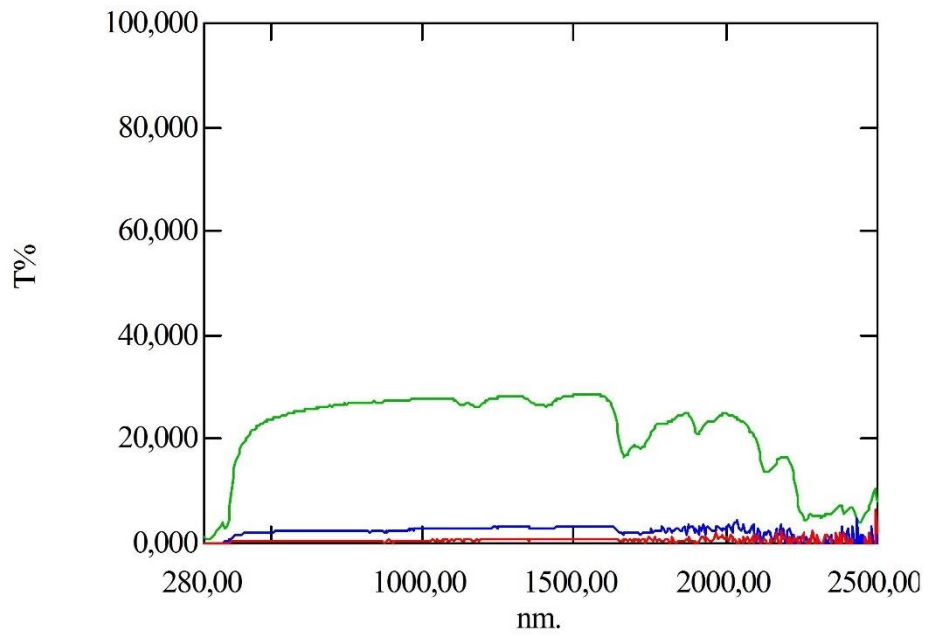
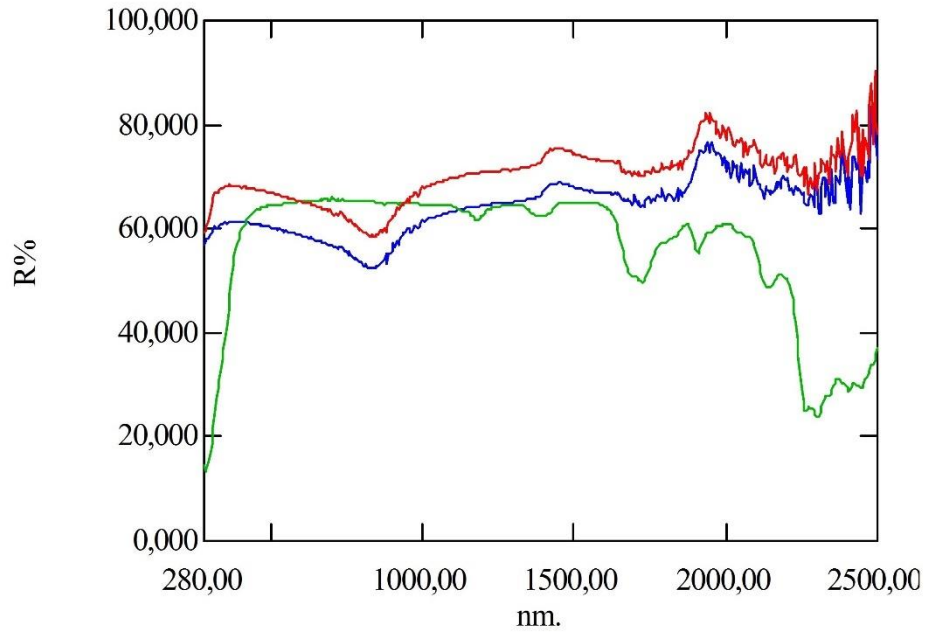


EK 29 Yakın Tanecik Boyutlarına Sahip Alüminyum ve Bakır Tozu ile 40 g/kg Konsantrasyonda Kaplanmış Kumaşların Reflektans ve Transmittans Grafikleri



EK 30 Çok Katlı Numune ve Katmanlarını Oluşturan Kaplamaların Reflektans ve Transmittans Grafikleri

1.Kat:100-150 μm perlit/0,5 mm 2.Kat: 40 μm alüminyum/0,25 mm
Çok katlı numune



ÖZGEÇMİŞ

- Adı Soyadı : Gizem MANASOĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 17.05.1989
Yabancı Dil : İngilizce
- Eğitim Durumu
- Lise : Bursa Kız Lisesi (2003-2007)
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Bölümü (2007-2009)
- Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Bölümü (2009-2011)
- Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü (Lisans Yan dal programı)
(2009-2011)
- Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü
(Açıköğretim) (2009-2013)
- Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil
Mühendisliği Anabilim Dalı (2011-2014)
- Çalıştığı Kurum(lar) : Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı (2013-...)
- İletişim (e-posta) : gmanas@uludag.edu.tr
- Akademik çalışmalar :

Manasoğlu, G. ve Kanık, M. (2022). Investigation of Thermal and Solar Properties of Perlite Coated Woven Fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, Doi: 10.1002/app.51543

Çelen, R., Manasoğlu, G., Ulcay, Y. ve Kanık, M. (2021). Usage of Barium Titanate in Fabric Coating and Investigation of Some Properties. *Fibers and Polymers*, Doi: 10.1007/s12221-021-0440-0

Manasoğlu, G., Çelen, R., Kanik, M. ve Ulcay, Y. (2021). An Investigation on the Thermal and Solar Properties of Graphene-Coated Polyester Fabrics. *Coatings*, 11, Doi: 10.3390/coatings11020125

Manasoğlu, G., Çelen, R., Akgün, M. ve Kanik, M. (2021). The Effect of Graphene Coating on Surface Roughness and Friction Properties of Polyester Fabrics. *Materials Science-Medziagotyra*. 27(4), Doi: 10.5755/j02.ms.27903

Çelen, R., Manasoğlu, G., Ulcay, Y. ve Kanik, M. (2020). *Investigation of Electrical Resistivity and Electromagnetic Shielding Properties of Barium Titanate Coated Fabrics*. 7th International Fiber and Polymer Research Symposium, Bursa, TURKEY.

Manasoğlu, G., Çelen, R., Kanik, M. ve Ulcay, Y. (2019). Electrical Resistivity and Thermal Conductivity Properties of Graphene Coated Woven Fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 136(40), 1-8., Doi: 10.1002/app.48024

Çelen, R., Manasoğlu, G., Ulcay, Y. ve Kanik, M. (2019). *Investigation Thermal Conductivity and Some Performance Properties of Graphene Coated Fabrics*. 17th National 3rd International the Recent Progress Symposium on Textile Technology and Chemistry, Bursa, TURKEY.

Çelen, R., Manasoğlu, G., Ulcay, Y. ve Kanik, M. (2019). *Electrical Resistivity and Bending Rigidity Properties of Graphene Coated Fabrics*. 5.Uluslararası Lif ve Polimer Araştırmaları Sempozyumu, İstanbul, TURKEY.

Manasoğlu, G. ve Kanik, M. (2019). Effect of Fixation Conditions on Yellowing Behavior of Cellulose Powder-coated Fabrics. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, Doi: 10.1177/1558925019829049

Manasoğlu, G., Soruç, S. ve Kanik, M. (2019). *Investigation of Solar Properties of Infrared Reflective Pigment and Organic Pigment Coated Fabrics*. 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, Ankara, TURKEY.

Manasoğlu, G. ve Kanik, M. (2019). *Investigation of Solar Properties of Aluminum and Copper Powder Coated Fabrics*. 4th International Scientific Research Congress, Yalova, TURKEY.

Çelen, R., Manasoğlu, G., Kanik, M. ve Ulcay, Y. (2018). Investigation of Performance Properties of Graphene Coated Fabrics. *International Journal of Modern Research in Engineering and Technology*.

Manasoğlu, G., Çelen, R., Kanik, M. ve Ulcay, Y. (2018). *Investigation Electrical Properties of Fabrics Coated with Barium Titanate and Graphene*. 7th International Technical Textiles Congress, İzmir, TURKEY.

Kanik, M. Manasoğlu, G. ve Soru, S. (2017). *Perde ve Perde Sistemleri Yardımıyla Binalarda Sağlanabilecek Enerji Tasarrufu Potansiyeli*. 16th International The Recent Progress Symposium on Textile Technology and Chemistry, Bursa, TURKEY.

Manasoğlu, G. ve Kanik, M. (2016). *ITMA 2015'te Rotasyon Baskı Teknolojileri*. Y.Ulcay ve Ő. Teke (Ed.), ITMA 2015 Tekstil Makineleri Butekom Teknolojik Değerlendirme Raporu. Yer: Uludağ İhracatçı Birlikleri.

Kanik, M., Soru, S. ve Manasoğlu, G. (2016). *ITMA 2015'te Dijital Baskı Teknolojisi*. Y.Ulcay ve Ő. Teke (Ed.), ITMA 2015 Tekstil Makineleri Butekom Teknolojik Değerlendirme Raporu. Yer: Uludağ İhracatçı Birlikleri.

Manasoğlu, G. ve Kanik, M. (2015). *Thermal Insulation Property of Cellulose Powder Coated Textiles*. 6th International Technical Textiles Congress, İzmır, TURKEY.

Manasoğlu, G. ve Kanik, M. (2015). *Jeo-tekstiller (Geotech)*. Y.Ulcay ve Ő. Teke (Ed.), Teknik Tekstil (2015) Frankfurt Fuarı Butekom Teknolojik Değerlendirme Raporu. içinde. Yer:Uludağ İhracatçı Birlikleri.

Manasoğlu, G. ve Kanik, M. (2014). *The Sound Absorption Property of Cellulose Powder Coated Textiles*. 14th AUTEK World Textile Conference, Bursa, TURKEY.

Kanik, M. ve Manasoğlu, G. (2014). *Enerji Tasarrufu Sağlayan ok Fonksiyonlu Karartma (Black-out) Perdeliklerin Geliştirilmesi*. 13. Uluslararası İzmır Tekstil ve Hazır Giyim Sempozyumu, İzmır, TURKEY.

Binalarda Enerji Tasarrufu Sağlamaya Yönelik Perdelik Kumaş Yapılarının Geliştirilmesi, TÜBİTAK 1001 Projesi, Bursiyer: Gizem MANASOĞLU, Yürütücü: Prof. Dr. Mehmet KANIK, (2015-2018).