

**POLYESTER KUMAŞLARIN ISI YALITIM VE SOLAR
ÖZELLİKLERİNİN AEROJEL KAPLAMA
YÖNTEMİYLE GELİŞTİRİLMESİ**

Atike KÖKEN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POLYESTER KUMAŞLARIN ISI YALITIM VE SOLAR ÖZELLİKLERİNİN
AEROJEL KAPLAMA YÖNTEMİYLE GELİŞTİRİLMESİ**

Atike KÖKEN
0000-0002-1781-5025

Prof. Dr. Mehmet KANIK
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Atike KÖKEN tarafından hazırlanan “Polyester Kumaşların Isı Yalıtım ve Solar Özelliklerinin Aerojel Kaplama Yöntemiyle Geliştirilmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mehmet KANIK

- Başkan** : Prof. Dr. Hasan Basri KOÇER
0000-0003-2612-6712
Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza
- Üye** : Prof. Dr. Mehmet KANIK
0000-0003-2317-7282
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza
- Üye** : Prof. Dr. Kenan YILDIRIM
0000-0002-1640-6035
Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza
- Üye** : Prof. Dr. Yakup AYKUT
0000-0002-5263-1985
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza
- Üye** : Prof. Dr. Ayça GÜRARDA
0000-0002-7317-8163
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı
İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali KARA
Enstitü Müdürü

.././.....

B.U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.../.../.....

Atike KÖKEN

TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Prof. Dr. Mehmet KANIK
Tarih

Atike KÖKEN
Tarih

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

ÖZET

Doktora Tezi

POLYESTER KUMAŞLARIN ISI YALITIM VE SOLAR ÖZELLİKLERİNİN AEROJEL KAPLAMA YÖNTEMİYLE GELİŞTİRİLMESİ

Atike KÖKEN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet KANIK

Tekstil malzemeleri yapılan araştırmalar ve teknolojik gelişmelerin etkisiyle önemli bir dönüşüm içerisinde. Son yıllarda güç tutuşurluk, su geçirmezlik, ısı yalıtımı, antibakteriyellik gibi önemli teknik ve fonksiyonel özellikleri sağlayan teknik tekstillere olan ihtiyaç ve ilgi giderek artmaktadır. Teknolojik gelişmelerin ışığında yeni malzemelerin geliştirilmesi teknik tekstillerin yaygınlaşmasında ve üretilmesinde önemli bir itici güç olmuştur. Aerojeller, gelişimi özellikle 1990 yılları sonrasında hızlanan, süper yalıtım malzemesi olarak bilinen önemli bir malzemesidir. Aerojeller dünyadaki en düşük yoğunluğa ve ısı iletim katsayısına sahip katı maddeler olarak tanımlanmaktadır. Tekstil endüstrisinde de fonksiyonel ve teknik tekstillerin elde edilmesinde arojel kullanım çabaları devam etmektedir.

Bu tez çalışmasının temel amacı arojel tozlarının kaplama prosesinde katkı maddesi olarak kullanımıyla kumaşların ısı yalıtım özelliklerinin geliştirilmesi ve ilgili parametre etkilerinin incelenmesidir. Bu amaçla kaplama patlarında katkı maddesi olarak silika arojel tozları kullanılarak silindir üzeri rakle yöntemi ile polyester kumaşlar üzerine kaplama işlemleri uygulanmıştır. Çalışmalar kapsamında fiksaj sıcaklığı ve süresi, kaplama binder türü ve konsantrasyonu, silika arojel tanecik boyutu ve konsantrasyonu, kaplama kalınlığı ve kaplama katmanlarının etkisinin incelenmesine yönelik kaplamalar yapılmıştır. Kaplanan kumaşların birim alan ağırlıkları, kumaş kalınlık değerleri, birim alana aktarılan kuru madde miktarı, sarılık indeksi, ısı iletim katsayısı, ısıl direnç katsayısı ve solar özelliklere ait sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; çalışılan binder türleri arasında en uygun etkinin saf akrilik ve poliüretan bazlı binderler ile sağlandığını ve binder konsantrasyonunun yükselmesiyle birlikte özellikle ısı iletim katsayısının düştüğünü ortaya koymuştur. Öte yandan tez çalışmasının temel unsuru olan arojellerin ısı yalıtımına olumlu etkisinin olduğu, konsantrasyon ve partikül büyüklüğü arttıkça ısı iletim katsayısının azaldığı, solar yansıtma değerlerinin ise azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Kaplama kalınlığının ve katman sayısının da arojel kaplamalarda ısı iletim katsayısının kör kaplamalara kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Kumaş üzerine aktarılan arojel miktarının artırılmasıyla ısı yalıtımına katkı sağlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Aerojel kaplama, polyester, ısı yalıtımı, solar özellik, teknik tekstil, tekstil kaplama

2023, xvi + 100 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

IMPROVEMENT OF THERMAL INSULATION AND SOLAR PROPERTIES OF POLYESTER FABRICS WITH AEROGEL COATING METHOD

Atike KOKEN

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

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet KANİK

Textile materials are in an important transformation through the researches and the technological developments. In recent years, the need and interest in technical textiles, which provide important technical and functional properties such as flame retardancy, water resistance, thermal insulation has been increasing. The development of new materials has been an important driving force in the spread and production of technical textiles. The development of aerogels accelerated especially after the 1990s and is an important insulation material known as super insulation material. Aerogels are defined as solid materials with the lowest density and lowest thermal conductivity coefficient in the world. In the textile industry, studies on the use of aerogel in the production of functional and technical textiles are continuing.

The main purpose of the thesis is to improve the thermal insulation values of fabrics by using aerogel powders as additives in the coating process and to examine the effects of related parameters. For this purposes, coating processes were applied on polyester fabrics by using the knife on roll method by using silica aerogel powders as an additive in coating pastes. The coatings were made to examine the effect of fixation temperature and time, coating binder type and concentration, particle size and concentration of silica aerogel, coating thickness and coating layers. The mass per unit area, thickness, dry add-on, yellowness index, thermal conductivity and solar properties of the coated fabrics were evaluated. The results revealed that the most suitable effect among the binder types examined was achieved with pure acrylic and polyurethane based binders, and with the increase of the binder concentration, especially the thermal insulation coefficient decreased. Besides, it has been observed that aerogels have a positive effect on thermal insulation values, as the concentration and particle size increase, the thermal conductivity and the solar reflectance properties decrease. Also the coating thickness and coated layers of the fabric are another promoting factor of the aerogels insulation affect. By increasing the amount of aerogel transferred onto the fabric by coating thickness and/or layers, it contributes to thermal insulation.

Key words: Aerogel coating, polyester, thermal insulation, solar properties, technical textiles, textile coating.

2023, xvi + 100 pages.

TEŞEKKÜR

Doktora tezimin tüm aşamalarında ve çalışmalarım süresince desteklerini her zaman yanımda hissettiğim değerli görüşleri ile yolumu aydınlatan kıymetli tez danışmanım Prof. Dr. Mehmet KANIK'a, tezimin deneysel çalışmaları ile ilgili değerli görüşlerini paylaşan ve çalışmalarım katkı sağlayan Prof. Dr. Kenan YILDIRIM ve Prof. Dr. Yakup AYKUT'a ve tez jürimde katkı sağlayan değerli hocalarım Prof. Dr. Hasan Basri KOÇER ve Prof. Dr. Ayça GÜRARDA'ya,

Tez çalışmamı FDK-2021-328 nolu proje ile destekleyen Bursa Uludağ Üniversitesi'ne ve Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi yönetimine ve ilgili personellere,

Tez çalışmamda kullandığım ve bedelsiz olarak; aerojelleri tedarik ettiğim Cabot Corporation firmasına, kaplama binderlerini sağlayan Kemiteks ve CHT'ye, yardımcı kimyasalları sağlayan Rudolf Duraner'e ve zemin kumaşını sağlayan DKC Teknik Kaplama firmasına ve yöneticileri Burçin DİKİCİ BORA ve Şeref BORA'ya,

Tez çalışmalarım bilgi birikimleri ile kılavuzluk eden çok değerli arkadaşlarım Dr. Nadide SEYHUN, Dr. Gizem MANASOĞLU, Dr. Fatma DEMİRCİ, Dr. Duygu GAZİOĞLU RÜZGAR, Dr. Rustem HODJİYEV ve Dr. İbrahim Gürsu TEKDEMİR'e,

Doktora eğitimimdeki bu zorlu yolda manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim değerli dostlarım Dr. İdil YİĞİT, Ebru DEMİR, Sibel ÇARABATIR, Ebru Zehra ÜNÜLÜ, Neslihan YÜRÜK, Mesude TAŞOVA, Serpil AKTAŞ, Sevinç AKTAŞ, Yeşim VATANSEVER, Makbule ÖZEN, Meral BAYRAMOĞLU, Ömer YİĞİT, Mesut DEMİR, Halil İbrahim TAŞOVA, Ali RÜZGAR ve Dr. Enver ÇAVUŞOĞLU'na,

Doktora tez çalışmam ile birlikte yürüttüğüm profesyonel çalışma hayatımda birlikte yol aldığım ve desteklerini esirgemeyen değerli yöneticilerim; Prof. Dr. Ramazan KURT ve Prof. Dr. Ayşe BEDELOĞLU'na, değerli çalışma arkadaşlarım Yasemin AKTOPRAK, Nurbeyaz ALTIN, Ayşenur SİĞİNDERE, Havvanur YILMAZ'a,

Laboratuvar çalışmalarım sağladığı desteklerden dolayı değerli meslektaşım Aybüke KORAL'a ve Tekstil Mühendisliği Bölüm Laboratuvarları'nda ihtiyaç duyduğum her konuda ve zamanda destek sağlayan Dr. Mehmet TİRİTOĞLU'na,

Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitim sürecimde sağladıkları bilgiler ve verdikleri emekler için Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümü hocalarıma,

Son olarak bana inanarak, sevgiyle ve sabırla her zaman beni destekleyen, bu günlere gelmemi sağlayan çok sevgili ailem; annem Hanife KÖKEN, babam Abdurahman KÖKEN ve kardeşlerim Şaban Kaan KÖKEN ve Latife KÖKEN'e

sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Atike KÖKEN
17/08/2023

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Tekstil Kaplamacılığı.....	4
2.1.1. Kaplamada kullanılan malzemeler.....	4
2.2. Aerojeller.....	10
2.2.1. Aerojel üretimi.....	12
2.2.2. Aerojellerin sınıflandırılması.....	15
2.2.3. Silika aerojeller.....	18
2.2.4. Aerojellerin ısı yalıtım özellikleri.....	20
2.2.5. Aerojellerin tekstil materyallerine uygulamaları.....	23
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	31
3.1. Materyal.....	31
3.1.1. Kumaş.....	31
3.1.2. Kaplama kimyasalları.....	31
3.1.3. Aerojeller.....	32
3.2. Yöntem.....	32
3.2.1. Fiksaj süre-sıcaklık değerlerinin belirlenmesine yönelik kaplama çalışmaları.....	33
3.2.2. Binder türü ve konsantrasyon etkisinin incelenmesine yönelik kaplama çalışmaları.....	34
3.2.3. Aerojel partikül büyüklüğünün ve konsantrasyon etkisinin araştırılmasına yönelik kaplama çalışmaları.....	35
3.2.4. Kaplama kalınlığı ve katman sayısı etkisinin araştırılmasına yönelik kaplama çalışmaları.....	36
3.2.5. Kaplama patlarının hazırlanması ve kaplama işlemlerinde kullanılan cihazlar.....	37
3.2.6. Kaplama numunelerinin kodlanması.....	38
3.2.7. Kumaşların birim alan ağırlığı ve kalınlık ölçümleri.....	38
3.2.8. Aktarılan kaplama maddesi miktarının hesaplanması.....	39
3.2.9. Taramalı elektron mikroskop (SEM) analizi.....	39
3.2.10. Kaplanmış kumaşların sararma oranının ölçülmesi.....	40
3.2.11. Isı iletim ve ısıl direnç katsayısı ölçümü.....	40
3.2.12. Kumaşların solar özelliklerinin ölçümü.....	41
3.2.13. İstatistiksel Analizler.....	42
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	43
4.1. Fiksaj Sıcaklık Değerlerinin Belirlenmesine Yönelik Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar.....	43
4.1.1. Birim alan ağırlığı, kalınlık ve aktarılan kuru madde miktarı ölçüm sonuçları.....	43
4.1.2. Sarılık indeksi ölçüm sonuçları.....	43

4.2. Binder Türü ve Konsantrasyon Etkisinin Araştırılmasına ait Sonuçlar	44
4.2.1. Birim ağırlık ve aktarılan kaplama madde miktarı ölçüm sonuçları.....	44
4.2.2. Kumaş kalınlık ölçüm sonuçları	47
4.2.3. Sarılık indeksi ölçüm sonuçları	49
4.2.4. Isı iletim ve ısı direnç katsayısı test sonuçları	50
4.2.5. Spektrofotometrik analiz ölçüm test sonuçları	54
4.3. Aerojel Partikül Büyüklüğünün ve Konsantrasyon Etkisinin Araştırılmasına ait Sonuçlar	64
4.3.1. SEM analiz sonuçları	64
4.3.2. Birim ağırlık ölçüm sonuçları	65
4.3.3. Kumaş kalınlık ölçüm sonuçları	66
4.3.4. Sarılık indeksi ölçüm sonuçları	67
4.3.5. Isı iletim ve ısı direnç katsayısı test sonuçları	68
4.3.5. Spektrofotometrik analiz sonuçları.....	71
4.4. Kapsama Kalınlığı Etkisinin Araştırılmasına Ait Sonuçlar	77
4.4.1. Birim alan ağırlığı ve aktarılan kaplama madde miktarı ölçüm sonuçları.....	77
4.4.2. Kumaş kalınlık ölçüm sonuçları	78
4.4.3. Sarılık indeksi ölçüm sonuçları	79
4.4.4. Isı iletim ve ısı direnç katsayısı test sonuçları	80
4.4.5. Spektrofotometrik analiz sonuçları.....	81
4.5. Kapsama Katman Sayısı Etkisinin Araştırılmasına Ait Sonuçlar	84
4.5.1. Birim ağırlık ölçüm sonuçları	85
4.5.2. Kumaş kalınlık ölçüm sonuçları	86
4.5.3. Sarılık indeksi ölçüm sonuçları	86
4.5.5. Spektrofotometrik analiz sonuçları.....	89
5. SONUÇ	92
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	100

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A	Absorbans
Atm	Atmosfer basıncı
cm	Santimetre
cPs	Santipoise
db	Decibel
dPas	Desipascal saniye
g	Gram
h	Kumaş kalınlığı
K	Kelvin
kg	Kilogram
kW	Kilowatt
m	Metre
mm	Milimetre
Nm	Nanometre
°C	Celcius derece
Q	Isı transferi
R	Isıl direnç
R	Yansıtma (Reflektans)
S	Yüzey alanı
T	Geçirgenlik (Transmitans)
Δt	Sıcaklık farkı
Λ	Isı iletim katsayısı
μm	Mikronmetre

Kısaltmalar	Açıklama
AC	Saf akrilik
AK	Akrilik
ASTM	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
C	Karbon
CERN	Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi
CNT	Karbon nanotüp
CO ₂	Karbondioksit
CRF	Karbonize resorsinol formaldehit
EN	İngiliz Standardı
FTIR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
GO	Grafen Oksit
IR	Kızılötesi
ISO	Uluslararası Standartlar Teşkilatı
LOI	Limit Oksijen İndeksi
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
PBO	Poli(benzoksazin)
PES	Poli(etilenteraftalat)
PTFE	Poli(tetrafloroetilen)
PU	Poliüretan
PVC	Poli(vinil klorür)
RF	Radyofrekans
RF	Resorsinol formaldehit
rGO	İndirgenmiş grafen oksit
S	Stiren Akrilik
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SiC	Silisyum karbür
SiO ₂	Silisyum dioksit
TiO ₂	Titanyum dioksit
UV	Ultraviöle
VA	Vinil Akrilik
XPS	Extrüde Polistiren
ZrO ₂	Zirkonyum dioksit

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Kaplama katmanları	4
Şekil 2.2. Kaplanmış tekstillere örnekler	6
Şekil 2.3. Kaplama prosesi.....	8
Şekil 2.4. Aerojel görüntüsü	11
Şekil 2.5. Aerojel oluşum prosesi	13
Şekil 2.6. Modifiye silika arojellere ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri	14
Şekil 2.7. Aerojellerin sınıflandırılması	17
Şekil 2.8. Örnek silika aerojel molokül ve ağ yapısı.....	18
Şekil 2.9. Aerojellerin kullanım alanları	19
Şekil 2.10. Aerojel içinde ısı aktarımı temel prensipleri.....	22
Şekil 3.1. Kaplama patlarının hazırlık aşamasında kullanılan cihazlar	37
Şekil 3.2. Numune kaplama makinesi.....	38
Şekil 3.3. Kumaş kalınlık ölçüm cihazı	39
Şekil 3.4. Taramalı elektron mikroskobu.....	39
Şekil 3.5. Alambeta test cihazı ve kesit şekli	40
Şekil 4.2. Kör ve %4 aerojel kaplı kumaşların SEM yüzey görüntüleri	64
Şekil 4.3. Kör ve %4 aerojel kaplı kumaşların SEM kesit görüntüleri.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Kaplama metotları	8
Çizelge 2.2. Aerojellere ait fiziki özellikler	11
Çizelge 2.3. Aerojel üreticileri	15
Çizelge 2.4. Malzemelerin ısı iletim katsayıları	21
Çizelge 3.1. Zemin kumaş özellikleri	31
Çizelge 3.2. Binderler ve özellikleri	31
Çizelge 3.3. Yardımcı kimyasallar ve özellikleri	32
Çizelge 3.4. Aerojeller ve özellikleri	32
Çizelge 3.5. Fiksaj süre ve sıcaklık çalışmaları için kör kaplama reçetesi	33
Çizelge 3.6. Binder etkisi için kör kaplama reçeteleri	34
Çizelge 3.7. Binder etkisi için arojelle kaplama reçeteleri	35
Çizelge 3.8. Aerojel tanecik boyutu ve konsantrasyon etkisi için kaplama reçeteleri	36
Çizelge 3.9. Katman çalışması kodları	38
Çizelge 3.10. Spektrofotometre program çıktıları	42
Çizelge 4.1. Birim alan ağırlığı, ağırlık artışı ve kalınlık ölçüm sonuçları	43
Çizelge 4.2. Sarılık indeksi ölçüm sonuçları	44
Çizelge 4.3. Farklı binder tür ve konsantrasyonlarında kör kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı ölçüm sonuçları	44
Çizelge 4.4. Farklı binder tür ve konsantrasyonlarında arojelle kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı ölçüm sonuçları	45
Çizelge 4.5. Farklı binder tür ve konsantrasyonlarda kör kaplanmış kumaşların birim alana aktarılan kuru madde miktarı kuru madde miktarı ölçüm sonuçları	46
Çizelge 4.6. Farklı binder tür ve konsantrasyonlarında arojelle kaplanmış kumaşların birim alana aktarılan kuru madde miktarı ölçüm sonuçları	47
Çizelge 4.7. Farklı tür ve konsantrasyonlardaki binderlerin kör kaplama kalınlık ölçüm sonuçları	48
Çizelge 4.8. Farklı tür ve konsantrasyonlardaki binderlerin arojelle kaplama kalınlık ölçüm sonuçları	48
Çizelge 4.9. Farklı tür ve konsantrasyonlardaki binderlerin kör kaplama sarılık indeksi değerleri	49
Çizelge 4.10. Farklı tür ve konsantrasyonlardaki binderlerin arojelle kaplama sarılık indeksi değerleri	50
Çizelge 4.11. Farklı binder ve konsantrasyonlarda kör kaplama yapılmış kumaşların ısı iletim katsayısı değerleri	51
Çizelge 4.12. Farklı binder ve konsantrasyonlarda arojel kaplamalı kumaşların ısı iletim katsayısı değerleri	51
Çizelge 4.13. Farklı binder ve konsantrasyonlarda kör kaplama kumaşların ısı direnç değerleri	53
Çizelge 4.14. Farklı binder ve konsantrasyonlarda arojel kaplama kumaşların ısı direnç değerleri	53
Çizelge 4.15. Zemin kumaş spektrofotometrik analiz sonuçları	54

Çizelge 4.16.	Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında kör kaplanmış kumaşların görünür bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları.....	55
Çizelge 4.17.	Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında aerojel kaplanmış kumaşların görünür bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları.....	56
Çizelge 4.18.	Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında kör kaplanmış kumaşların solar bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları	56
Çizelge 4.19.	Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında aerojelli kaplanmış kumaşların solar bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları	57
Çizelge 4.20.	Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında kör kaplanmış kumaşların UV bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları	58
Çizelge 4.21.	Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında aerojel kaplanmış kumaşların UV bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları	58
Çizelge 4.22.	Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında kör kaplanmış kumaşların görünür bölgede ışık yansıtma değeri analiz sonuçları .	59
Çizelge 4.23.	Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında aerojel kaplanmış kumaşların görünür bölgede ışık yansıtma değeri analiz sonuçları	60
Çizelge 4.24.	Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında kör kaplanmış kumaşların solar bölgede ışık yansıtma değerlerinin analiz sonuçları	60
Çizelge 4.25.	Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında aerojel kaplanmış kumaşların solar bölgede ışık yansıtma değerlerinin analiz sonuçları.	61
Çizelge 4.26.	Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında kör kaplamalı kumaşların solar bölgede absorbans değerlerinin analiz sonuçları	62
Çizelge 4.27.	Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında aerojel kaplamalı kumaşların solar bölgede absorbans değerlerinin analiz sonuçları	62
Çizelge 4.28.	Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların birim alan ağırlığı ölçüm sonuçları	65
Çizelge 4.29.	Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların birim alana aktarılan kuru madde miktarı ölçüm sonuçları	66
Çizelge 4.30.	Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların kalınlık ölçüm sonuçları	67
Çizelge 4.31.	Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların sarılık indeks değerleri	67
Çizelge 4.32.	Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların ısı iletim katsayısı sonuçları	68
Çizelge 4.33.	Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların ısı direnç katsayısı ölçüm sonuçları	69
Çizelge 4.34.	Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların görünür bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları	71
Çizelge 4.35.	Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların solar bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları	72
Çizelge 4.36.	Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların UV bölgede ışık geçirgenlik değerlerinin analiz sonuçları	72
Çizelge 4.37.	Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların görünür bölgede ışık yansıtma analiz sonuçları	73
Çizelge 4.38.	Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların solar bölgede ışık yansıtma analiz sonuçları	74

Çizelge 4.39.	Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların solar bölgede ışık absorbands değerlerinin analiz sonuçları	74
Çizelge 4. 40.	Farklı kalınlıklarda kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı ve birim alana aktarılan kaplama maddesi miktarı sonuçları.....	77
Çizelge 4.41.	Farklı kalınlıklarda kaplanmış kumaşların kaplanmış kumaşların kalınlık ölçüm sonuçları	78
Çizelge 4.42.	Farklı kalınlıklarda kaplanmış kumaşların sarılık indeks değerleri.	79
Çizelge 4.43.	Farklı kalınlıklarda kaplanmış kumaşların ısı iletim ve ısı direnç katsayısı sonuçları	80
Çizelge 4.44.	Farklı kalınlıklarda kaplanmış kumaşların görünür, solar ve ultraviole bölgelerde ışık geçirgenlik değerleri	81
Çizelge 4.45.	Farklı kalınlıklarda kaplanmış kumaşların görünür ve solar bölgede ışık yansıtma değerleri.....	83
Çizelge 4.46.	Farklı kalınlıklarda kaplanmış kumaşların solar absorbands değerleri	84
Çizelge 4. 47.	Farklı katman sayılarında kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı ve birim alana aktarılan kaplama maddesi miktarı sonuçları	85
Çizelge 4. 48.	Farklı katman sayılarında kaplanmış kumaşların kalınlık değerleri	86
Çizelge 4. 49.	Farklı katman sayılarında kaplanmış kumaşların sarılık indeksi ölçüm sonuçları	87
Çizelge 4.50.	Farklı katman sayılarında kaplanmış kumaşların ısı iletim katsayısı ve ısı direnç katsayısı sonuçları	87
Çizelge 4.51.	Farklı katman sayılarında kaplanmış kumaşların görünür, solar ve ultraviole bölgelerde ışık geçirgenlik değerleri	89
Çizelge 4.52.	Farklı katman sayılarında kaplanmış kumaşların görünür ve solar bölgede ışık yansıtma değerleri	90
Çizelge 4.53.	Farklı katman sayılarında kaplanmış kumaşların solar absorbands değerleri.....	91

1. GİRİŞ

Tekstil malzemelerine estetik ve dekoratif özelliklerinden farklı olarak teknik ve fonksiyonel özellikler kazandırılarak katma değeri yüksek nihai ürünler elde edilebilmektedir. Teknik ve fonksiyonel özelliklere sahip bu tür tekstil malzemeleri “Teknik Tekstiller” veya “Fonksiyonel Tekstiller” olarak adlandırılmaktadırlar. Isı yalıtımı sağlayan itfaiyeci giysileri, enerji tararufu sağlayan perdeler, ısıl konfor sağlayan kar montları teknik tekstiller alanında geliştirilen ürünlere örnek teşkil etmektedirler. Teknik tekstillerin elde edilmesinde farklı hammaddelerdeki kumaşlar ve farklı yöntemler kullanılmaktadır.

Teknik tekstiller temelde kullanılan tekstil ürünlerinin özelliklerini geliştirmekle birlikte ortaya çıkan yeni problemlere çözüm getirmeyi de amaçlamaktadır. Son yıllarda hız kazanan çalışmalar arasında mevcut enerji kaynaklarının en iyi şekilde yönetilmesi, enerji kaybı yaşanan alanların optimize edilmesi ve yeni malzemelerle kayıpların önlenmesine yönelik araştırmalar artmaktadır. Dünya enerji tüketiminin yaklaşık %40'ını evsel alanlarda tüketilen enerjinin oluşturduğu tahmin edilmektedir (World Economic Forum, 2023). Binalarda ve endüstriyel alanlarda en yüksek kayıpların bulunduğu enerji kaynağının ısı enerjisi olmasından dolayı ısı yalıtımı uygulamaları oldukça önemlidir. Bunun dışında endüstriyel alanlarda kullanılan makine ve teçhizatların uygun kullanılmamasından kaynaklanan enerji kayıpları da bulunmaktadır. Binalarda yalıtım uygulamaları sayesinde ısıtma amaçlı kullanılan enerjiden yaklaşık %30-60 oranında tasarruf sağlanabilmektedir (Bayraktar ve Bayraktar, 2016). Binaların farklı yerlerinde (duvar, çatı, taban vb.) farklı yalıtım uygulamaları yapılabilmektedir. Binalardaki en yüksek ısı kayıplarının pencere bulunan alanlardan kaynaklandığı düşünülerek konvansiyonel perdelerin teknik yönlerinin geliştirilmesi ile ısı yalıtımına katkı sağlayan teknik tekstil ürünlerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar son yıllarda artmıştır.

Diğer taraftan bireylerin konfor beklentilerinde de son yıllarda değişim yaşandığı görülmektedir. Daha rahat hareket edebilme kabiliyetine sahip, daha hafif ancak daha koruyucu kıyafetlere ve eşyalara olan talepler artmaktadır. Bu nedenle aşırı soğuk veya sıcağa karşı koruyucu giysi ve eşya üretiminde de genellikle mümkün olduğunca hafif ve

ince, fakat yüksek ısı yalıtım (düşük ısı iletimi) özelliğine sahip tekstil yüzeyleri tercih edilmektedir. Örneğin, çok soğuk iklimlerde kullanılan dağcılık kıyafetleri, kayak kıyafetleri, askeri kıyafetler (ayakkabı dâhil), uyku tulumları, çadır kumaşları vb. ile çok sıcak ortamlarda kullanılan itfaiye kıyafetleri, ergime fırınlarında çalışanlarca giyilen koruyucu giysiler bu özelliklerin arandığı alanların başında gelmektedir (Ke ve Wang, 2018).

Tekstil malzemelerinin ısı yalıtım özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler lif, iplik veya kumaş yapısının elde edilmesinde veya elde edilen tekstil yüzeyleri üzerine bitim işlemleri uygulanması şeklindedir. Kaplama işlemi de bu uygulamalardan birisidir.

Kaplama işlemi taşıyıcı (tekstil) yüzeyi üzerine ayrı bir katman oluşturulmasıdır. Bu işlem kumaşın tek yüzüne uygulanabileceği gibi her iki yüzeyine de uygulanabilme esnekliği sunmaktadır. Kaplama yöntemi teknik tekstillerin elde edilmesinde oldukça önemli bir yere sahip olup son yıllarda endüstride kullanılan en önemli süreçlerinden biri haline gelmiştir. Kaplama yönteminde kumaş üzerine uygulanan kimyasal karışım (kaplama patı) içerisine farklı katkı maddelerinin (karbon siyahı, kalsit, kaolin, titanyumdioksit, perlit vb) ilave edilmesi ile farklı özelliklerde ürünler elde edilebilmektedir (Manasoğlu ve Kanık, 2022). Son yıllarda geliştirilen yeni malzemeler kaplama uygulamaları üzerine yapılan çalışmalara hız kazandırmıştır. Aerojeller de kaplama işlemlerinde kullanılmaya başlanmış olup, tekstil yapılarının ısı yalıtım özelliklerinin geliştirilmesi bakımından önemli avantajlar sağlayan malzemelerdir. Yüksek ısı yalıtım değerleri yanında oldukça hafif malzemeler olmaları bakımından dikkat çekmektedirler. Aerojeller, toz, panel veya monolith gibi farklı tiplerde ve boyutlarda üretilebilmektedir.

Bu tez çalışmasında toz formundaki silika arojellerin tekstil yüzeylerine kaplama metodu ile uygulanmasıyla ısı iletimi düşük ve yalıtım sağlayan kısmen ince, hafif ve yumuşak (esnek) yapıda yüksek katma değerli teknik kumaş yapılarının elde edilmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmasının birinci aşamasında kaplama binder türünün ve konsantrasyon etkisinin incelenmesi amacıyla dört farklı türde binder, dört farklı konsantrasyonda kör (katkı maddesiz) ve %2 aerogel konsantrasyonu varlığında %100 polyester kumaşlar üzerine kaplamalar yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu aşamadan elde edilen bilgiler doğrultusunda uygun binder tipine ve konsantrasyonuna karar verilerek üç farklı partikül büyüklüğündeki aerogelin herbirinin dört farklı konsantrasyonu ile kaplamalar yapılarak ilgili testler gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise en yüksek ısı yalıtımı sağlayan aerogel tipi ve konsantrasyonu ile çok katmanlı kaplama çalışmaları gerçekleştirilerek özellikleri incelenmiştir.

Kaplanmış kumaş numuneleri üzerinde ısı yalıtım özellikleri ve solar özellikler (solar geçirgenlik, yansıtma, absorpsiyon) başta olmak üzere kalınlık, birim alan ağırlığı (gramaj), rijitlik değerleri ve sarılık/beyazlık indeks değerleri ölçülerek değerlendirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

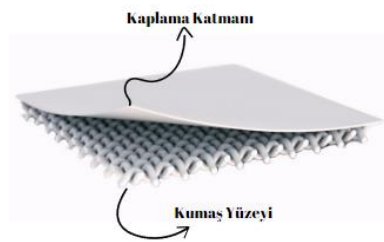
2.1. Tekstil Kaplamacılığı

Kimyasal yapılarla temel tekstil yüzeyi üzerine katman ya da katmanlar oluşturulması ile kaplanmış tekstiller elde edilmekte olup son yıllarda uygulama alanı oldukça artmıştır. Tekstil yüzeylerinin kaplanması ile elde edilen özellikler yeni uygulama alanlarına da olanak sağlamaktadır. Günümüzde teknik tekstiller olarak bu adlandırılan ve farklı birçok uygulama alanında büyük ölçüde yer kaplayan bu ürünlerin büyük çoğunluğu kaplama prosesleri ile elde edilmektedir. Taşıyıcı (tekstil malzemesi) zeminin temelinde bir ya da her iki tarafı bir ya da daha fazla polimer tabakası ile kaplanmaktadır. Temel tekstil yüzeyine sahip bu tür ürünler, kaplama işleminin uygulanmasının ardından klasik tekstil malzemesine göre birçok gelişmiş özelliğe ve çoklu avantajlara sahiptir. Güneşe ve ortam şartlarına dayanıklı çadır ve dış mekan tekstilleri, su geçirmez montlar, güç tutuşur koltuk kumaşları, ışık geçirmez perdeler, itfaiyeci kıyafetleri vb. tekstil ürünleri konvansiyonel tekstil malzemeleri gelişen malzeme ve uygulama teknikleri ile üretilmektedirler.

Kaplanmış kumaş pazar büyüklüğünün 2021 yılında 26,32 milyar Amerikan Doları olduğu 2027 yılına kadar %6,23'lük bir büyüme 31,46 milyar Amerikan Dolarına ulaşacağı tahmin edilmektedir (Coated Fabrics Market, 2023).

2.1.1. Kaplamada kullanılan malzemeler

Kaplama işleminde kullanılan malzemelere bakıldığında iki temel grup karşımıza çıkmaktadır. Birincisi zeminde kullanılan tekstil yüzeyi (kumaş veya iplik) taşıyıcı olarak da adlandırılır, diğeri ise kimyasalların karışımı ile oluşan kaplama katmanıdır (kaplama patı) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kaplama katmanları

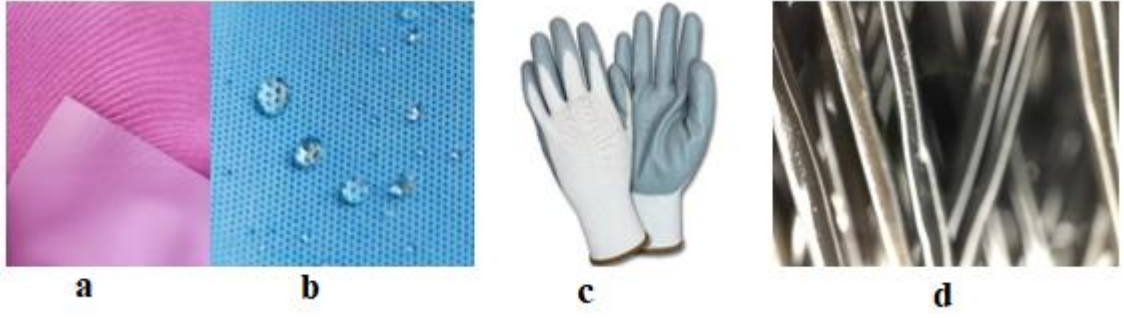
Zemin Kumaşı

Zemin kumaşı kaplama işlemi için temel malzemelerden biridir. Kaplama işleminin en uygun seviyede gerçekleşebilmesi ve elde edilen nihai ürünün istenen özelliklerde olması için kumaş veya tekstil yüzeyi belli özelliklere sahip olmalıdır. Kaplama aşamasına geçilmeden önce tedarikçi tarafından gönderilen kumaşlara girdi kalite kontrol işlemlerinin yapılmasına dikkat edilmeli, gerekli test ve analizler gerçekleştirilmelidir. Bu aşamada özellikle eğer kumaş üzerinde beklenmeyen kir, yağ, pas vb varsa iyi bir yıkama işlemine tabi tutulmalıdır. Zemin kumaş üzerinde haşıl ve dokuma yağı varsa safsızlıkların uzaklaştırılmasına dikkat edilmelidir. Girdi kalite kontrollerin tamamlanmasının ardından kaplama üretim alanına sevk edilmelidir. Kaplanacak yüzeylerin hazırlanmasında ve seçiminde aşağıdaki hususlara azami ölçüde dikkat edilmelidir (Sen, 2007).

- Mukavemet ve modül
- Yorulma davranışı
- Asitlere ve kimyasallara karşı dayanım
- Adhezyon özelliğine
- Mikrobiyolojik saldırılara karşı direnç
- Sağlamlık
- Boyutsal stabilite
- Fiyat
- Tedarikçi sürekliliği

Zemin kumaşı kaplama işlemi sırasında belli gerginliklere maruz kalacağından boyutsal stabilite ve mukavemet oldukça önemlidir. Boyutsal stabilite konusunda problemler kumaşlara boyutsal stabilite kazandırmak amacıyla belli sıcaklıklarda fiksaj işlemi uygulanmaktadır.

Kaplama işlemi genel olarak iplik, dokuma, örme veya nonwoven tekstil yüzeylerinin hepsine uygulanabilmektedir (Şekil 2.2.). Ancak tekstil yüzeyine göre kaplama işlemlerinde kullanılacak yöntem farklılık göstermektedir.



Şekil 2.2. Kaplanmış tekstillere örnekler a)Kaplanmış dokuma stor perde b) Kaplanmış dokusuz yüzey cerrahi örtü c) Kaplanmış örme iş eldiveni d) kaplanmış iplik

Tekstil zemin kumaşları kullanılan hammadde açısından incelendiğinde poliester kumaşlar üretim ve tüketimde en yüksek seviyede kullanılan kumaş türleridir. Bunun yanında farklı uygulama alanlarında poliamid, akrilik, yün, pamuk gibi farklı hammaddeye sahip tekstil kumaşları da kullanılmaktadır (Aydemir, 2013).

Zemin kumaş olarak termoplastik (poliamid, poliester gibi) esaslı zemin kumaşlarının kullanımında ön fiksaj önerilmektedir. Ayrıca kaplama işlemi öncesinde uygulanması planlanan apre işlemleri bulunuyorsa (su itici vb.) kurutma işlemlerinin uygun sıcaklıklarda gerçekleştirilmesine dikkat edilmelidir.

Kaplama Maddeleri

Kaplama işleminin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan temel maddelerden diğeri de uygun viskoziteye sahip kaplama karışımı (kaplama patı)'dır. Kaplama patının ise temel taşı uzun zincirli lineer molekül yapısındaki termoplastik polimerlerdir. Kaplama işlemlerinde kullanılan bu tür polimerlerin bir kısmı çapraz bağ yapabilmekte, bir kısmı ise kaplama patı içerisine çapraz bağlayıcı yardımcı kimyasallar ilave edilmesi ile çapraz bağ oluşturmaktadır. Kaplama patında kullanılacak polimer özellikleri son ürünün dayanıklılığını ve performansını doğrudan etkilemektedir. Kaplama işlemi sırasında zemin kumaşı ve kullanılan polimerler ile diğer yardımcı kimyasallar ısıya maruz kalmakta olup malzemelerin ısıya karşı gösterecekleri karakter hakkında bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Kaplama kimyasallarının üretime alınmadan önce zemin kumaşında olduğu gibi ilgili girdi kalite kontrol testleri ve analizleri gerçekleştirilmelidir.

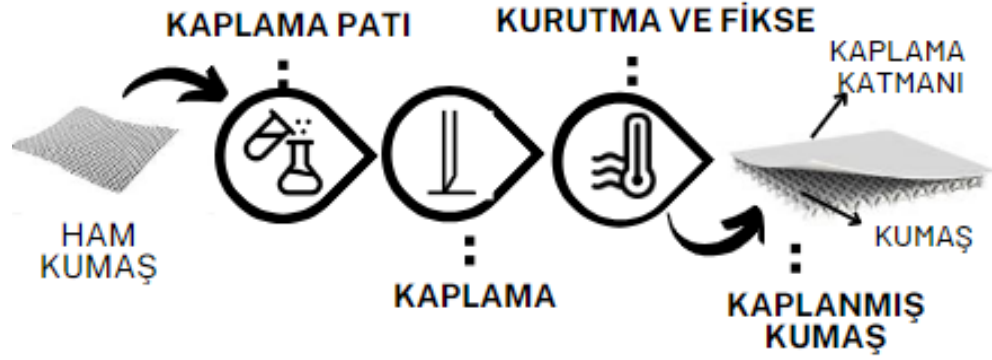
Kaplama malzemelerinin seçiminde dikkat edilmesi gereken parametreler aşağıda verilmiştir:

- Adhezyon özelliği
- Molekül ağırlığı
- Reolojik özellikler
- Camlaşma sıcaklığı
- Katı madde oranı
- pH
- Viskozite
- Fiyat
- Tedarikçi sürekliliği (Akovalı, 2012)

Kaplama Prosesi

Kaplama işleminin temel amacı son üründe istenen özelliklerin sağlandığı yapılara ulaşılması olup teknik ve fonksiyonel gereklilikleri de bu yönde sağlamak gerekmektedir. Uygun zemin kumaşının ve uygun polimerlerin seçimi kadar uygun kaplama yöntemiyle optimum parametrelerin seçimi de oldukça önemlidir. Kaplama işlemlerinde uygulanan adımlar Şekil2.3'te de gösterildiği üzere şu şekildedir:

- 1- Kumaş Hazırlık:** Ham kumaşların ön kalite kontrolü ve kaplamaya hazır hale getirilmesidir.
- 2- Kaplama Patının Hazırlanması:** Kaplama işleminde kullanılacak olan kaplama patının daha önceden belirlenmiş olan kaplama reçetelerine ve parametrelerine uygun olarak hazırlanması işlemidir.
- 3- Kaplama:** Kaplama makinesinde uygun gerginlik parametreleriyle kumaş beslemesinin yapılarak kaplama işlemine kumaş beslenir. Kaplama maddesinin (patının) uygun yöntem ve parametrelerle kumaş yüzeyine aktarılması
- 4- Kurutma ve Fiksaj:** Kaplamanın hemen ardından uygun sıcaklıklarda kurutulması ve fiksajıdır. Gerektiği durumlarda kalandırma işlemi ile kaplanmış kumaş yüzeyinin istenen özelliklere sahip olması için sıcak veya soğuk silindirler arasında basınç uygulanır ve ardından kumaşların sarım işlemi yapılır.



Şekil 2.3. Kaplama prosesi

Bu adımların en iyi şekilde uygulanması için ise şu parametrelerin göz önüne alınması oldukça önemlidir:

- Kumaşın özellikleri (lifin cinsi),
- Kumaşın konstrüksiyonu,
- Kaplama maddesinin formu ve viskozitesi
- Kaplamanın kumaşın hangi yönüne uygulanacağı (tek veya çift yönlü)
- Kaplama sonunda üründen beklenen özellikler

Kaplama prosesindeki en temel adım kaplama işlemidir. Kaplama işlemlerinde kullanılan yöntem ve makinalar üretilmek istenen son ürün için gerekli parametrelere uygun seçilmelidirler. Son yıllarda gelişen teknoloji ve hassas kontrol mekanizmaları üreticiler için önemli olup, kullanım ve ayar kontrollerinin kolaylaştırılmasının yanında fire oranlarının ve hataların azalmasına katkı sağlamaktadır. Kaplama makinalarına bakıldığında temelde kullanılan metotlar Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kaplama metotları (Bulut ve Sülar, 2008; Kanık ve Manasoğlu, 2015)

Kaplama Metodu	Kaplama Şekli ve Özellikleri
Bıçaklı (rakleli kaplama)	Kaplama yöntemleri içindeki tarihi en eskiye dayanan yöntemlerdendir. Kaplama patı kumaş üzerine direkt şekilde aktarılarak sabit bir rakle sayesinde düzgün olarak kumaşa sürülmesi sağlanmaktadır. Genellikle düzgün yüzeyle dokuma kumaşlara uygulanmaktadır. Farklı uygulama türleri bulunmaktadır: havada rakle, masa üzerinde rakle, silindir üzerinde rakle, kauçuk blanket üzerinde rakle

Çizelge 2.1. Kaplama metotları (Bulut ve Sular, 2008; Kanık ve Manasoğlu, 2015)(devam)

Kaplama Metodu	Kaplama Şekli ve Özellikleri
Mayer Çubuklu Kaplama	Kumaş yüzeyine verilen kaplama patının fazlası Mayer çubuğu adı verilen bu tel sargılı silindir ile sıyrılarak kaplama madde miktarı ayarlanabilmektedir. Düşük viskoziteli kaplama patlarıyla düşük gramaja sahip kaplama gerçekleştirilmesi için uygulanan yöntemlerden biridir.
Silindir Kaplama	Düşük viskoziteli kaplama patlarıyla düşük gramaja sahip kaplama gerçekleştirilmesi için uygulanan yöntemlerden biridir.
Döner şablon ile kaplama	Rotasyon baskı tekniğine benzer yöntemle, delikli rotasyon silindirleri içerisine kaplama patının beslenmesi ve beslenen kaplama patının deliklerden bir rakle veya çubuk yardımıyla kumaş üzerine itilmesi sayesinde kaplama işlemi gerçekleşmektedir. Solvent ve su bazlı kaplamalar ile PVC kaplamalarında uygulanmaktadır.
Püskürtme ile Kaplama	Kaplama patı kumaş üzerine püskürtme sağlayan jetlerle aktarılmaktadır. Jetlerin çalışması için düşük viskoziteye sahip, kolay temizlenebilir olması açısından da su bazlı kaplama patları tercih edilmektedir. Bu metod ile çok ince kaplamalar yapılabilmektedir.
Ekstrüzyon ile Kaplama	Termoplastik polimer ekstruderlerle kaplama işlemine uygun şekilde eriyik hale getirilmektedir. Silindirler arasında bulunan kumaş ile eriyik kaplanmakta ve soğutma silindirinin kullanımı ile birlikte eriyik kumaşa sabit hale getirilmektedir.
Kuru toz kaplama	Kuru toz kaplama yöntemi adı verilen bu yöntemde termoplastik toz veya granüller kumaş üzerine dağıtılır ve ardından kumaşın girdiği fırında tozlar eriyik hale gelerek film oluşturur. Bu yöntem iki şekilde uygulanabilmektedir: serpmeye ile kaplama ve toz nokta kaplama. Polietilen(PE), etilen vinil asetat (EVA), poliamid (PA), poliester (PES), ve bunların bazı kopolimerleri gibi eritilebilen polimer tozları kullanılmaktadır.
Kalandır ile kaplama	Katı haldeki kaplama maddesinin sıcak silindirler arasında film oluşturacak yapıya dönüşmesi ve silindirlerin yüzeylerinden kumaşa transferi söz konusudur. Silindirlerin birbirleri arasındaki boşluk miktarı kaplama miktarının ayarlanmasında önemlidir.
Transfer kaplama	Transfer kaplama yönteminde öncelikle taşıyıcı olarak adlandırılan kağıt veya benzeri bir yapı üzerine kaplama maddesi aktarılmakta ardından kurutma öncesi kaplama yapılan taşıyıcı üzerine kumaş beslenmektedir. Kurutma sonrasında silindirler arasından geçirilen taşıyıcı-kaplama maddesi-kumaş kaplamanın kumaş üzerine geçirilmesini sağlar ve ardından kaplanmış kumaş ayrı, taşıyıcı zemin ayrı sarılmaktadır. Bu yöntemin en önemli avantajı, hassas yapılar; dokusuz yüzey kumaşlar, örme kumaşlar, likralı kumaşlar sorunsuz bir şekilde kaplanabilmektedir.
Daldırma Tekniği ile Kaplama	Tarihi en eskiye dayanan kaplama yöntemidir. Sadece kumaş üzerine değil bunun yanında ipliklerin, şeritlerin de kaplanmasında uygulanmaktadır. Yöntemde kaplama patı içerisine daldırılan kumaşın fularlarda emdirilmesi, silindirler yardımıyla fazla maddenin sıkılması ile kaplama gerçekleşmiş olmaktadır. Ardından kurutma ve fiksaj işlemleri gerçekleştirilmektedir.

2.2. Aerojeller

Aerojeller dünyadaki en düşük ısı iletimi katsayısına sahip katı madde olarak bilinmektedirler. Havanın ısı iletim katsayısından bile daha ısı iletim katsayısına sahip olan aerojellerin, ısı yalıtım malzemeleri içerisinde diğer malzemelere göre çok iyi bir alternatif oluşturarak pek çok farklı sektörde başarılı bir şekilde kullanımları bulunmaktadır (Caps ve Fricke, 2004). Aerojeller, bilim dünyasına girişi ilk kez 1931 yılında S. Kistler'in silika aerojel elde etmesiyle olmuştur. Silika aerojellerin ilk kez ölçülen ısı iletim katsayıları normal hava şartları altında 0,02 W/mK ve vakum şartları altında ise 0,01 W/mK olarak ölçülmüştür (Venkataraman ve ark. 2014). Guinness Rekorlar Kitabı içerisindeki "en hafif katı madde" tanımlaması aerojeller için yapılmış olup, bu maddeler nano gözeneliliğe sahip süper yalıtım sağlayan maddelerdir. Aerojellerin görünümünün duman benzemesinden dolayı "donmuş duman" ya da "mavi duman" gibi isimlerle de anılırlar (Şekil 2.4).

Aerojeller temelde jel formuna getirilmiş kimyasal yapı içerisindeki sıvı bileşenle havanın yer değiştirmesi ile elde edilirler. Aerojellerin en önemli özelliği nano boyuta sahip gözeneklerinin bulunmasıdır (Yücel ve Temel, 2016). NASA tarafından da gerçekleştirilen çalışmalarda aerojellerle yalıtım özelliği kazandırılması yönünde araştırmalar yapılmaktadır. 1980 yıllarında özellikle silika aerojellerin elde edilmesinde sağlanan teknolojik gelişmelerle, enerjinin verimli bir şekilde kullanımına yönelik hassasiyetlerin artması ve kloroflorokarbon (CFC) gazlarının dolayısıyla meydana gelen çevresel yüklerin artışının olduğu dönem eş zamanlı dönemlerdir. Bu yıllardan sonraki süreçte silika aerojeller, yüksek ısı yalıtımı özellikleri ve daha çevreci üretimleri nedeniyle mevcut bilinen ısı yalıtım maddelerine göre oldukça dikkat çeken bir alternatif haline gelmeye başlamışlardır (Yeşildal, 2002).



Şekil 2.4. Aerojel görüntüsü (TÜBİTAK, 2021)

Aerojellerin ilk elde edilmesinden sonraki 90 yıllık süreçte, araştırmacıların silika aerojel, resorsinol formaldehit (RF) aerojel, karbonize-RF (CRF) aerojel ve aerojel kompozitleri gibi farklı alanlara yöneldikleri görülmektedir. 2000’li yıllardan bu zamana kadar aerojeller üzerine yapılan çalışma alanları da genişletilmiştir. Son 20 yıl içerisinde ise silika bazlı olmayan oksit aerojeller, kalkogenit aerojeller, gradyent aerojeller ve diğer aerojel kompozitleri gibi farklı türlerde aerojeller araştırılmaya ve üretilmeye başlanmıştır. Karbon nanotüp (CNT) aerojeller, grafen aerojeller (aerografen), karbonitrit aerojeller, silikon aerojeller, organik aerojeller ve biyolojik aerojellerle çalışmaların ise son 10 yıl içerisinde hız kazandığı bilinmektedir (Yücel ve Temel, 2016; Nanokar Nano Teknolojik Çözümler, 2020). Aerojellere ait fiziki özellikler Çizelge 2.2.’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Aerojellere ait fiziki özellikler (Yücel ve Temel, 2016; TUBİTAK, 2021)

Aerojellerin Fiziksel Özellikleri	
Yoğunluk	0,003 – 0,35 g/cm ³
Hava Boşluğu Oranı	%85- %99
Spesifik Yüzey Alanı	600- 1200 m ² /g
Katı oranı	%0,13 – %15
Ortalama Gözenek Çapı	~ 20 nm

Aerojellerin genel özellikleri ise aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Isı iletimi katsayısı düşüktür.
- Dielektrik sabiti değeri düşüktür.
- Ses iletim hızı düşüktür.
- Özgül yüzey alanları yüksektir.
- Kırılma indisi değerleri yüksektir.
- Bağlı yoğunlukları düşüktür.
- Gözenekli yapı yüksektir(Venkataraman ve ark. 2016).

2.2.1. Aerojel üretimi

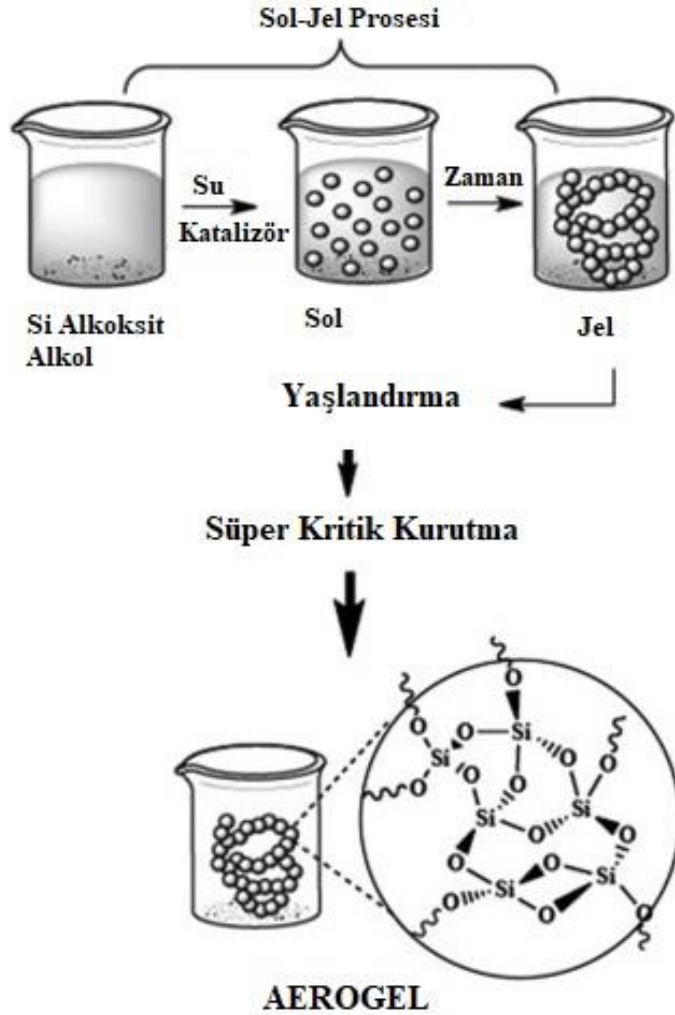
Aerojeller üretim yöntemi temel olarak sol-jel metoduyla sentezleme yöntemine dayanır. Sol-jel metodunda; çoğunlukla metal alkoksitlerin veya inorganik tuzların hidroliz ve kondenzasyon prosesleri yer almaktadır(Öz ve ark. 2018). Aerojel sentezi temelde 3 aşamadan oluşan bir prosese sahiptir(Şekil 2.5.).

1. Jel Oluşumu: İlk aşama solün hazırlanması aşamasıdır. Bu aşamada sole katalizör eklenmesiyle birlikte ilk olarak jel formu oluşturulmaktadır. Metal alkoksitler ve metal tuzlarına benzer başlatıcı maddeler formülasyona uygun oranlarda suyun ve asitin bulunduğu çözeltide bir araya getirilirler ve belirlenen şartlarda ve sıcaklıklarda karıştırma işlemiyle solüsyon formuna ulaşırlar. Oluşan solüsyonun içinde arka arkaya gerçekleşen kimyasal reaksiyonların ardından bir ağ yapısı elde edilir. Elde edilen ağ yapısı zamanla büyüyerek blok halinde bir forma (jel) ulaşır. Oluşan bu jeller; dağıtıcı ara maddesine göre hydrojel, aquajel, alkojel ve aerojel olarak isimlendirilmektedir (Kesik, 2019).

2. Yaşlandırma: Aerojellerin sentezlenmesi sırasında sağlamlığının artırılması için ortam basıncında yaşlandırma yapılmaktadır. Yaşlandırma ile aerojelin katılaşmaya ve mukavemetinin artmaya başladığı görülür ve böylece jelin bağlarının kuvvetlenmesine olanak sağlanmaktadır. Yaşlandırma işleminin süresinin ve sıcaklığının artmasıyla, ortamdaki kurutulmuş jellerin doğrusal büzülme ve yığın yoğunluğu azaldığı, gözeneklerin boyutunun ve hacminin de arttığı bilinmektedir (Iswar, 2017; Metal Dünyası, 2022).

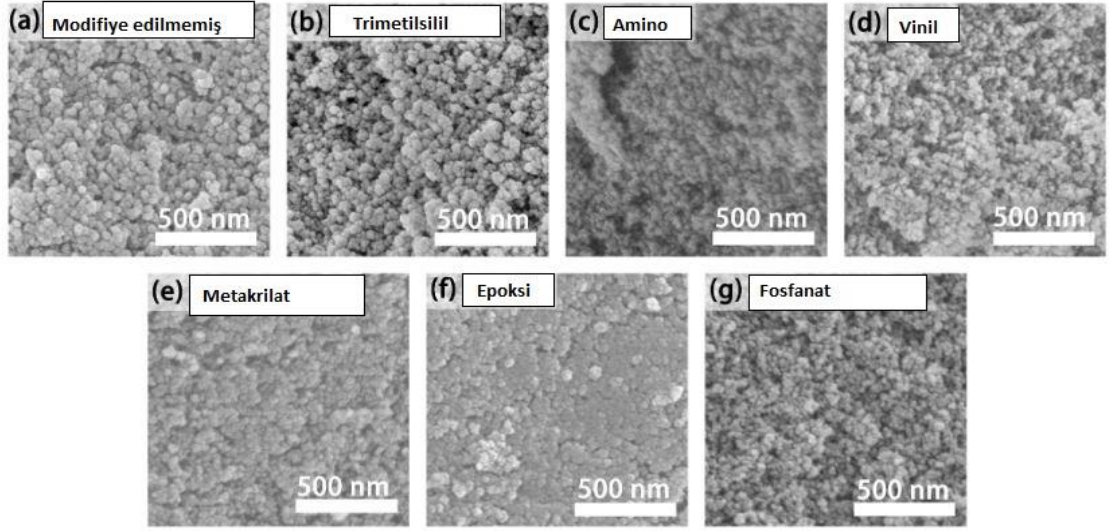
3. Çözücü Uzaklaştırma (Kurutma): Aerojel üretimin sonuncu aşaması ise kurutma işlemidir. Bu aşamada jelin içinde bulunan sıvı uzaklaştırılırken yığılmanın engellenmesi, jelin iskelet yapısının formunun korunması ve eş zamanlı olarak gerçekleşebilecek büzülmenin en aza indirgenmesini sağlamak amaçlanmaktadır. Kurutma işleminin gerçekleştirilmesinde farklı yöntemler uygulanabilmektedir, bunlar süper kritik kurutma, atmosferik basınçta kurutma, dondurarak kurutma ve mikrodalgayal kurutmadır. Bu yöntemler içerisinde en fazla kullanılan metod ise süper kritik kurutmadır. Süper kritik kurutma işleminde uygulama yapılan kurutma sıcaklığı

ve basınç kullanılan çözücüye ait kritik sıcaklık ve basınçtan daha yüksek olmalıdır. Kritik basınç değerlerinin genellikle 50-100 atm aralığında ve kritik sıcaklık değerlerinin de 300-600 °C aralığında olup, oldukça yüksek değerlere sahip olduğundan proseste yer alan çözücü maddelerin birçoğu bu koşullarda tehlikeli, patlayıcı ve yanıcı özelliktedirler. Buna bağlı olarak süperkritik kurutmanın gerçekleştirildiği ortamlara yüksek önem verilmesi ve güvenlik önlemlerinin uygun şekilde getirilmesi zorunluluk arz etmektedir (Getir, 2019). Aerojelin üretiminde; jel sentezleme, yaşlandırma ve kurutma işlemlerinde uygulanan proseslerdeki parametrelerin değiştirilmesiyle elde edilen aerojellerin yüzey alanları ve gözeneklerin boyutları değişebilmektedir. Gözenek büyüklüğünün küçülmesi ile birlikte kırılmaya olan duyarlılık da artar, daha kırılabilir yapılar oluşur (Projack, 2019).



Şekil 2.5. Aerojel oluşum prosesi (Maleki, 2014)

Aerogellerin sentezleme aşamasında seçilen başlatıcıların ve katalizörlerin çeşidi, pH değerleri ve kurutmanın gerçekleştirildiği sıcaklık gibi etki eden parametrelerin seçimine bağlı olarak elde edilen aerogel yapıları farklı özelliklere sahip olmaktadır(Yılmaz, 2013). Aynı zamanda, aerogel yapıların farklı kimyasal bileşenlerle modifiye edilmesiyle farklı özelliklere sahip aerogel yapılara ulaşılmaktadır. Şekil 2.6.'da modifiye edilmemiş ve organo-modifiye edilmiş silika aerogellerin taramalı elektron mikroskobundan alınan görüntüleri verilmiştir. Modifikasyona bağlı olarak aerogel yapıların gözeneklerinin büyüklükleri ve partiküllerinin büyüklükleri farklı bir şekle dönüşebilmektedirler.



Şekil 2.6. Modifiye silika aerogellere ait taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (Li ve ark., 2020)

Akademik çalışmalarda başlangıç maddeleri ve üretim yöntemlerinin farklı seçimleriyle farklı ürünlere ulaşılmış olmasına rağmen dünyada ticari olarak üretimin gerçekleştirildiği firmaların sayısına baktığımızda 50'den azdır.

Çizelge 2.3. Aerojel üreticileri

NO	FİRMA ADI	MENŞEİ	WEB SİTESİ
1	Active Aerogels Lda.	Portekiz	www.activeaerogels.com
2	Aerogel Technologies LLC	Amerika	www.aerogeltechnologies.com
3	Aerosafe Global (American Aerogel) Corp.	Amerika	www.aerosafeglobal.com
4	Aspen Aerogel	Amerika	www.aerogel.com
5	BASF SE	Almanya	www.basf.com
6	Cabot Corporation	Almanya	www.cabotcorp.com
7	Dow Corning	Amerika	www.dow.com
8	Enersens SAS	Fransa	www.enersens.eu
9	Green Earth Aerogel Technologies (GEAT)	İspanya	www.green-earth-aerogel.com
10	JIOS Aerogel Corporation	Güney Kore	www.jiosaerogel.com
11	Keey Aerogels	İspanya	www.keey-aerogel.com
12	Marketch International Inc.	Amerika	www.mkt-intl.com
13	Nexaero	İsviçre	www.nexaero.com
14	Swenska Aerogel	İsveç	www.aerogel.se
15	Taasi Corporation	Amerika	www.taasi.com/adv.htm
16	Tiem Factory Inc.	Japonya	www.tiem.jp
17	Yalteksan Yal. Tek. Sav. Sanayi A.Ş.	Türkiye	www.yalteksan.com.tr
18	Guangdong Alison Hi-Tech Co. Ltd	Çin	www.ydalison.com

Aerojel üretimi yapan üretici firmalar çoğunlukla Amerika ve Çin’de yer almaktadırlar. Ticari ölçekte aerojel üretimi yapabilen ya da üretmek üzere çlişmalarını sürdüren firmalara ait bilgiler Çizelge 2.3.’te verilmiştir. Aerojel pazarı 2020 yılında 638 milyon USD pay almış olup 2025 yılına gelindiğinde bu payın yaklaşık iki kata yakın artışla 1,045 milyon USD’ye ulaşması öngörülmektedir. Çinli üreticilerin ise pazara daha fiyatı düşük ürünlerle giriş yapmaya başladığı da görülmektedir. Ülkemizde aerojel üreticisi olarak bilinen tek firma Yalteksan’dır(Market and Markets, 2023).

2.2.2. Aerojellerin sınıflandırılması

Aerojellerin sınıflandırılmasında temelde mikroyapı, görünüm ve kimyasal yapıları ön plana çıkmaktadır(Şekil 2.7.). Görünümleri yönünden şekillerine ve boyutsal durumlarına bağlı olarak monolit yapıda, toz yapıda veya film yapıda bulunabilmektedirler. Mikroyapıları açısından bakıldığında ise: mikro gözeneklik (2 nm), mezogözeneklilik (2-

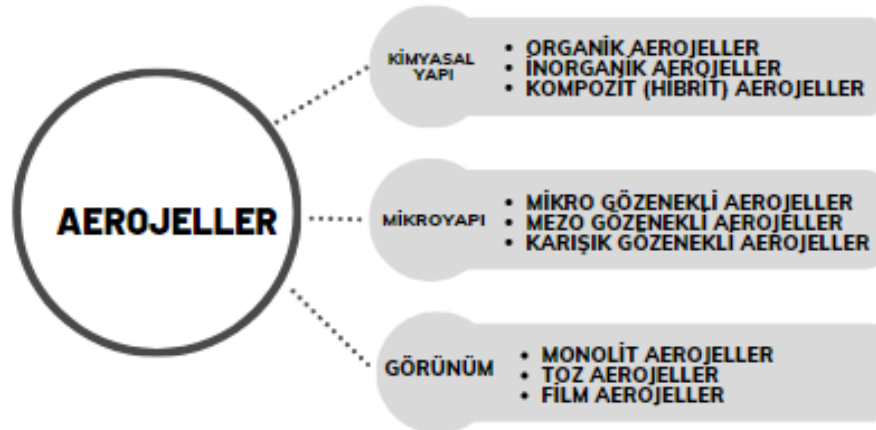
50 nm) ve karışık gözeneklilik açısından sınıflandırılırlar. Aerojellerin kimyasal yapıları açısından üç sınıfa ayrıldıkları görülmektedir: inorganik aerojeller, organik aerojeller ve kompozit aerojeller. Bu tür aerojeller metalik alkoksit veya metal tuzlarına gibi inorganik öncü bileşenlerden türetilen inorganik aerojeller, formaldehit fenol reçinesi gibi organik öncü ürünlerden üretilen organik aerojeller ve hem inorganik hem de organik öncülerin bir karışımı ile üretilen kompozit(hibrit) aerojellerdir (Moheman ve ark. 2021).

- **İnorganik Aerojeller:** İnorganik aerojellere baktığımızda metal alkoksitlerin nitratların ve kloritlerin polikondenzasyonu yöntemiyle çapraz bağlı ve şeffaf hidrojellerden sentezlenmekte olan aerojellerdir. Oksitlerin erime noktalarının yüksekliği ve ortam koşullarında oksitlenmemeden kalmalarına bağlı olarak sentezlenen aerojeller genel olarak iyi bir ısıl stabiliteye sahiptir. Bu sınıfta bulunan oksit aerojeller arasında silisyum dioksit (SiO_2), zirkonyum dioksit (ZrO_2), titanyum dioksit (TiO_2) bazı aerojel yapıların ön planda olduğu görülmektedir. Ancak inorganik aerojellerin içinde en çok bilinen ve tercih edilen çeşidir dayanıklı yapısı nedeniyle silika aerojellerdir (Feng ve ark. 2021).

- **Organik Aerojeller:** Karbon bazlı aerojellerin dahil olduğu bu sınıf, genel olarak amorf yapılı nanokarbon yapıları içermektedirler. Bununla beraber karbon nanotüp (CNT), grafen, grafen oksit gibi nanoyapılarla da elde edilirler. Amorf yapılı karbon aerojeller genel olarak organik polimerlerin karbonizasyonu ile elde edilmektedirler, karbonnanotüpler, grafen ve grafen oksit (GO) aerojeller ise genel olarak bu nanomalzemeleri iskelet yapı taşları olarak kullanan koloidal yöntemler vasıtasıyla oluşturulmaktadır. Genellikle, karbon bazlı aerojellerde ön plandaki özellikler; elektriksel iletkenlik ve asit-baz korozyonlarına karşı dirençlerinin yüksek olmasıdır. Karbon aerojellerin inert yapıda, zehir içermemeleri ve çevreci olmaları da diğer önemli özelliklerindedir. Belirtilen özelliklerinden farklı olarak yapılan deneylerde gözenekli yapının optimizasyonunun mümkün olması, son yıllarda bilim insanlarının dikkatlerini çekmektedir. Karbon aerojellerin dışında organik aerojel sınıfında organik polimerlerle elde edilen aerojel çeşitleri bulunmaktadır. Resorsinol-formaldehit (RF), poliimid, aramid ve polibenzoksazin(PBO) gibi organik polimer esaslı aerojel türleri çoğunlukla monomer yapıların polimerizasyon işlemleriyle üretilmektedirler. Poliimid ve aramid temelli

organik polimer arojellerin esneme özellikleri oldukça iyidir. Ayrıca, polimer arojellerin ısıl stabilite özellikleri zayıftır. İpek fibroin, nanoselüloz, kitosan ve aljinat a benzer biyopolimerle üretilen arojeller (biyopolimer arojeller/biyokütlesel arojeller) doğal hammadde kaynaklarının ekstrakte edildiği biyokütlelerin çapraz bağlama reaksiyonlarının sonucu oluşmaktadırlar. Biyopolimer arojellerde en temel özellik çok iyi biyobozunma ve biyoyumluluğa sahip olmalarıdır(Kesik, 2019; Feng ve ark. 2021).

• **Kompozit/Hibrit Arojeller:** Kompozit arojellerin bulunduğu bu sınıf organik polimerlerle inorganik maddelerin birlikte yer aldığı sınıftır. Jel oluşumunda ise farklı başlatıcılar kullanılmaktadır. Kompozit arojellerin üretilmesindeki temel esas ise mükemmel yapıların elde edilmesini sağlamaktır. Literatürde yer alan çalışmalara bakıldığında ise büyük çoğunluğun kompozit yapılar üzerine odaklanmaya başladığı görülmektedir (Alwin ve Sahaya Shajan, 2020).



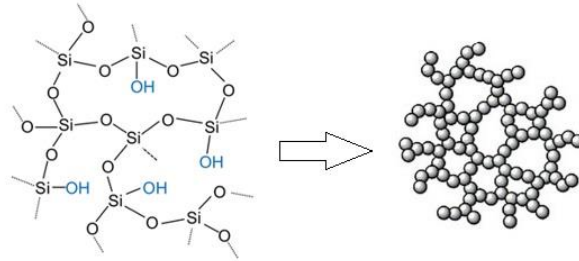
Şekil 2.7. Arojellerin sınıflandırılması (Köken ve Kanık, 2022)

Arojellerin çevreye olan etkilerine bakıldığında; çevresel yüklerin kaynağında üretimde yer alan hammaddelerin ve kurutma işlemlerinin/yöntemlerinin olduğu görülmektedir. Bu aşamalarda yapılan seçimlere göre çevresel yükler değişmektedir. Hammadde yönünden bakıldığında en çevre dostu arojel türünün biyopolimer arojeller olduğu aşikardır. En fazla üretimi yapılan silika arojeller de çevre dostu olup zehirli içeriğe sahip olmaması yönüyle kullanım alanını genişletmektedir. Organik arojellere bakıldığında ise yapılarındaki formaldehit veya fenol furfuril alkol benzeri kompleksler

içermeleri nedeniyle hava ve suyu kolaylıkla kirletebilme eğilimindedirler. Aerojellerin elde edilmesindeki en büyük çevresel yük kurutma işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Aerojellerin çevresel yüklerinin değerlendirilmesi çalışmaları genellikle süper kritik kurutma ve süper kritik altı kuruma üzerine yoğunlaşmaktadır. Çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde kritik altı kurutmanın seçildiği yöntemle sentezlenen aerojellerin, genellikle süper kritik ortamda kurutulan aerojeller yapılarına nazaran daha az çevresel yüklerinin olduğu görülmüştür. Kritik altı kurutma işlemlerinin daha çevre dostu bir seçim olduğu sonucuna varılmaktadır(Pinto ve ark. 2020).

2.2.3. Silika aerojeller

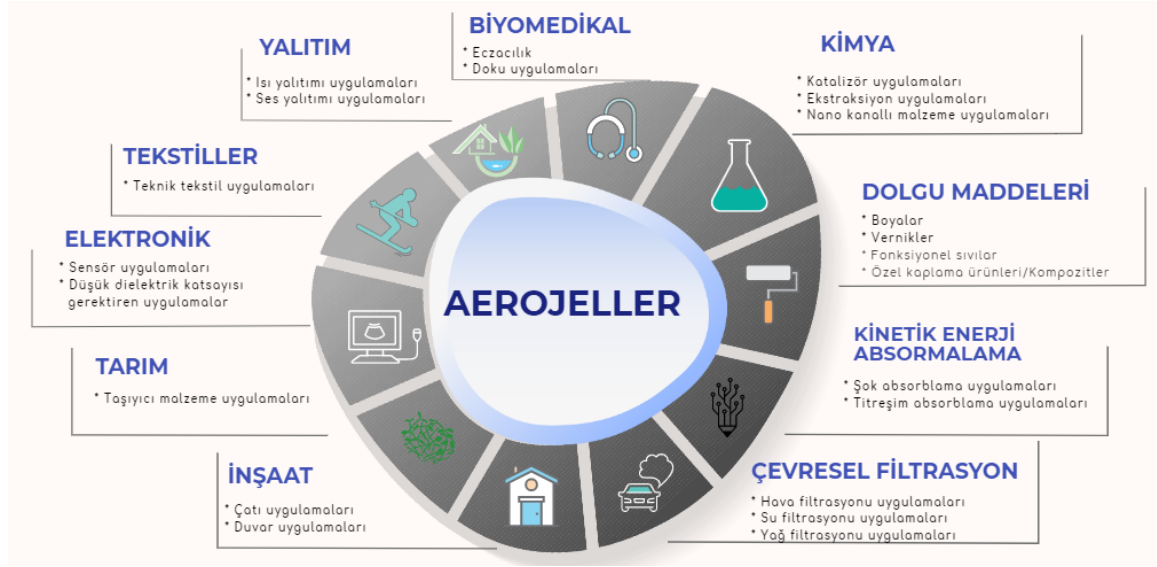
En düşük ısı iletim katsayısı ve kolaylıkla üretilebilme özelliklerine bağlı olarak en çok üretilmekte olan aerojel grubu silika aerojellerdir. Silika aerojeller yüksek gözenekli yapı, yüksek yüzey alanı, düşük ısı iletim katsayısı değeri, oldukça düşük yoğunluk, düşük kırılma katsayısı, düşük dielektrik sabiti gibi üstün özelliklere sahip nano yapılı malzemelerdir (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Örnek silika aerojel molokül ve ağ yapısı

Silika aerojeller doğada kolayca bulunmakta olan hammaddelerden elde edilebilmelerine bağlı olarak üretilebilirlik açısından avantajlar sağlamakta ve üretimlerini ekonomik hale getirmektedir. Bu avantaj da silika aerojellerin endüstride daha yaygın kullanım alanına sahip olmalarına olanak sağlamaktadır. Silika aerojel grubu yapılarında oldukça az miktarda katı silika bulundurmaktadır, böylece de silika aerojellerin ısı iletim katsayısı düşüktür ve buna bağlı olarak da ısı yalıtımı sağlayabilmektedirler. Bu özelliklerinden ötürü silika aerojeller farklı birçok sektörün içerisine girerek kullanımlarını arttırmıştır. Şekil 2.9.'de de görüldüğü üzere yalıtım, inşaat, kimya, elektronik, biyomedikal, tarım,

filtrasyon, tekstil alanlarındaki farklı birçok uygulamalarda yer almaktadırlar. Bu nedenle silika aerojellerin elde edilmelerine yönelik birçok araştırma yer almaktadır (Venkataraman ve ark. 2016; Yılmaz, 2013; Hrubesh, 1998).



Şekil 2.9. Aerojellerin kullanım alanları (Köken ve Kanık, 2022)

Silika aerojellerin avantajlarının yanında dezavantajlarının da bulunduğu alanlar vardır. Bu açıdan bakıldığında önemli dezavantajları yüksek nano gözeneklilik ve düşük yoğunluğun neden olduğu kırılabilirlik ve mukavemetinin düşük olmasıdır. Bu nedenle de direkt olarak ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılmaları mümkün olamamaktadır. Başka bir dezavantajı ise yüzeylerinden yansımakta olan ışıklardan bir kısmı emici yüzeyden uzaklaşmaktadır. Ayrıca, sıcaklık arttığında ısı iletiminin ön plana çıkması ile aerojellerin yalıtım özelliklerini kötü etkilenmektedir (Yeşildal, 2002; Xie ve ark. 2013).

Ayrıca silika aerojeller yapısal anlamda; hidrofobik, oleofilik veya hidrofilik yapıda sentezlenebilmektedirler (Xie ve ark. 2013). Üretimleri esnasında aerojelin yapısındaki silanol (Si-OH) grupları hidrofil yapının temel kaynağını oluşturmaktadır. Bu hidrofil gruplar su moleküllerinin aerogel yapısına giriş yapmasına destek sağlamaktadırlar. Süper kritik kurutma işleminin düşük sıcaklık değerlerinde gerçekleştirilmesiyle yüzeyde hidroksil gruplarının (-OH) olduğu hidrofil yapı elde edilmektedir. Hidrofob

aerojellerin elde edilmesinde ise farklı yöntemler kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık değerlerinde süper kritik kurutmayla yüzeydeki hidroksil grupların çözücülerle reaksiyonunun gerçekleşmesi ve böylece yapıdaki metoksi gruplarının ($-OCH_3$)X elde edilmesi sağlanmaktadır. Böylelikle aerojeller hidrofobik bir yapıya dönüşmektedirler(Dorcheh ve Abbasi, 2008). Genellikle trimetilklorasiloksan veya heksametildisiloksan yapılarla gelen metil gruplar hidrofob yapının oluşmasını sağlamaktadır(He ve ark. 2019). Aerojellerin hidrofob özelliklerinin artırılmasında farklı işlemler uygulanabilmektedir: Aerojelin hidrofob özelliği sentez basamaklarından sol-jel basamağında sililasyon ajanının eklenmesiyle artırılabilir. Bu işlem ortam basıncında kurutmanın seçildiği kurutma yöntemiyle uygulanabilmektedir. Hidrofobikliği arttırmaya yönelik uygulanan başka bir metod ise kurutma işleminden sonra aerojelin yüzey modifikasyonuna tabi tutulmasıdır. Hidrofil yapıdaki aerjel yüzeyleriyle gaz formundaki metanolün reaksiyona girmesi ile yapı değiştirilebilmektedir. Hidrofob grupların aerjeler yüzey modifikasyonu yoluyla graft edilmesiyle hidrofob aerojellerin üretilmesine yönelik uygulanmakta olan diğer bir yöntemdir. Örneğin Li ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada trimetilsilil ve vinil grupları ile graft edilen silika aerojellerin temas açılarının 90° 'den yüksek olduğu görülmüştür (Li, 2020).

Aerjeler kullanılacak alanlara yönelik olarak hidrofobik, hidrofilik veya oleofilik olarak seçilmektedirler. Özellikle şeffaf görünüm beklenen ve aynı zamanda su moleküllerinin aerjelerdeki gözeneklere dolmasının istenmediği ya da su iticilik beklenen uygulamalarda hidrofobik silika aerjeler ile çalışılmaktadır (Aerogel, 2020). Bu türdeki aerjelerin genel olarak deniz sularının yağ içeren kalıntılardan temizlenmesinde çok kullanıldığı belirtilmektedir.

2.2.4. Aerjelerin ısı yalıtım özellikleri

Bir malzemeyi “ısı yalıtım malzemesi” olarak isimlendirebilmek için CEN ve ISO standartları gereğince ısı iletim katsayısının (λ) $0,065 \text{ W/mK}$ değerinden daha düşük olması beklenmektedir. Malzemeler $0,065 \text{ W/mK}$ 'den küçük bir değere sahipse ısı yalıtım malzemesi, büyük bir değere sahipse yapı malzemesi diye tanımlanmaktadır (TS EN 13171, 2010; TS 825, 2009). Isı yalıtım malzemelerinde; ısı iletim katsayısı ile ısı

geçiş (ısı direnç) arasında ters bir orantı mevcuttur. Isı iletim katsayısının değeri ne kadar küçük olursa, ısı geçişinde gösterdiği direnç de o miktarda fazla olmaktadır. Buna göre ısı iletim katsayısının değeri azaldıkça daha iyi ısı yalıtım özelliği sağlanmaktadır (Bayrakçı ve ark. 2011).

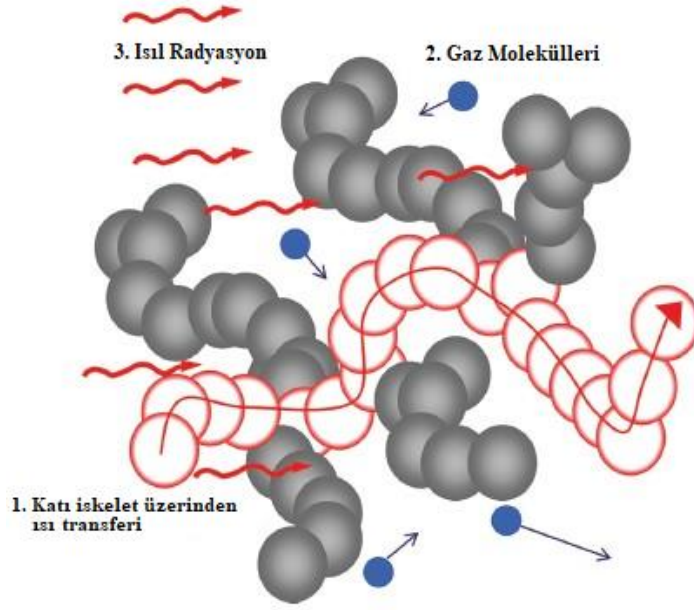
2000'li yılların ardından malzemelerin üretim teknolojileri hızla gelişmiştir. Bu gelişmeler beraberinde endüstriyel bazda üretilmesi mümkün olan düşük ısı iletim katsayısında yalıtkan malzemelerinde elde edilmesini sağlamıştır. Elde edilen yalıtkan malzemeler süper ısı yalıtım malzemesi adı altında tanımlanmışlardır. Strafor, cam ve taş yünü benzeri ısı iletim katsayısı değeri az olan geleneksel yalıtım malzemeleri daha çok binaların ısı kayıplarının azaltılmasında kullanım alanı bulmaktadırlar (Temiz ve Olgar, 2017; Yaman ve ark. 2015). Yeni nesil yalıtım malzemeleri ise daha özel kullanım alanlarında tercih edilmektedirler.

Aerogeller yüksek gözenekli yapıları ve bununla birlikte bu gözeneklerin nano boyuta sahip olmaları nedeniyle ısı iletim katsayıları havanın ısı iletim katsayısı değerinin ortalama yarısı kadardır. Silika aerogellerin ve bazı seçilen yalıtım maddelerinin ısı iletim katsayısı değerleri Çizelge 2.4'te verilmiştir (Koebel ve ark. 2012; Caps ve Fricke 2004; Eas Fibers, 2019).

Çizelge 2.4. Malzemelerin ısı iletim katsayıları (Koebel ve ark. 2012; Caps ve Fricke 2004; 37. Eas Fibers, 2019).

Malzeme	Isıl İletim Katsayısı (W/(mK))
Hava	0,026
Silika Aerogel	0,018
Taş Yünü	0,04
Cam Yünü	0,038
E- Cam İğne Matı	0,045
Extrüde Polistiren (XPS)	0,03
Poliüretan Köpük	0,024
Cellular Camı	0,024
Perlit Tabaka (Genleştirilmiş)	0,045

Aerogel malzemelerin ısı iletim mekanizmalarına bakıldığında temelde; a) katı iskelet üzerinden kondüksiyon şeklinde ısı iletimi, b) gaz fazı üzerinden kondüksiyon şeklinde ısı iletimi, c) partikül ve boşluklu yapılar üzerinden radyasyon şeklinde ısı iletimi olduğu görülmektedir (Şekil 2.9) (Ebert, 2015).



Şekil 2.10. Aerojel içinde ısı aktarımı temel prensipleri (Ebert, 2015)

1. Katı iskelet üzerinden kondüksiyonla ısı iletimi: Aerojellerin yapıları üretimlerinden kaynaklı olarak ağ yapısında olduğundan katı iskelette dolambaçlı bir iletim yolu bulunmaktadır. Bu dolambaçlı yoldaki iletim için gerekli olan bağlantıların azlığı düşük ısı iletkenliğine neden olmaktadır. Buna bağlı olarak ısı iletiminin katı iskelet üzerinden artmasını sağlayan en kritik parametre ise aerojelin sahip olduğu yoğunluk değeridir. Yoğunluğun artmasının sonucu olarak malzemenin içindeki katı fazın artmasıyla birlikte gözenekler/boşluklar azalmaktadır böylelikle de ısı iletiminde artış olmaktadır. Bu kapsamda bakıldığında yoğunluk değeri düşük ve hacim olarak büyük aerojellerin ısı yalıtımına katkıları daha fazladır.

2. Gaz fazı üzerinden ısı iletimi: Aerojel yapılarındaki katı faza sahip olmayan alanlar nano boyutlu gözenekleri meydana getirmektedirler. Aerojellerin yapısındaki bu gözeneklerde eğer malzeme vakum altında değilse hava yer almaktadır. Havanın normal şartlarda bu gözeneklerde hareket ederek ısı iletimini sağlaması beklenir. Fakat aerojellerin içerisinde havanın (gaz moleküllerinin) hareketli hale gelebilmesi için belirli bir hacme ihtiyaçları vardır.

Aerojellerde ise hava için gerekli olan bu minimum yollardan daha küçük yollar (nanogözenekler) bulunmaktadır. Buna istinaden arojellerin bu nanogözenekli yapıları havanın geçmesine/ilerlemesine izin vermemekte ve havanın hareket kabiliyetini sınırlandırmaktadır. Buna bağlı olarak da arojeller içerisinde gaz fazının üzerinden ısı iletiminin sağlanması kısıtlı kalmaktadır. Buradan hareketle de arojellerin ısı iletim katsayısı (λ) değeri havanın ısı iletim katsayısı değerinden daha düşük değerdedir (Dai ve ark. 2018).

3. Radyasyon ile ısı iletimi: Aerojellerin 3-8 μm skalasındaki kızılötesi dalga boyunda saydamlaşmaya karşı eğilimleri bulunmaktadır. Bu nedenle de yüksek sıcaklık değerlerinde ısı iletim katsayısı artışı göstermektedir. Aerojellerde radyasyon ile ısının iletimi temel olarak küçük kütle ve büyük yüzey alanına sahip olmaları ile ilgilidir. Aerojellerdeki saydamlaşmanın gerçekleşmesi ile artan radyasyon ile ısının iletiminin azaltılması için üretimde opaklaştırıcı katkı malzemeleri (SiC, TiO₂ ve C) kullanımı ile ilgili çalışmalar yer almaktadır. Düşük sıcaklık değerlerinde kritik bir etkinin sağlanmadığı görülürken, yüksek sıcaklık değerlerinde radyasyonla ısının iletimi oldukça önemli bir faktör olarak karşılanmaktadır (Ebert, 2015; Dai ve ark. 2018).

2.2.5. Aerojellerin tekstil materyallerine uygulamaları

Tekstil malzemelerine katma değer kazandırmak ve fonksiyonelliği yüksek ürünler haline getirmek için birçok farklı proses/yöntem uygulanmaktadır. Uygulanan bu prosesler/yöntemler tekstil malzemelerinin yapısı, kullanılan katkı maddeleri, yardımcı kimyasallar ve uygulama alanlarına bağlı olarak farklılık göstermektedirler. Literatürde yer alan çalışmalarda da arojel ile tekstil malzemelerinin birlikte kullanıldığı görülmüştür. Çalışmalarda farklı özelliklere sahip yapılar elde etmek üzere kullanılan farklı yöntemler yer almaktadır. Bu çalışmalarda en çok yöntemlerden biri dokusuz yüzeyler içerisinde arojellerin elde edilmesidir. Bu yöntem sonucunda arojel içeren keçe formlarında ticari yalıtım ürünleri üretilmektedir. Üretilen arojel keçe özellikle bina ısı yalıtımında, yüksek sıcaklık altında çalışan bazı üretim makineleri ile ısı iletim hatlarının yalıtımında yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Bunların dışında ise çarpıcı bir örnek olarak NASA tarafından geliştirilen özel uzay giysilerinde arojellerin

kullanıldığından bahsedilmektedir. Farklı bir alan olarak sadece yeni bir kaynakta dağılım sporunda kullanılan botlarda kullanımına rastlanmıştır. North Face firması tarafından satışa sunulan "Verto S8K" model botlarda uzay elbiselerindeki aerojel teknolojisinin kullanıldığı ve yüksek irtifalardaki çok düşük sıcaklıklarda bile ayakları sıcak tuttuğu belirtilmektedir (North Face, 2019).

Yerli üreticilerden Yalteksan firması Levron markası ile önemli bir kısmı askeri uygulamalarda kullanılmak üzere silika aerojel nano kompozit keçe üretimi yapmaktadır. Aerojel malzemeler granül/toz haline getirilerek mikro boyutlarda parçacık halinde nonwoven kumaşlar içerisine püskürtme veya dağıtma/serpme (scattering) yöntemi ile dolgu olarak uygulanmaktadır. Üretilen keçelerin kalınlıkları 5-20 mm aralığında değişmektedir. Elde edilen keçelerin ısı iletim katsayıları 0,022-0,026 W/mK aralığında olup, -200 °C ile +650 °C arasında etkinlik göstermektedir. Keçelerin gözenekliliği ise %90-95'tir (Yalteksan, 2019).

Ticari kullanımlara diğer bir örnek ise Radford Üniversitesi'nde bulunan Dedmon Center Yüzme Havuzu çatısına yapılan uygulamadır. Çatıda iki kat PTFE kumaş arasında Cabot firmasından tedarik edilen Lumira adı verilen aerojel katkı malzemeleri kullanılmıştır. Böylece ultra yüksek ısı yalıtımının elde edildiği ve aynı zamanda iç ortama ışık geçişinin de engellenmediği belirtilmektedir. Kompozit yapının kalınlığı 50 mm'den az olup, orijinal çatının ısı yalıtım performansının üç katından daha fazla yalıtım etkisine sahiptir. Isı geçirgenlik katsayısı 0,47 W/m²K ve %3,5'lik doğal ışık geçirgenlik değeri sağlanmıştır. Bu şekilde çatının değişimi ile yıllık enerji maliyetinde 91.000 USD'lik tasarruf ve karbon ayak izinde de 900.000 kg CO₂ azalması beklendiği belirtilmiştir (Cabot Aerogels, 2018).

Literatürde yer alan akademik çalışmalarda ise 1930'dan bu yana aerojellerin geliştirilmesi ile ilgili birçok araştırmanın olduğu görülmektedir. Çalışmaların büyük çoğunluğu yapılan araştırmaların hızlandığı 1990'dan sonraki döneme aittir. Tekstil malzemelerine aerojellerin uygulanması ile ilgili çalışmalar ise genel olarak 2000 yılından sonra artmaya başlamıştır. Tekstil alanındaki akademik çalışmalarda genel olarak nonwoven yüzeylere aerojellerin depolanmasına yönelik olduğu görülmektedir

(Du ve ark. 2013). Tekstil kumaşları üzerine emdirme ve kaplama yöntemi ile uygulamaya yönelik araştırmalar ise oldukça sınırlıdır.

Aerojellerin doğrudan kumaş üzerine emdirilmesi yöntemini Jin ve arkadaşları araştırmıştır. Çalışmada Cabot firmasına ait 7-11 µm partikül büyüklüğünde arojeller kütlece %5 oranında kullanılmıştır. Aerojeller aseton çözeltisinde dağıtılarak itfaiyeci kıyafetlerine apre işlemi ile aktarılmıştır. Ardından arojellerin toz olarak dağılmasını engellemek için apre işlemi uygulanan kumaşların her iki tarafı da PTFE kumaş ile lamine edilmiştir. Çalışmada kumaş üzerine aktarılan arojel oranlarına (add-on) ve laminasyon uygulanıp uygulanmamasına göre yanma değerleri kıyaslanmıştır. Elde edilen kumaşların alev ısı geçişi ile ilgili ISO 9151 testi ısı akış yoğunluğu 80 kW/m² olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Laminasyon uygulanmayan kumaşa göre laminasyon uygulanan kumaşların bu testten geçtiği görülmüştür. Aynı zamanda kumaşların LOI değerleri de karşılaştırılmış ve kumaşlara aktarılan arojel miktarı arttıkça yanma için gereken LOI değerinin de arttığı sonucu paylaşılmıştır (Jin ve ark. 2013).

Prevolnik ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmanın temeli silika arojel içeren dokusuz yüzey kumaşların poliester çözümlü örme kumaşlarla laminasyonu üzerinedir. Yapılan çalışmada silika arojel bulunan keçe ve polyester çözümlü örme kumaş hava geçirgenliğine sahip membran bir film ile lamine edilmiştir. 5 katmanlı lamine yapı iyi mekanik özellikleri olan, aşınmaya karşı yüksek dayanımlı, hidrofobik ve oleofobik bir malzemedir. Aynı zamanda iyi ısı yalıtım özelliğine sahiptir. Çalışmada kullanılan silika arojel dokunun ısı iletim katsayısı 0.013-0.016 W/mK aralığındayken lamine ürünün ısı iletim katsayısı 0,0474 W/mK değerindedir. Çalışma sonucunda elde edilen yapının klasik ısı yalıtımında kullanılan neoprene göre daha yüksek ısı yalıtımı sağladığı belirtilmektedir. Elde edilen lamine yapının bir dezavantajı olarak daha ağır ve aynı zamanda rijit olduğu belirtilmiştir. Çalışmada ayrıca silika arojellerin kullanım sırasında ezilme eğiliminde olduğu ancak belirli bir süre kullanımdan sonra daha yumuşak ve daha esnek hale geldiklerine vurgu yapılmıştır. Elde edilen silika arojel lamine yapının uyku tulumları, dış mekan tekstilleri, kişisel koruyucu tekstiler gibi teknik tekstil alanlarında kullanıma uygun olduğu öne sürülmüştür (Prevolnik ve ark. 2014).

Shaid ve arkadaşları tarafından itfaiyeci giysilerinin termofizyolojik özelliklerini geliştirmek üzere akrilik-yün karışımı kumaşlara süper hidrofobik aerojeller uygulanmıştır. Uygulama sonrası hava ve nem geçirgenliği, ısı transferi gibi termofizyolojik konfor testleri yapılmıştır. Çalışmada 230 g/m² birim ağırlığa sahip %65/35 akrilik-yün karışımı kumaşa Cabot firmasından tedarik edilen Nanogel isimli aerojeller %2, %4 ve %8 olmak üzere akrilik binder kullanılarak kaplama yapılmıştır. Kaplanan kumaşlar 105°C sıcaklıkta 10 dakika süreyle kurutma ve fiksaj işlemine tabi tutulmuştur. Kaplama işlemi sonrası kumaşların birim ağırlıkları, kalınlıkları, hava geçirgenlikleri ve ısı iletim katsayıları ölçülmüştür. Ölçümler sonucunda aerjel kaplanmış kumaşların daha iyi hava geçirgenlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Isı yalıtımı için ise sadece %2 katkılı kumaşın ısı iletim katsayısı ölçülmüştür. Kör kaplama ile kıyaslandığında %68'lik bir iyileşme olduğu sonucuna varılmıştır. Kullanılan uygun kıvamlaştırıcının ise nem geçirgenliğini olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir (Shaid ve ark. 2014).

Razzaghi ve arkadaşları fenolik aerojellerin poliester keçelerde ısı yalıtımı amaçlı kullanılmasına yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacı süper kritik kurutmaya alternatif bir aerjel üretme yönteminin araştırılmasıdır. Çalışmada 1,5 mm kalınlığında hazır poliester keçe içerisine aerjel elde edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada jel yapısının elde edilmesi için öncelikle ağırlıkça farklı oranlarda novolac reçinesi ve 2-propanol içeren sol çözeltisi hazırlanmıştır. Sol çözeltisi içeren poliester keçe polipropilen bir kalıp içerisinde otoklava yerleştirilmiştir. Otoklavın kapağı sıkıca kapatılarak fırın içerisine yerleştirilerek 5 saat 120°'de tutulmuştur. Bu süresinin ardından fırının ortam sıcaklığına düşmesi beklenerek numunenin kalıptan ayrılması sağlanmıştır. Numune poliester keçe üzerinde oluşan novolak jeller, büyük miktarlarda çözücünün hızlı bir şekilde uzaklaştırılmasından kaynaklanacak olan çatlamanın önlenmesi için ortam koşullarında kurutulmuştur. Daha sonra, eş zamanlı kurlenmesi ve çözücünün tamamının uzaklaştırılması için numuneler; 90°C'de 24 saat ve 120°C'de 24 saat işlem görmek üzere fırına yerleştirilmiştir. İşlemlerin sonucunda farklı kütle oranlarında aerjeller elde edilmiştir. Elde edilen aerjel-keçe yapıların ısı iletim katsayıları sıcak plaka (hot-plate) yöntemi ile ölçülmüştür. Çalışmada hiç aerjel içermeyen keçe ile aerjel içeren keçeler karşılaştırıldığında aerjel elde edilmesi sırasında kullanılan solvent-reçine oranının

oldukça önemli olduğu görülmüştür. Çalışmada en düşük ısı iletim katsayısına %85-%15 oranında ulaşılmıştır. Çözeltideki reçine miktarı arttıkça oluşan aerojellerde gözeneklilik azalmakta bu nedenle de ısı iletkenliği de artmaktadır. Aerojel içermeyen numunelerin (0,0676 W/mK), %70-%30 solven-reçine oranı ile elde edilen aerojelli numunelere (0,0921 W/mK) kıyasla ısı iletim katsayılarının daha düşük olduğu görülmüştür (Razzaghi ve ark. 2015).

Yüksek ısı yalıtımına sahip hafif kumaşlar elde edilmek üzere Jabari ve arkadaşları hazırladıkları aerojel-PVC karışımı kaplama patlarını poliester kumaşlar üzerine bıçak kaplama yöntemi ile uygulamışlardır. Aerojel-PVC kompozit için farklı türlerde plastisoller, pasta kimyasalı, stabilizatör, titanyum dioksit ve renklendirici kullanılmıştır. Aerojel oranı ise kullanılan kimyasal ağırlığının %0, %2, %3 ve %4'ü olmak üzere ilave edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda %4 katkılı kaplama patı ile de en düşük ısı iletim katsayısına sahip kumaş elde edilmiştir. Ağırlıkça %5 aerojel ilave edilmesi sırasında kaplama patının viskozitesi çok yükseldiğinden kaplama yapılamadığı belirtilmiştir. Bu nedenle çalışma %4 aerojel katkısına kadar yapılabilmektedir (Jabari ve ark. 2015).

Masera ve arkadaşları bina ısı yalıtımına yönelik olarak süper yalıtım özellikli aerojellerle tekstil bazlı duvar kâğıdı geliştirilmesine yönelik bir araştırma yapmıştır. Çalışma kapsamında aerojeller ile çalışması daha kolay olan yaklaşık 6 mm kalınlığında polyester güç tutuşur dokusuz yüzey keçe seçilmiş olup silika aerojeller kumaşa aktarılmıştır. Dokusuz yüzeyin yapısındaki boşluklu alanlara aerojellerin yerleştirilmesi sağlanmıştır. Ardından başka bir tekstil kumaş yapısı ile polietilen tozu kullanılarak laminasyon yapılmıştır. Çalışmada 3 katmana sahip lamine yapı oluşturulmuştur. Elde edilen kumaş sisteminin ısı iletim özellikleri ölçülmüştür. Aerojelli dokusuz yüzey keçenin ısı iletim katsayısı 0,025 W/mK olup 3 katmanlı laminasyonlu sistemin ısı iletim katsayısı 0,035 W/mK'dir. Bu çalışmanın sonucunda elde edilen verilere dayanılarak patent başvurusunda bulunularak patent alındığı belirtilmiştir (Masera ve ark. 2017).

Bhuiyan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada kimyasallara karşı koruyucu kıyafetlerin konfor özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanarak %100 pamuklu kumaşlar üzerine

poliüretan ve silika aerojellerin kaplanması araştırılmıştır. Kaplama işleminde su bazlı poliüretan %40-70 oranlarında, Cabot firmasından temin edilen 100-1200 mikron aralığındaki silika aerojeller kullanılmıştır. Çalışmada aerjel tozları reçete içerisindeki binder oranının %0,5, %1, %2 ve %3'ü olacak şekilde kaplama patına eklenmiştir. Kaplama işlemi pasta olarak bıçak kaplama yöntemiyle uygulanmıştır. Kaplanan numunelerin FTIR analizlerinde sadece poliüretan ile kaplanmış numunelerin spektrumları ile aerjel katkı kaplanmış numunelerin spektrumları arasında fark olmadığı görülmüştür. Bu benzerliğin kumaş üzerinde dağıtılmış olan aerjel partiküllerinin pamuk lifleri veya poliüretan binder ile herhangi bir bağ yapmadığını gösterdiği belirtilmiştir. SEM görüntülerinde ise sadece poliüretan kaplanmış olan pamuk kumaşlarda liflerin tüm aralıklarının tamamen binder ile dolduğu ve pürüzsüz bir yüzey elde edildiği görülürken, aerjel katkı kaplanmış kumaş yüzeylerinde aerjel partiküllerinin agregasyonu sonucu pürüzlülük oluştuğu görülmüştür. Su geçirgenliği test sonuçlarında kaplanmış kumaşların hidrofobik aerjel ve yapısı gereği hidrofobik olan poliüretan ile birlikte daha fazla hidrofobik yüzey olması beklenmiştir. Ancak sadece poliüretan kaplanmış numunelerin temas açılarının aerjel katkı kaplamalardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu duruma ise aerjel katkı kaplama yüzeylerinin pürüzlülüğünün neden olduğu düşünülmüştür. Isıl direnç ölçümünde ise pamuğun ısıl direncinin poliüretandan düşük olması nedeniyle kör kaplamada kaplanmamış numuneye göre daha düşük ısıl direnç bulunmaktadır. Ancak aerjel katkı oranı arttıkça pamuktan daha yüksek ısıl direnç elde edildiği ve ısı iletim katsayısının düştüğü görülmüştür. Kaplanmamış numune ile %3 konsantrasyonda aerjel ile kaplanan numunelerin ısı yalıtımları birbirlerine oldukça yakındır. Konsantrasyon %4'e çıktığında kaplanmış kumaşın, kaplanmamış pamuk kumaşa göre daha yüksek ısıl dirence sahip olduğu görülmüştür (Bhuiyan ve ark. 2019).

Altay ve arkadaşları dış giyimlik %100 polyester, örgülü örme kumaş üzerine çalışmasını gerçekleştirmiştir. Kumaşa kir iticilik ve su iticilik kazandırmak için Aspen Aerogels firması tarafından sağlanan silika aerjel hazır pasta ve silika aerjel binder ile 5 farklı konsantrasyonda hazırlanan çözeltiler oda sıcaklığında emdirme yöntemiyle uygulanmıştır. Kumaşların emdirme işlemi sonrasındaki ağırlık artışlarında %1,3'lik fark oluştuğu belirtilmiştir. Deneysel çalışmalarda işlem uygulanan numunelerin kimyasal

karakterizasyonlarına yönelik olarak FTIR ve ısıl özellikleri için DSC analizleri gerçekleştirilmiştir. DSC sonuçlarında aerojelin ısıl iletkenlik üzerine etkisinin oldukça az olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin çok az miktarda aerojelin kumaşa aktarılmış olması ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Ayrıca elde edilen kumaşlara su iticilik ve kir iticilik testleri yapılmış, bu özelliklere aerojellerin iyi yönde bir katkı sağladığı vurgulanmıştır. Kumaşların 170° temas açısına sahip süper hidrofobik yüzeyler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. En iyi test sonuçlarının en yüksek aerjel konsantrasyonuna sahip çalışmada olduğu belirtilmiştir (Altay ve ark. 2021).

Aerjeller üstün performans özelliklerine bağlı olarak birçok alanda kullanıma açık olan yenilikçi malzemelerdir. Aerjellerin ön plana çıkan özellikleri yalıtım özellikleridir. Küresel ısınmayla birlikte hem bireylerin hem de endüstrinin ısı yalıtımı ihtiyacının artacağı, enerji verimliliğinin ön planda olacağı göz önüne alındığında teknik tekstiller kategorisinde değerlendirilen aerjellerin yakın gelecekte önemli bir yere sahip olması beklenmektedir. Ancak günümüzde aerjeller üstün özelliklerinin yanında diğer yalıtım malzemelerine göre daha yüksek maliyetlidirler.

Diğer yönden aerjellerin ısı iletim özellikleri, aynı sıcaklıktaki durgun havanınkinden bile daha düşük olduğundan, aerjeller süper ısı yalıtım malzemelerinden biri olarak kabul edilirler ancak nano gözenekli yapılarına bağlı olarak amorf bölgelerinin fazlalığı zayıf mekanik özellik göstermelerine sebep olmaktadır. Örneğin polimer köpük malzemeleri ile kıyaslandığında saf silika aerjellerin çekme mukavemetinin önemli ölçüde daha düşük olduğu görülmektedir. Bu nedenle, aerjel malzeme araştırmalarındaki mevcut çalışmalar; öncelikle üretim maliyetlerini düşürmeye ve malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirmeye yöneliktir (Liao ve ark. 2012; Koebel ve ark. 2016). Tekstil sektörüne bakıldığında son yıllarda özellikle ısı yalıtımı gerektiren endüstriyel makinaların yalıtımı, pencerelerden ısı kayıplarının azaltılmasını önleyen perdeler ve duvar kağıtlarında yalıtım, ısı yalıtımlı spor kıyafetleri ve itfaiyeci kıyafetleri gibi kullanım alanlarında taleplerin artacağı öngörülmektedir.

Aerojellerin diğer ticari ve akademik uygulama alanlarına bakıldığında çalışmaların uygulama alanları arasında; ileri teknolojiye sahip ürünlerin üretimi, ileri teknolojiye sahip ürünlerin yalıtımı, uydu yalıtımı, yalıtım özellikli boya üretimi, hava araçlarının yalıtım sistemi ve kabin yalıtımı, IR, RF, oklu kamuflaj sistemleri, balistik uygulamalar, tıp ve eczacılık, kozmetik sektörleridir. Aerojel retimi konusundaki bilimsel çalışmalar hız kesmeden devam ederken bu konuda ticarileşme yolunda ilerleyen firma sayısının da artış gösterdiği incelenen yayınlanmış pazar araştırması raporlarında yer almaktadır. Raporlarda 2021 yılı itibari ile aerojel üretimi üzerine yatırım yapan veya bu yöndeki yatırımları ile artık daha fazla ön plana çıkan firma sayısında da artış olduğu görülmektedir (Research and Markets, 2021). Aerojellerin yakın gelecekte gelişen teknolojiler ve üretiminin artmasıyla maliyetinin düşmesi ve kullanımının yaygınlaşması beklenmektedir (Cuce ve ark. 2014; Smirnova ve Gurikov 2018; IMARC, 2020).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kumaş

Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalarda zemin kumaşı %100 polyester içerikli seçilmiştir. Kumaş DKC Teknik Kaplama Apre Tekstil ve Deri San. Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Temin edilen kumaş kaplamaya uygun (kontinu yıkanmış, 150 °C’de 0,5 dk termofiksaj yapılmış) olarak alınmıştır. Kullanılan kaplama kumaşının özellikleri Çizelge 3.1.’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Zemin kumaş özellikleri

İplik Hammaddesi	%100 Poli(etilen teraftalat)
Çözümlü İplik Numarası	300 Denye
Atkı İplik Numarası	200 Denye
Çözümlü Sıklığı	30 çözgü/cm
Atkı Sıklığı	20 atkı/cm
Birim Alan Ağırlığı (Gramaj)	160 g/m ²
Örgü	1/1 Bezayağı

3.1.2. Kaplama kimyasalları

Kaplama çalışmalarında kullanılan kaplama patının hazırlanmasında kullanılan temel malzeme olan kaplama polimerleri (binderler) Kemiteks ve CHT Türkiye firmalarından temin edilmiş olup özellikleri Çizelge 3.2.’de verilmiştir. Binderler özellikle katı madde oranları ve sertlikleri yakın olacak şekilde seçilmiştir.

Çizelge 3.2. Binderler ve özellikleri

Kimyasal Kodu	Kimyasal Madde Adı	Tedarikçi	Kimyasal Yapısı
AK1	Akrilik Binder (KEMILINE NW 602)	Kemiteks	Saf akrilik polimeri (AC), % 45 toplam katı madde miktarı
AK2	Akrilik Binder (KEMILINE NW 247)	Kemiteks	Vinil asetat-akrilik kopolimeri (VA/AC), % 44 toplam katı madde miktarı
AK3	Akrilik Binder (KEMILINE NW 145)	Kemiteks	Stiren akrilik kopolimeri (SA/AC), % 50 toplam katı madde miktarı
PU1	Poliüretan Binder 1 (TUBICOAT PU 4502)	CHT Türkiye	Poliüretan (PU), % 45 toplam katı madde miktarı

Kaplama patı için gerekli olan yardımcı kimyasallar ise Rudolf Duraner ve Tekkim firmalarından tedarik edilmiştir. Yardımcı kimyasalların özellikleri Çizelge 3.3.'te görülmektedir.

Çizelge 3.3. Yardımcı kimyasallar ve özellikleri

Kimyasal Madde Adı	Tedarikçi	Özellik
Kıvamlaştırıcı (Ruco-Coat TH 5020)	Rudolf-Duraner	Nötralize poliakrilat, anyonik, sıvı form
Köpük Kesici (Ruco-Coat DA 3000)	Rudolf-Duraner	Hidrokarbonlar, etoksillenmiş yağ asitleri ve silisik asit kombinasyonu, noniyonik, sıvı form
Amonyak	Tekkim	% 25 saflıkta sıvı
Gliserin	Tekkim	% 99,5 saflıkta sıvı

3.1.3. Aerojeller

Tez çalışmasının ana amacına ulaşılacak üzere kaplama patı içerisinde katkı maddesi olarak arojeller kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan arojeller Cabot (Almanya) firmasından temin edilmiştir. Aerojellere ait özellikler aşağıda yer alan Çizelge 3.4.'te belirtilmiştir.

Çizelge 3.4. Aerojeller ve özellikleri

Aerojel Kodu	Aerojel Adı	Özellik
A1	Silika Aerojel	~ 8 µm partikül büyüklüğü, silika bazlı, hidrofobik, şeffaf/opak
A2	Silika Aerojel	~ 0 - 80 µm partikül büyüklüğü, silika bazlı, hidrofobik, şeffaf/opak
A3	Silika Aerojel	0 - 0,5 mm partikül büyüklüğü, silika bazlı, hidrofobik, şeffaf/opak

3.2. Yöntem

Tez çalışmasının deneysel aşamalarında ısı yalıtımlı kumaş geliştirilmesi amacıyla uygun şekilde katkı maddesi olarak arojeller kullanılmıştır. Silika bazlı ve hidrofob özellikte üç farklı partikül büyüklüğünde arojel seçilmiş olup, bunların kaplanmış kumaşlarda ısı iletimine ve solar özelliklere etkisinin incelenmesine yönelik çalışmalarda üç adımlı bir yöntem izlenmiştir.

1. **Aşama:** Kaplama proseslerinde uygulanacak olan uygun fiksaj sıcaklık ve sürelerinin tayin edilmesine yönelik çalışmalar.
2. **Aşama:** Binder türünün ve konsantrasyonun etkisinin incelenmesine yönelik çalışmalar.
3. **Aşama:** Aerojel partikül büyüklüğünün ve konsantrasyon etkisinin incelenmesine yönelik çalışmalar.
4. **Aşama:** Kaplama kalınlığı etkisinin incelenmesine yönelik çalışmalar
5. **Aşama:** Katman sayısının incelenmesine yönelik çalışmalar

3.2.1 Fiksaj süre-sıcaklık değerlerinin belirlenmesine yönelik kaplama çalışmaları

Kaplama proseslerinde uygulanacak olan uygun fiksaj sıcaklık ve sürelerinin tayin edilmesi ile çalışmalara başlanmıştır. Bu aşamada öncelikle sadece kaplama binderinin bulunduğu kör kaplama reçetesi oluşturulmuştur. Oluşturulan reçete diğer tüm şartlar aynı olmak üzere farklı sıcaklık ve sürelerde fiksaj işlemine tabi tutulmuştur. Her bir çalışmada en az 6 numune kumaş kaplanmıştır. Her bir kaplama öncesi viskozite ve pH kontrolü yapılmıştır. Çizelge 3.5.'te kaplama çalışmalarında kullanılan kör kaplama reçetesi verilmiştir.

Tekstilde kullanılan baskı ve kaplama proseslerinde polimer sınıfında yer alan binderlerin fiksaj işlemlerinde her on derecelik sıcaklık artışı ile fikse süresinin bir (1) dakika azaltılması esasına dayanarak çalışmada dört farklı sıcaklık ve sürede çalışılmıştır.

Çizelge 3.5. Fiksaj süre ve sıcaklık çalışmaları için kör kaplama reçetesi

Kimyasallar	Kör Kaplama Reçetesi (g)
Akrilik 1 (AK1)	600
Köpük Kesici	2
Gliserin	5
Su	353
Kıvamaştırıcı	20
Amonyak	20
TOPLAM	1000

Çalışılan fiksaj sıcaklık ve süre değerleri aşağıda verilmiştir.

- 150 °C'de 4 dk
- 160 °C'de 3 dk
- 170 °C'de 2 dk
- 180 °C'de 1 dk

Kaplama çalışmalarında uygulanan proses parametreleri aşağıda şekildedir:

- Viskozite: 8000-8500 cPs (80-90 dPas)
- pH: 9,5-10,0
- Kaplama metodu: Silindir üstü bıçak
- Silindir–Bıçak Arası Mesafe: 0,3 mm
- Kurutma Sıcaklığı ve Süresi: 100 °C, 5 dk

3.2.2. Binder türü ve konsantrasyon etkisinin incelenmesine yönelik kaplama çalışmaları

Aerjelli kaplamalarda kullanılacak en uygun binder türünün ve konsantrasyonun belirlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda kaplama patı içerisinde dört farklı binder türü dört farklı binder oranında kullanılmıştır. Hem kör kaplama reçetesi hem de aerjelli kaplama reçetelerinin oluşturulmasında diğer kimyasalların oranları sabit tutulup, sadece binder konsantrasyonları ve buna bağlı olarak su oranları değişmiştir. Aşağıda kaplama reçetelerinde kullanılan binder türleri ve binder konsantrasyonları verilmiştir. Çizelge 3.6.'da çalışmalarda kullanılan kör kaplama reçetesi verilmiştir.

- a. Binder Türleri: AK1, AK2, AK3, PU1
- b. Binder Konsantrasyonları: 300 g/kg, 450 g/kg, 600 g/kg, 750 g/kg

Çizelge 3.6. Binder etkisi için kör kaplama reçeteleri

Kimyasallar	1 (g)	2 (g)	3 (g)	4 (g)
Binder (AK1, AK 2, AK3, PU1)	300	450	600	750
Köpük Kesici	2	2	2	2
Gliserin	20	20	20	20
Su	638	488	338	188
Kıvamlaştırıcı	20	20	20	20
Amonyak (%25)	20	20	20	20
TOPLAM	1000	1000	1000	1000

Binder tür ve konsantrasyon etkisinin aerojeller açısından da incelenmesi için oluşturulan kaplama reçetelerinde aerojel oranı %2 olarak belirlenmiş olup Çizelge 3.7.'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Binder etkisi için aerojelle kaplama reçeteleri

Kimyasallar	1	2	3	4
	(g)	(g)	(g)	(g)
Binder (AK1, AK 2, AK3, PU1)	300	450	600	750
Aerojel 2 (A2)	20	20	20	20
Köpük Kesici	2	2	2	2
Gliserin	20	20	20	20
Su	618	468	318	168
Kıvamlaştırıcı	20	20	20	20
Amonyak (%25)	20	20	20	20
TOPLAM	1000	1000	1000	1000

Binder konsantrasyonu çalışmalarında uygulanan proses parametreleri aşağıda verilmiştir.

- Viskozite: 8000-8500 cPs (80-90 dPas)
- pH: 9,5- 10
- Kaplama metodu: Silindir üstü bıçak
- Silindir – bıçak arası mesafe: 0,3 mm
- Kurutma sıcaklığı ve süresi: 100 °C, 5 dk
- Fiksaj sıcaklığı ve süresi: 150 °C, 4 dk

3.2.3. Aerojel partikül büyüklüğünün ve konsantrasyon etkisinin araştırılmasına yönelik kaplama çalışmaları

En uygun binder türü ve konsantrasyonu ile ilgili çalışmalarından elde edilen sonuçlar doğrultusunda aerojel partikül büyüklüğünün ve konsantrasyon etkisinin araştırılmasında binder olarak Akrilik Binder 1 (AK1) ve Poliüretan Binder 1 (PU1) ile çalışılmıştır. Binder konsantrasyonu olarak ise en uygun değer olarak belirlenen 300 g/kg oranında binder kullanılmıştır.

Çalışmalarda üç farklı partikül büyüklüğüne sahip aerojel tozu (A1, A2, A3) dört farklı konsantrasyonda (%1, %2, %3, %4) kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan kaplama reçeteleri Çizelge 3.8.'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Aerojel tanecik boyutu ve konsantrasyon etkisi için kaplama reçeteleri

Kimyasallar	1 (g)	2 (g)	3 (g)	4 (g)
Binder (AK1, PU1)	300	300	300	300
Aerojel (A1,A2,A3)	10	20	30	40
Köpük Kesici	2	2	2	2
Gliserin	20	20	20	20
Su	628	618	608	598
Kıvamlaştırıcı	20	20	20	20
Amonyak (%25)	20	20	20	20
TOPLAM	1000	1000	1000	1000

Kaplama işlemlerinin gerçekleştirildiği parametreler aşağıdaki verilmiştir.

- Viskozite: 8000-8500 cPs (80-90 dPas)
- pH: 9,5- 10
- Silindir – bıçak arası mesafe: 0,3 mm
- Kaplama metodu: Silindir üstü bıçak
- Kurutma sıcaklığı ve süresi: 100 °C, 5 dk
- Fiksaj sıcaklığı ve süresi: 150 °C, 4 dk

3.2.4. Kaplama kalınlığı ve katman sayısı etkisinin araştırılmasına yönelik kaplama çalışmaları

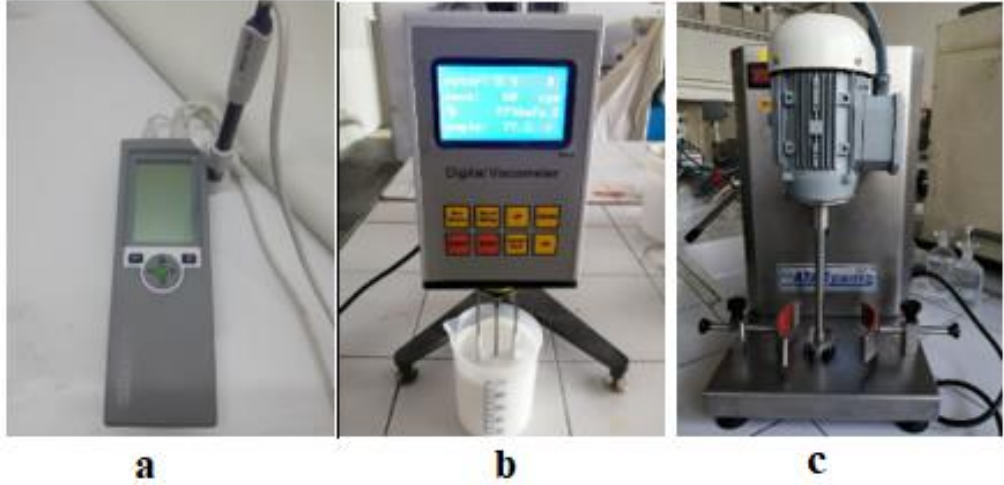
Kaplama işlemlerinde en önemli parametrelerden biri olan kaplama kalınlığı ve kaplama katman sayısının etkisinin incelenmesine yönelik olarak 3.2.3. nolu başlık altında yer alan kaplama reçetesi kullanılarak kaplama çalışmaları yapılmıştır. Proses şartları yine 3.2.3. nolu başlıkta verilen koşullarda uygulanmıştır.

Çalışmalarda 0,15 mm, 0,30 mm, 0,45 mm, 0,60 mm olmak üzere 4 farklı kaplama kalınlığında çalışılmıştır. Kaplama katman sayısı çalışmalarında ise tek kat, 2 kat kaplamalar hem kumaşın tek yüzüne hem de iki yüzüne uygulanmıştır.

3.2.5. Kaplama patlarının hazırlanması ve kaplama işlemlerinde kullanılan cihazlar

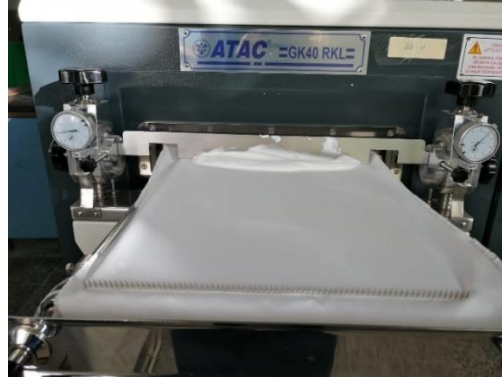
Tez çalışmasında kullanılan kaplama patları ve ardından gerçekleştirilen kaplama ve kurutma işlemleri Bursa Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Kaplama işlemlerinde kullanılan kaplama patları çalışmalar için belirlenen reçetelere uygun şekilde hazırlanmıştır. Kimyasalların homojen bir şekilde karıştırılarak, kaplama patının kıvamlaştırılmasında Ataç marka ATC-MX01/01P model laboratuvar tipi yüksek hızlı karıştırıcı kullanılmıştır. Karıştırma işlemleri oda sıcaklığında ve 1000-1200 devir/dk hızda türbin uçlu pervane tipi karıştırma ucu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan her bir kaplama patınının pH ve viskozite kontrolünde; Mettler Toledo marka Seven2go S2 model pHmetre ve SOIF NDJ 6 Dijital viskozimetre kullanılmıştır (Şekil 3.1.)



Şekil 3.1. Kaplama patlarının hazırlık aşamasında kullanılan cihazlar
a. pHmetre, b. Viskozimetre, c. Mekanik karıştırıcı

Kaplama işlemleri laboratuvarda yer alan Ataç marka GK40RKL model kaplama, kurutma ve fiksaj işlemlerinin gerçekleştirilebildiği kompakt numune tipi kaplama makinasında yapılmıştır (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Numune kaplama makinesi

3.2.6. Kaplama numunelerinin kodlanması

Kaplama numunelerinin kodlamasında kaplama işlemlerindeki parametreler göz önüne alınmıştır. Kör kaplama ve aerojel kaplama için örnek kodlamalar aşağıda verilmiştir. Kodlama sırasıyla: binder tipi (AK1, AK2, AK3, PU1), binder oranı (300, 450, 600, 750), kör kaplama (K) veya aerojel kaplama (A1, A2 ve A3), aerojel oranı (%1, %2, %3, %4), kaplama kalınlığı (0,15, 0,30, 0,45, 0,60), kaplama katman sayısı (X1, X2, 1X1, 2X2) olacak şekilde yapılmıştır. Katman sayıları çalışmasında kullanılan kodlarla ilgili açıklamalar ise Çizelge 4.47’de verilmiştir.

Çizelge 3.9. Katman çalışması kodları

Numune Kodu	Açıklama	Numune Kodu	Açıklama
X1	Tek yön, tek kat kaplama	X2	Tek yön 2 kat kaplama
1X1	Çift yön, tek kat kaplama	2X2	Çift yön, 2 kat kaplama

3.2.7. Kumaşların birim alan ağırlığı ve kalınlık ölçümleri

Zemin kumaşın ve kaplanmış kumaş numunelerinin birim alan ağırlığı (g/m^2) diğer adıyla gramaj ölçümleri TS 251 standardına uygun olarak ölçülmüştür. Kumaş kalınlık ölçümlerinde TS 7128 EN ISO 5084 standardına uygun olarak, James Heal marka R&B Cloth Thickness Tester cihazı (Şekil 3.4.) kullanılmıştır. Ölçümlerden önce test cihazının kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3. Kumaş kalınlık ölçüm cihazı

3.2.8. Aktarılan kaplama maddesi miktarının hesaplanması

Kaplanan kumaş üzerine aktarılan kaplama patı miktarı kaplama işlemlerinde takip edilen parametrelerden biridir. Kumaş üzerine aktarılan kaplama patı içerisinde bulunan su, kurutma ve fiksaj sırasında sıcaklık etkisi ile buharlaşmaktadır. Bu nedenle kaplama işlemi sonunda aktarılan kaplama miktarı kuru kaplama maddesi miktarı olarak ele alınmaktadır. Sektörde hesaplanan bu değer kuru add-on olarak da adlandırılmaktadır. Aktarılan kuru kaplama maddesi miktarı aşağıdaki formülasyon (3.1) ile hesaplanmıştır. Burada W ; aktarılan kuru kaplama miktarı (g/m^2), w_1 ; kaplanmamış zemin kumaş birim ağırlığı (g/m^2), w_2 ; kaplanmış kumaş birim ağırlığıdır (g/m^2).

$$W = w_2 - w_1 \text{ (g/m}^2\text{)} \quad (3.1)$$

3.2.9. Taramalı elektron mikroskop (SEM) analizi

Kumaşların taramalı elektron mikroskobu (SEM) altındaki görüntüleri Bursa Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda bulunan Carl Zeiss-Gemini 300 cihazında alınmıştır.



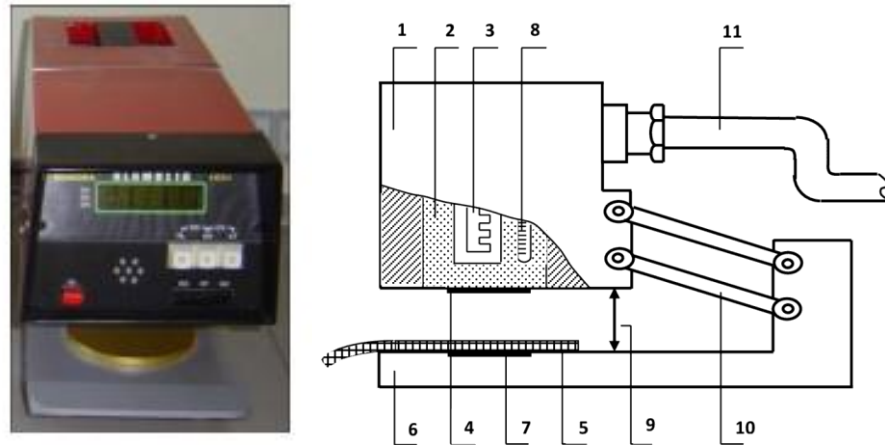
Şekil 3.4. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

3.2.10. Kaplanmış kumaşların sararma oranının ölçülmesi

Kaplanmış numunelerin sararma eğilimlerinin araştırılması amacıyla sarılık indeks değerleri Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuvarı'nda yer alan Konica Minolta marka CM 3600d model spektrofotometrede ölçülmüştür. Sarılık indeks değerleri ASTM E313-73 YI standardında alınmıştır. Ölçümlerde standart kumaş olarak zemin kumaşı alınmıştır.

3.2.11. Isı iletim ve ısı direnç katsayısı ölçümü

Tez çalışmalarında kaplanmış kumaşların ısı özelliklerinin analiz edilmesi amacıyla Alambeta Test Cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.7.'de Alambeta Test Cihazı ve kesit şekli yer almaktadır.



Şekil 3.6. Alambeta test cihazı ve kesit şekli

(1: ölçüm kafası, 2: metal blok, 3: elektrikli ısıtıcı, 4: ısı akış sensörü, 5: tekstil materyali, 6: metal taban, 7: plaka, 8: termometre, 9: Ter akışını simüle eden ıslatılmış tekstil ara yüzeyi, 10: kafa kaldırma mekanizması, 11: bağlantı borusu)

Alambeta cihazı temelde bir ölçüm kafasının ve kumaş numunesinin yerleştirildiği bir metal tabandan oluşan bir sisteme sahiptir. Ölçümün başlangıcında, ısı akış sensörünün (4) yerleşik olarak bulunduğu ölçüm başlığı (kafası) (1) aşağı doğru iner ve metal tabana (6) yerleştirilmiş olan kumaş numunesine (5) temas eder. Temas ile birlikte kumaş numunesinin yüzeyindeki sıcaklık ani olarak değişir, cihazı ekranından bu değişime ait olan değerler kaydedilir. Cihaz üzerinde bulunan fotoelektrik sensör sayesinde kumaş

numunesinin kalınlık değeri de ölçülen ve ısı iletimi ile ilgili hesaplamalarda cihazın kullandığı değerler arasındadır.

Alambeta test cihazı hesaplanan birçok parametrede değer sağlayabilmektedir. Tez çalışmaları kapsamında ise Alambeta test cihazından alınan değerler: ısı iletim katsayısı (λ) ve ısıl direnç (r) değerleridir.

a) Isı iletim katsayısı (λ): Isı iletimi, belirtilen sıcaklık gradyanı altında kumaşın birim kalınlığından birim yüzey alanına aktarılan ısı miktarıdır. Isı iletim katsayısı aşağıdaki (3.2) denkleminde göre hesaplanmaktadır. Burada, λ (W/mK): Isı iletim katsayısı, Δt : sıcaklık farkı, Q : ısı transferi, S : yüzey alanı, h : kumaş kalınlığıdır (Mishra ve ark., 2018).

$$\lambda (W/mK) = \frac{Q}{S \frac{\Delta t}{h}} \quad (3.2)$$

b) Isıl Direnç Katsayısı (r): Isıl direnç, birim zamanda birim kalınlıktaki kumaştan geçen birim ısı enerjisi akışında malzemenin birim alanına karşılık gelen sıcaklık farkıdır. Yüksek ısıl direnci düşük ısı kaybı sağlamaktadır. Isıl direnç, malzeme kalınlığı ile doğru orantılıdır ve (3.3) denklemi ile hesaplanmaktadır. Burada r (m^2K/W): ısıl direnç, h : malzeme kalınlığı, λ : ısıl iletkenlik katsayısıdır (Mishra ve ark., 2018).

$$r (m^2K/W) = \frac{h}{\lambda} \quad (3.3)$$

3.2.12. Kumaşların solar özelliklerinin ölçümü

Kaplama numunelerinin solar özelliklerinin test edilmesinde EN 14500:2008 standardında çalışan Shimadzu UV-3600 Plus Spektrofotometre (UV-VIS-NIR)(Japonya) cihazı kullanılmıştır.

Solar özelliklerin ölçümlerinde 280-2500 nm aralığındaki dalga boylarında 5 nm örneklem aralığı seçilerek numunelere ait ölçümler alınmıştır. Her bir testin başlangıcında ölçülecek parametre için (geçirgenlik veya yansıtma) doğrulama ölçümü (base-line) alınmıştır. Her kaplama numune kumaş için ışık geçirgenlik (T) ve yansıtma (R) ölçümleri programa kaydedilmiştir, ardından kaydedilen değerler EN 410 standardında çalışan ve makro formülasyonları içeren excel programına aktarılarak anlamlı değerlere dönüştürülmüştür. Hesaplama programından elde edilen çıktılar Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Spektrofotometre program çıktıları

Program çıktısı	Tanım	Dalga Boyu (nm)
T _v	Görünür ışıktaki geçirgenlik	380-780
R _v	Görünür ışıktaki yansıtma	380-780
T _s	Solar geçirgenlik	300-2500
R _s	Solar yansıtma	300-2500
A _s	Solar absorpsiyon	300-2500
T _{UV}	UV geçirgenlik	280-380

3.2.13. İstatistiksel Analizler

Çalışmalar sonucunda elde edilen veriler MINITAB (Minitab Inc., State Collage, PA, USA) istatistik programı kullanılarak analiz edilmiştir. İstatistiksel analiz için verilerin hazırlığı Microsoft Excel 2010 programı ile yapılmıştır. Elde edilen verilere %95 güven aralığında tek yönlü ANOVA ve Tukey çoklu karşılaştırma testi uygulanmış, böylece veriler arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olup olmadığı tespit edilmiştir. İki parametrenin etkileşiminin ortak etkisi olup olmadığını araştırmak için ise %95 güven aralığında iki yönlü ANOVA kullanılmıştır. Tüm analiz ölçümleri en az 3 kez tekrarlanmıştır. Tüm değerler ortalama±standart sapma olmak üzere verilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Fiksaj Sıcaklık Değerlerinin Belirlenmesine Yönelik Kaplanmış Kumaşlara Ait Sonuçlar

Tez ön çalışması kapsamında fiksaj süre ve sıcaklık değerlerinin belirlenmesine yönelik gerçekleştirilen kaplama çalışmalarından elde edilen sonuçlar bu bölümde verilmiştir.

4.1.1. Birim alan ağırlığı, kalınlık ve aktarılan kuru madde miktarı ölçüm sonuçları

Değişken tüm parametreler sabit tutularak dört farklı sıcaklıkta ve sürede fiksaj uygulanan kumaşların ortalama birim ağırlıkları 250-258 g/m² olarak elde edilmiştir. Zemin kumaşın birim ağırlığı 160 g/m² olup, kaplama işlemi ile birim alana yaklaşık olarak 93 - 98 g/m² kaplama maddesi aktarıldığı görülmüştür.

Çizelge 4.1. Birim alan ağırlığı, ağırlık artışı ve kalınlık ölçüm sonuçları

Kumaş Kodu	Birim Alan Ağırlığı (g/m ²)	Aktarılan kuru madde miktarı (g/m ²)	Kalınlık (mm)
Zemin Kumaş	160	0	0,260
Fiksajsız Kaplanmış Kumaş	255	95	0,345
150 °C - 4 dk	258	98	0,345
160 °C - 3 dk	253	93	0,340
170 °C - 2 dk	255	95	0,345
180 °C - 1 dk	254	94	0,340

Kaplanmış kumaşların kalınlık değerleri 0,340 - 0,345 mm aralığında elde edilmiştir. Kullanılan zemin kumaşın kalınlığı ise 0,260 mm'dir. Kaplama işlemi ile birlikte zemin kumaşın kalınlığında yaklaşık olarak 0,080 mm artış gözlemlenmiştir.

4.1.2. Sarılık indeksi ölçüm sonuçları

Sarılık indeksi değerleri fiksaj işleminin sararmaya etkisini incelemek üzere ölçülmüş olup elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Fiksaj işlemi öncesi sarılık indeksi değerleri ile fiksaj sonrasında sarılık indeksi değerleri kıyaslandığında sararmanın sıcaklık arttıkça paralel olarak arttığı görülmektedir. Zemin kumaş ile kaplanmış kumaşların sarılık indeksi değerlerine bakıldığında polimerlerin sararma eğilimi oluşturduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2. Sarılık indeksi ölçüm sonuçları

Kumaş Kodu	ASTM E313-73
Zemin Kumaşı	2,80
Fiksajsız Kaplanmış Kumaş	4,23
150 °C - 4 dk	11,32
160 °C - 3 dk	12,26
170 °C - 2 dk	13,14
180 °C - 1 dk	13,78

4.2. Binder Türü ve Konsantrasyon Etkisinin Araştırılmasına ait Sonuçlar

Tez çalışmasının ikinci bölümünde binder türü ve konsantrasyonu etkisinin araştırılarak optimum binder tür ve konsantrasyonunun seçilmesi amacıyla 4 farklı binder türü (saf akrilik – AK1, vinil asetat-akrilik - AK2, stiren-akrilik - AK3, ve poliüretan - PU1) ile 4 farklı binder konsantrasyonunda (300, 450, 600, 750 g/kg) kaplama işlemi ile kumaş üzerine aktarılmıştır. Çalışmada aynı zamanda aerogel etkisinin de incelenmesi amacıyla temin edilen aerojellerden seçilen orta boyutlu aerojeller (A2; 80 µm) kaplama patı içerisinde %2 konsantrasyonda bulunacak şekilde kontrol grubu kaplamaları da yapılmıştır. Kaplanan numune kumaşlara uygulanan test ve ölçümlere ait sonuçlar ait sonuçlar, ilgili alt başlıklar içerisinde verilmiştir.

4.2.1. Birim ağırlık ve aktarılan kaplama madde miktarı ölçüm sonuçları

Saf Akrilik (AK1), vinil asetat-akrilik (AK2), stiren-akrilik (AK3), ve poliüretan (PU1) binder türleri ile 300, 450, 600, 750 g/kg konsantrasyon değerinde hem kör kaplanmış hem de aerojelli kaplama numunelerinin birim alan ağırlıkları (gramaj) ölçülmüştür. Buna ilişkin ölçüm sonuçları, sırasıyla Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Farklı binder tür ve konsantrasyonlarında kör kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı ölçüm sonuçları

Birim Alan Ağırlığı (g/m ²)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-K	AK2-K	AK3-K	PU1-K
300	206,33 ± 2,52 ^{d,B}	205,00 ± 2,00 ^{c,B}	214,67 ± 1,53 ^{d,A}	200,00 ± 4,36 ^{c,B}
450	219,00 ± 1,00 ^{c,B}	216,00 ± 2,00 ^{b,B}	235,33 ± 3,21 ^{c,A}	202,00 ± 2,65 ^{c,C}

Çizelge 4.3. Farklı binder tür ve konsantrasyonlarında kör kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı ölçüm sonuçları (devam)

Birim Alan Ağırlığı (g/m ²)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-K	AK2-K	AK3-K	PU1-K
600	228,67 ± 5,03 ^{b,B}	222,00 ± 2,00 ^{b,BC}	265,00 ± 4,58 ^{b,A}	214,67 ± 2,31 ^{b,C}
750	252,00 ± 4,00 ^{a,B}	246,00 ± 4,00 ^{a,B}	275,33 ± 4,16 ^{a,A}	224,67 ± 3,51 ^{a,C}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Çizelge 4.4. Farklı binder tür ve konsantrasyonlarında aerojelle kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı ölçüm sonuçları

Birim Alan Ağırlığı (g/m ²)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-A2	AK2-A2	AK3-A2	PU1-A2
300	205,00 ± 3,00 ^{d,C}	197,00 ± 2,00 ^{d,B}	220,00 ± 2,00 ^{d,A}	190,00 ± 4,00 ^{d,D}
450	230,00 ± 4,00 ^{c,A}	212,00 ± 4,00 ^{c,B}	240,00 ± 4,00 ^{c,A}	200,00 ± 3,00 ^{c,C}
600	261,00 ± 2,00 ^{b,A}	229,00 ± 5,00 ^{b,B}	265,00 ± 3,00 ^{b,A}	216,00 ± 2,00 ^{b,C}
750	270,00 ± 3,00 ^{a,B}	247,00 ± 3,00 ^{a,C}	280,00 ± 3,00 ^{a,A}	235,00 ± 2,00 ^{a,D}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te yer alan ölçüm sonuçları incelendiğinde binder konsantrasyonu arttıkça her binder türü ile kaplanan kumaşların birim ağırlıklarının istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Kaplama reçetelerinde binder konsantrasyonu arttıkça su oranı azaltılmıştır. Buna bağlı olarak kaplanan kumaş üzerinde kalan katı madde miktarı (polimer) arttığından konsantrasyonun artmasıyla birim alan ağırlık değerleri de artış göstermiştir. Binder tipi ve konsantrasyon arasındaki ilişkiye bakıldığında da etkileşim olasılık değerinin 0,05'ten küçük olduğu, buna bağlı olarak da

bu iki bağımsız değişkenin ortak etkisinin anlamlı olduğu görülmektedir. Her konsantrasyon için birim alan ağırlığı istatistiksel olarak en yüksek binder tipi AK3 olmuştur.

Yapılan ölçümler sonucunda, kör kaplanmış ve aerojelli kaplanmış durumlarda birim alana aktarılan kaplama madde miktarları da sırasıyla Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da verilmektedir.

Çizelge 4.5. Farklı binder tür ve konsantrasyonlarda kör kaplanmış kumaşların birim alana aktarılan kuru madde miktarı kuru madde miktarı ölçüm sonuçları

Birim Alana Aktarılan Kaplama Madde Miktarı (g/m ²)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-K	AK2-K	AK3-K	PU1-K
300	46,33 ± 2,52 ^{d,B}	45,00 ± 2,00 ^{c,B}	54,67 ± 1,53 ^{d,A}	40,00 ± 4,36 ^{c,B}
450	59,00 ± 1,00 ^{c,B}	56,00 ± 2,00 ^{b,B}	75,33 ± 3,21 ^{c,A}	42,00 ± 2,65 ^{c,C}
600	68,67 ± 5,03 ^{b,B}	62,00 ± 2,00 ^{b,BC}	105,00 ± 4,58 ^{b,A}	54,67 ± 2,31 ^{b,C}
750	92,00 ± 4,00 ^{a,B}	86,00 ± 4,00 ^{a,B}	115,33 ± 4,16 ^{a,A}	64,67 ± 3,51 ^{a,C}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kör kaplama yapılan kumaşların analizleri sonucunda elde edilen birim alan ağırlıklarından yola çıkılarak zemin kumaş üzerine aktarılan kaplama madde miktarları hesaplanmış ve Çizelge 4.5'te yer alan değerler elde edilmiştir. Buna göre, zemin kumaş üzerine kaplama işlemleri ile konsantrasyona bağlı olarak yaklaşık 40- 115 gr aralığında kaplama maddesi aktarılmıştır.

Çizelge 4.6. Farklı binder tür ve konsantrasyonlarında aerojelle kaplanmış kumaşların birim alana aktarılan kuru madde miktarı ölçüm sonuçları

Birim Alana Aktarılan Kaplama Maddesi Miktarı (g/m ²)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-A2	AK2-A2	AK3-A2	PU1-A2
300	45,00 ± 3,00 ^{d,C}	37,00 ± 2,00 ^{d,B}	60,00 ± 2,00 ^{d,A}	30,00 ± 4,00 ^{d,D}
450	70,00 ± 3,51 ^{c,A}	52,00 ± 4,00 ^{c,B}	80,00 ± 4,04 ^{c,A}	40,00 ± 2,65 ^{c,C}
600	101,00 ± 2,00 ^{b,A}	69,00 ± 5,00 ^{b,B}	105,00 ± 3,00 ^{b,A}	56,00 ± 2,00 ^{b,C}
750	113,00 ± 1,53 ^{a,B}	87,00 ± 3,06 ^{a,C}	120,00 ± 3,22 ^{a,A}	75,00 ± 2,31 ^{a,D}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Aerojelle kaplanmış kumaşlara yapılan analizler sonucunda elde edilen birim alan ağırlıklarından yola çıkılarak zemin kumaş üzerine aktarılan kaplama madde miktarları hesaplanmış ve Çizelge 4.6'daki değerler elde edilmiştir. Buna göre, zemin kumaş üzerine kaplama işlemleri ile konsantrasyona bağlı olarak yaklaşık 30- 120 gr aralığında kaplama maddesi aktarılmıştır.

Dört binder tipi için de hem kör kaplamalarda hem de aerojelli kaplamalarda konsantrasyon arttıkça aktarılan kaplama madde miktarı anlamlı bir şekilde artmıştır. Her konsantrasyon için ise istatistiksel olarak en yüksek kaplama madde miktarı AK3 binder tipinde gözlenmiştir.

4.2.2. Kumaş kalınlık ölçüm sonuçları

Akrilik (AK1), vinil asetat-akrilik (AK2), stiren-akrilik (AK3), ve poliüretan (PU1) binder türleri ile 300, 450, 600, 750 g/kg konsantrasyon değerinde hem kör kaplanmış hem de aerojelli kaplama numunelerinin kaplama işlemi sonrası kalınlıkları ölçülmüş olup sonuçlar Çizelge 4.7. ve 4.8'de verilmiştir. Zemin kumaş kalınlığı 0,26 mm iken kör kaplanmış kumaşların kalınlık değerleri 0,34-0,40 mm aralığında değişmiştir. Aerojelle kaplanmış kumaşların kalınlık değerleri ise 0,44-0,50 mm arasındadır. Buna göre, zemin kumaşa göre hem kör kaplanmış hem de aerojelle kaplanmış kumaşların kalınlık değerleri daha yüksektir.

Çizelge 4.7. Farklı tür ve konsantrasyonlardaki binderlerin kör kaplama kalınlık ölçüm sonuçları

h (mm)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-K	AK2-K	AK3-K	PU1-K
300	0,31 ± 0,01 ^{c,B}	0,34 ± 0,01 ^{b,A}	0,34 ± 0,01 ^{c,A}	0,32 ± 0,01 ^{a,AB}
450	0,34 ± 0,01 ^{b,AB}	0,35 ± 0,01 ^{a,A}	0,34 ± 0,01 ^{c,AB}	0,33 ± 0,01 ^{a,B}
600	0,35 ± 0,01 ^{ab,AB}	0,35 ± 0,01 ^{a,AB}	0,36 ± 0,01 ^{b,A}	0,34 ± 0,00 ^{b,B}
750	0,36 ± 0,01 ^{a,BC}	0,37 ± 0,01 ^{a,B}	0,39 ± 0,01 ^{a,A}	0,34 ± 0,00 ^{b,C}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kör kaplanmış kumaşlarda binder tipi ve konsantrasyonun kalınlık üzerine ortak etkisine bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir etki olduğu görülmektedir (Çizelge 4.7). Binder konsantrasyonu arttıkça kalınlık da anlamlı olarak artmıştır, ancak binder tipine bağlı olarak bazı konsantrasyonlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir artış olmamıştır. Örneğin, AK2 binder tipinde her konsantrasyon için istatistiksel olarak aynı kalınlık elde edilmiştir. AK3 ile kör kaplanmış kumaşlarda ise en yüksek konsantrasyonda en yüksek kalınlık değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.8. Farklı tür ve konsantrasyonlardaki binderlerin aerojelle kaplama kalınlık ölçüm sonuçları

h (mm)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-A2	AK2-A2	AK3-A2	PU1-A2
300	0,42 ± 0,00 ^{d,A}	0,41 ± 0,01 ^{b,B}	0,42 ± 0,01 ^{b,A}	0,37 ± 0,01 ^{c,C}
450	0,44 ± 0,01 ^{c,A}	0,42 ± 0,01 ^{ab,B}	0,45 ± 0,01 ^{a,A}	0,38 ± 0,00 ^{c,C}
600	0,47 ± 0,01 ^{b,A}	0,42 ± 0,02 ^{ab,B}	0,46 ± 0,01 ^{a,A}	0,41 ± 0,01 ^{b,B}
750	0,49 ± 0,00 ^{a,A}	0,44 ± 0,00 ^{a,C}	0,47 ± 0,01 ^{a,B}	0,43 ± 0,01 ^{b,C}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Çizelge 4.8'deki sonuçlar göz önüne alındığı zaman, farklı tiplerdeki ve konsantrasyonlardaki binderlerle aerojelli kaplamalarda binder tipi ve konsantrasyonun kalınlık üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Kör kaplamalı kumaşlara kıyasla aerojelli kaplamaların kalınlıkları daha yüksektir. Aerojellerin hacimli yapısı nedeniyle aerojelle kaplanmış numunelerde kör kaplamalara göre daha pürüzlü bir yapı elde edilmiştir. Bunun sonucunda kalınlık değerlerindeki artışın buna bağlı olduğu düşünülmektedir. Aerojelli kaplamalarda da kör kaplama sonuçlarıyla paralel olarak binder konsantrasyonu artışı kalınlığı anlamlı olarak arttırmıştır.

4.2.3. Sarılık indeksi ölçüm sonuçları

Saf akrilik (AK1), vinil asetat-akrilik (AK2), stiren-akrilik (AK3) ve poliüretan binder (PU1) türleri ile 300, 450, 600, 750 g/kg konsantrasyon değerinde hem kör kaplanmış hem de aerojelle kaplanmış kumaşların sarılık indeksi değerleri Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10'da verilmiştir. Böylece, elde edilen sarılık indeks değerleri ile sararma davranışı açısından konsantrasyonun ve binder türünün etkisini değerlendirmek mümkün olmaktadır.

Çizelge 4.9. Farklı tür ve konsantrasyonlardaki binderlerin kör kaplama sarılık indeksi değerleri

Sarılık İndeksi (ASTM E313-73)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-K	AK2-K	AK3-K	PU1-K
300	9,39 ± 0,30 ^{b,B}	12,22 ± 0,34 ^{d,A}	5,96 ± 0,52 ^{b,C}	4,40 ± 0,22 ^{a,D}
450	9,43 ± 0,25 ^{b,B}	14,92 ± 0,27 ^{c,A}	6,47 ± 0,35 ^{b,C}	4,43 ± 0,17 ^{a,D}
600	9,83 ± 0,06 ^{b,B}	18,19 ± 0,60 ^{b,A}	6,96 ± 0,53 ^{ab,C}	4,65 ± 0,20 ^{a,D}
750	10,81 ± 0,29 ^{a,B}	20,04 ± 0,35 ^{a,A}	7,84 ± 0,52 ^{a,C}	4,74 ± 0,20 ^{a,D}
Konsantrasyon x Binder Tipi		$p < 0,001^*$		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Çizelge 4.10. Farklı tür ve konsantrasyonlardaki binderlerin aerojelle kaplamalarında sarılık indeksi değerleri

Sarılık İndeksi (ASTM E313-73)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-A2	AK2-A2	AK3-A2	PU1-A2
300	6,10 ± 0,36 ^{d,B}	11,43 ± 0,43 ^{c,A}	5,50 ± 0,44 ^{b,B}	3,81 ± 0,18 ^{c,D}
450	8,66 ± 0,39 ^{c,B}	13,68 ± 0,52 ^{b,A}	6,90 ± 0,30 ^{a,C}	4,13 ± 0,13 ^{bc,D}
600	13,27 ± 0,48 ^{b,B}	14,33 ± 0,40 ^{b,A}	7,33 ± 0,22 ^{a,C}	4,46 ± 0,19 ^{b,D}
750	14,53 ± 0,50 ^{a,B}	19,14 ± 0,40 ^{a,A}	7,57 ± 0,24 ^{a,C}	4,98 ± 0,23 ^{a,D}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kör ve aerojelli kaplama numunelerinin sararma indeksi değerleri incelendiğinde; binder tipi ve konsantrasyonun sararma davranışı üzerinde etkin olduğu (p<0,05) görülmüştür. Tüm binder tiplerinde konsantrasyon arttıkça sararma eğiliminin de arttığı görülmektedir.

İstatistiksel analizlerde de görüldüğü üzere; kör ve aerojelli kaplamalarda AK2 tüm konsantrasyonlarda diğer binderlere göre en yüksek sararma meydana gelen binder tipidir. AK2'nin ardından ise sırasıyla AK1 ve AK3 gelmektedir. En düşük sararma eğilimi ise PU11 binderinde sağlanmıştır. Sarılık indeksi değerlerinde kör ve aerojelli kaplama numunelerinde en düşük konsantrasyon (300 g/kg) ile en yüksek konsantrasyon (750 g/kg) değerleri farkının en yüksek olduğu binder de AK2'dir. AK2 kodlu binder vinil asetat bazlı binderdir.

4.2.4. Isı iletim ve ısı direnç katsayısı test sonuçları

Akrilik (AK1), vinil asetat-akrilik (AK2), stiren-akrilik (AK3), ve poliüretan (PU1) binder türleri ile 300, 450, 600, 750 g/kg konsantrasyon değerlerinde hem kör kaplanmış hem de aerojelle kaplanmış numuneler için gerçekleştirilen, ısı iletim katsayılarının ölçüm sonuçları Çizelge 4.11 ve 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Farklı binder ve konsantrasyonlarda kör kaplama yapılmış kumaşların ısı iletim katsayısı değerleri

λ (W/mK x 10 ⁻³)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-K	AK2-K	AK3-K	PU1-K
300	40,70 ± 0,10 ^{c,A}	38,30 ± 0,30 ^{c,B}	41,50 ± 0,78 ^{c,A}	38,03 ± 0,06 ^{b,B}
450	41,07 ± 0,40 ^{c,B}	40,23 ± 0,87 ^{b,B}	43,13 ± 0,42 ^{bc,A}	38,60 ± 0,17 ^{b,C}
600	42,10 ± 0,26 ^{b,B}	41,27 ± 0,59 ^{b,BC}	44,37 ± 1,12 ^{b,A}	40,27 ± 0,40 ^{a,C}
750	44,97 ± 0,15 ^{a,B}	44,10 ± 0,79 ^{a,B}	48,87 ± 0,67 ^{a,A}	40,87 ± 0,45 ^{a,C}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kör kaplamalı kumaşların sonuçları değerlendirildiğinde binder tipinin ve konsantrasyonun ısı iletim katsayısı üzerinde etkili (p<0,05) olduğu görülmüştür. Kaplama patları içerisindeki binder konsantrasyonu arttıkça kaplanmış kumaşların daha iletken hale geldiği, ısı iletim katsayısının arttığı görülmektedir. Tüm konsantrasyonlarda en yüksek ısı iletim katsayısı AK3 ile kaplamalarda, en düşük ısı iletim katsayısı da PU1 binder ile gerçekleştirilen kaplamalarda elde edilmiştir. Kör kaplamalarda en düşük binder konsantrasyonunda sırasıyla AK1 (saf akrilik), AK2 (vinil asetat-akrilik), AK3 (stiren-akrilik) ve PU1 (poliüretan) ile elde edilen ısı iletim katsayısı değerleri: “40,70”, “38,30”, “41,50” ve “38,03” W/mK10⁻³'dir. En düşük ısı iletim katsayısı poliüretan binderlerin kullanıldığı ve en düşük binder konsantrasyonunda kaplanmış kumaşlarda elde edilmiştir.

Çizelge 4.12. Farklı binder ve konsantrasyonlarda arojel kaplamalı kumaşların ısı iletim katsayısı değerleri

λ (W/mK x 10 ⁻³)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-A2	AK2-A2	AK3-A2	PU1-A2
300	39,80 ± 0,17 ^{d,AB}	39,07 ± 0,60 ^{c,B}	40,6 ± 0,21 ^{c,A}	36,8 ± 0,59 ^{b,C}
450	41,70 ± 0,15 ^{c,A}	39,80 ± 0,65 ^{c,B}	41,5 ± 0,68 ^{b,A}	38,2 ± 0,12 ^{b,C}
600	44,60 ± 0,12 ^{b,A}	41,50 ± 0,78 ^{b,B}	45,5 ± 0,29 ^{a,A}	40,1 ± 0,21 ^{a,B}
750	45,60 ± 0,25 ^{a,AB}	43,50 ± 0,50 ^{a,B}	46,4 ± 0,47 ^{a,A}	40,1 ± 0,92 ^{a,C}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Farklı konsantrasyon ve türlerdeki binderlerin %2 A2 aerojel içeren kaplamalı kumaş numunelerinin sonuçları değerlendirildiğinde binder tipinin ve konsantrasyonun ısı iletim katsayısı üzerinde etkili (p<0,05) olduğu görülmüştür. Aerojelle kaplamalarda da kr kaplamalara benzer bir şekilde binder konsantrasyonu arttıķa ısı iletim katsayısı artmaktadır. İstatistiksel analizlerin sonuçlarına bakıldığında binder konsantrasyonunun 300, 450 ve 750 g/kg olduğu çalışmalarda tüm binder tiplerinde PU1'nun ısı iletim katsayısı en düşüktür. 600 g/kg binder konsantrasyonunda ise AK2 ile PU1 yakın ısı iletim katsayılarına sahiptir.

Çizelge 4.11 ve 4.12'deki verilere bakıldığında ise, ısı iletim katsayısının kr ve aerojelli kaplamalarda, zemin kumaşın ısı iletim katsayısı değerinden (36,3 W/mK'den) daha yüksek çıktığı görülmektedir. Kumaşın gözenekli yapısındaki hava boşlukları kaplama işleminin ardından polimer binderler ile kapatılmıştır. Bu nedenle de kumaştaki binderin ısı iletim katsayısından daha düşük ısı iletim katsayısına sahip hava boşlukları, binderler ile yer değiştirmiş ve bu nedenle kaplanmış kumaşın ısı iletim katsayısı değeri yükselmiştir. Aerojelle kaplamalar ve kr kaplamaların ısı iletim katsayıları kıyaslandığında kr kaplamalı kumaşların ısı iletim katsayılarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Aerojellerin ısı iletim katsayısı değerini düşürerek ısı yalıtımına etki sağladığı net bir şekilde görülmektedir.

Kr kaplama ve aerojelle kaplamalar için elde edilen ısı direnç katsayıları sırasıyla izelge 4.13 ve izelge 4.14'te verilmektedir.

Çizelge 4.13. Farklı binder ve konsantrasyonlarda kör kaplama kumaşların ısı direnç değerleri

r (m ² K/W)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-K	AK2-K	AK3-K	PU1-K
300	7,50 ± 0,00 ^{c,D}	8,70 ± 0,10 ^{a,A}	8,13 ± 0,06 ^{a,C}	8,47 ± 0,12 ^{a,B}
450	8,20 ± 0,00 ^{a,AB}	8,71 ± 0,08 ^{a,A}	8,00 ± 0,10 ^{a,B}	8,53 ± 0,38 ^{a,A}
600	8,23 ± 0,12 ^{a,B}	8,53 ± 0,06 ^{ab,A}	8,10 ± 0,00 ^{a,B}	8,63 ± 0,12 ^{a,A}
750	8,00 ± 0,00 ^{b,B}	8,42 ± 0,03 ^{b,A}	7,97 ± 0,15 ^{a,B}	8,27 ± 0,06 ^{a,A}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Binder tipi ve konsantrasyon etkisinin kör kaplamalı kumaşlarda ısı direnç katsayısı üzerine etkisi bulunduğu (p<0,05) görülmektedir. Isıl direnç katsayısı AK2 ve PU1 binderlerde diğerlerine göre daha yüksektir. En düşük konsantrasyonda AK2 en yüksek ısı direnç katsayısına, AK1 ise en düşük konsantrasyonda en düşük ısı direnç katsayısına sahiptir.

Çizelge 4.14. Farklı binder ve konsantrasyonlarda aerjel kaplama kumaşların ısı direnç değerleri

r (m ² K/W)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1	AK2	AK3	PU1
300	10,53 ± 0,06 ^{b,A}	10,53 ± 0,15 ^{a,A}	10,53 ± 0,06 ^{a,A}	10,50 ± 0,10 ^{a,A}
450	10,57 ± 0,15 ^{b,A}	10,33 ± 0,25 ^{ab,AB}	10,50 ± 0,00 ^{a,A}	10,00 ± 0,06 ^{b,B}
600	10,37 ± 0,15 ^{b,A}	10,22 ± 0,13 ^{ab,AB}	10,30 ± 0,10 ^{b,AB}	10,03 ± 0,06 ^{b,B}
750	10,93 ± 0,06 ^{a,A}	10,02 ± 0,03 ^{b,BC}	10,20 ± 0,10 ^{b,B}	9,90 ± 0,25 ^{b,B}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Aerojellerin AK1, AK2, AK3 ve PU1 binderleriyle kaplamalar üzerindeki etkisine bakıldığında kör kaplamalara kıyasla ısı direnç katsayısının arojelli kaplamalarda daha yüksek olduğu görülmektedir. Binder konsantrasyonu arttıkça binderlerin ısı direnç katsayısı da azalmıştır. Polimer miktarının artması ile birlikte arojelli kaplamalarda da ısı direnç katsayısı azalmıştır. Ancak yine de kör kaplamalı numunelere göre daha yüksek değere sahiptir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde tez çalışmasına temel amacına yönelik olarak kullanılan arojellerin ısı direnci arttırdığı ve ısı iletim katsayısını azalttığı görülmüştür. Aerojelle kaplamalarda en düşük ısı iletim katsayısı değeri poliüretan binder (PU1) ile en düşük binder konsantrasyonunda sağlanmış olup ardından vinil asetat- akrilik(AK2), saf akrilik (AK1) ve stiren-akrilik (AK3) gelmiştir. Isı direnç katsayısının tüm binder tiplerinde en düşük konsantrasyonda en yüksek değerde olduğu görülmüştür.

4.2.5. Spektrofotometrik analiz ölçüm test sonuçları

Saf akrilik (AK1), vinil asetat- akrilik (AK2), stiren-akrilik (AK3) ve poliüretan (PU1) binder türleri ile 300, 450, 600, 750 g/kg konsantrasyon değerlerinde hem kör kaplanmış hem de arojelle kaplanmış kumaşların spektrofotometrik analiz sonuçlarına ait çizelgeler aşağıda yer almaktadır. Çalışmalarda referans kumaş olarak zemin kumaş değerleri alınmış olup, Çizelge 4.15.'te zemin kumaşa ait referans değerler verilmiştir.

Çizelge 4.15. Zemin kumaş spektrofotometrik analiz sonuçları

Numune Kodu	Değerler (%)
Tv (Görünür ışıktaki geçirgenlik)	29,03
Rv (Görünür ışıktaki yansım)	68,34
Ts (Solar geçirgenlik)	28,69
Rs (Solar yansıtma)	66,66
As (Solar absorbans)	4,66
Tuv (UV geçirgenlik)	6,41

Zemin kumaşın görünür bölgedeki ışık yansıtma oranı %68,34, solar bölgede ise %66,66'dır. Zemin kumaşın görünür ve solar bölgedeki ışık geçirgenliği birbirine oldukça yakınken UV bölgede ışık geçirgenliğinin düştüğü görülmektedir. Kör kaplamalı kumaşların görünür bölgede ışık geçirgenliği analizlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında kör kaplanmış kumaşların görünür bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları

Tv (%)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-K	AK2-K	AK3-K	PU1-K
300	32,19 ± 0,22 ^{d,C}	35,67 ± 0,02 ^{c,A}	34,23 ± 0,06 ^{d,B}	32,43 ± 0,53 ^{b,C}
450	34,09 ± 0,00 ^{c,C}	37,43 ± 0,23 ^{b,A}	36,00 ± 0,07 ^{c,B}	32,81 ± 0,10 ^{b,D}
600	35,26 ± 0,36 ^{b,C}	38,08 ± 0,11 ^{a,A}	36,87 ± 0,13 ^{b,B}	33,88 ± 0,02 ^{a,D}
750	36,25 ± 0,17 ^{a,B}	38,35 ± 0,36 ^{a,A}	38,35 ± 0,44 ^{a,A}	33,59 ± 0,09 ^{a,C}
<i>Konsantrasyon x Binder Tipi</i>		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kör kaplamalı numunelerin görünür bölgede ışık geçirgenlik değerlerine bakıldığında binder tipi ve konsantrasyon arasında anlamlı bir değişim (p<0,05) olduğu görülmektedir. Tüm binder türlerinde binder konsantrasyonu arttıkça ışık geçirgenlik değeri artmıştır. Ancak en fazla değişim istatistiksel olarak da görüldüğü üzere AK1, AK2 ve AK3'te elde edilmektedir. PU1 binderli kör kaplamalar tüm konsantrasyonlarda en düşük değere sahiptir.

Aerojel kaplanmış kumaşların ışık geçirgenliği analizlerine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında aerojel kaplanmış kumaşların görünür bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları

Konsantrasyon (g/kg)	Tv (%)			
	Binder Tipi			
	AK1-A2	AK2-A2	AK3-A2	PU1-A2
300	30,94 ± 0,14 ^{c,AB}	31,43 ± 0,25 ^{b,A}	31,28 ± 0,43 ^{a,A}	30,33 ± 0,05 ^{b,B}
450	32,07 ± 0,09 ^{ab,B}	31,41 ± 0,14 ^{b,C}	32,90 ± 0,35 ^{ab,A}	30,42 ± 0,25 ^{b,D}
600	31,41 ± 0,24 ^{bc,BC}	31,73 ± 0,22 ^{b, B}	33,31 ± 0,70 ^{b,A}	30,44 ± 0,16 ^{b,C}
750	32,40 ± 0,47 ^{a,A}	32,18 ± 2,80 ^{b,A}	34,26 ± 0,17 ^{c,A}	31,43 ± 0,19 ^{a,A}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p = 0,298*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Çizelge 4.17’de görüldüğü üzere binder tipi ve konsantrasyonun aerojel kaplamalar üzerinde etkisi (p>0,05) yoktur. Tüm binder tiplerinde konsantrasyon arttıkça kör kaplamalara benzer şekilde geçirgenlik değeri artmaktadır. Tüm binder tiplerinde AK3 binder tipi en yüksek ışık geçirgenliği değerlerine sahiptir.

Kör ve aerojelle kaplamaların solar bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları sırasıyla Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.18. Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında kör kaplanmış kumaşların solar bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları

Konsantrasyon (g/kg)	Ts (%)			
	Binder Tipi			
	AK1-K	AK2-K	AK3-K	PU1-K
300	33,46 ± 0,07 ^{c,B}	35,23 ± 0,04 ^{c,A}	33,81 ± 0,08 ^{d,B}	32,07 ± 0,52 ^{c,C}
450	33,77 ± 0,01 ^{c,C}	36,94 ± 0,25 ^{b,A}	35,62 ± 0,10 ^{c,B}	32,39 ± 0,11 ^{bc,D}
600	34,79 ± 0,31 ^{b,C}	37,61 ± 0,11 ^{a,A}	36,43 ± 0,14 ^{b,B}	33,45 ± 0,03 ^{a,D}
750	35,81 ± 0,16 ^{a,B}	37,77 ± 0,38 ^{a,A}	37,74 ± 0,50 ^{a,A}	33,08 ± 0,09 ^{ab,C}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kör kaplamalı numunelerin solar bölgede ışık geçirgenlik değerlerine bakıldığında binder tipi ve konsantrasyon arasında anlamlı bir değişim ($p < 0,05$) olduğu görülmektedir. Tüm binder türlerinde binder konsantrasyonu arttıkça ışık geçirgenlik değeri artmıştır. AK1, AK2, AK3 ve PU1'nun farklı konsantrasyonlarında elde edilen geçirgenlik değerleri birbirinden farklıdır. PU1 binderli kör kaplamalar tüm konsantrasyonlarda en düşük ışık geçirgenliği değerine sahiptir. En yüksek ışık geçirgenliğini sağlayan binderler ise AK2 ve AK3'tür.

Çizelge 4.19. Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında aerojelli kaplanmış kumaşların solar bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları

Konsantrasyon (g/kg)	Ts (%)			
	Binder Tipi			
	AK1-A2	AK2-A2	AK3-A2	PU1-A2
300	30,61 ± 0,12 ^{b, AB}	30,94 ± 0,30 ^{a, A}	30,77 ± 0,47 ^{b, AB}	30,12 ± 0,04 ^{b, B}
450	31,70 ± 0,13 ^{a, B}	30,87 ± 0,17 ^{a, C}	32,38 ± 0,39 ^{a, A}	30,15 ± 0,23 ^{b, D}
600	30,82 ± 0,31 ^{b, B}	31,12 ± 0,28 ^{a, B}	32,61 ± 0,76 ^{a, A}	30,10 ± 0,16 ^{b, c}
750	31,82 ± 0,51 ^{a, A}	31,55 ± 2,91 ^{a, A}	33,57 ± 0,19 ^{a, A}	30,88 ± 0,17 ^{a, A}
<i>Konsantrasyon x Binder Tipi</i>		p = 0,345*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a, b, c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

^{A, B, C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Çizelge 4.19'da görüldüğü üzere binder tipi ve konsantrasyonun aerojel kaplamalar üzerinde anlamlı bir etkisinin ($p > 0,05$) olmadığı görülmektedir. Tüm binder tiplerinde konsantrasyonlar arasındaki geçirgenlik değerlerine bakıldığında birbirlerine oldukça yakın değerler bulunmaktadır. En düşük ışık geçirgenlik değeri PU1 binderin en düşük konsantrasyonunda elde edilmiştir.

Aerojel kaplamalar ile kör kaplamaların solar bölgedeki ışık geçirgenlik değerleri kıyaslandığında aerojel kaplamaların geçirgenlik değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.

Çalışmalarda incelenen UV bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları, Çizelge 4.20 ve Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında kör kaplanmış kumaşların UV bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları

Konsantrasyon (g/kg)	Tuv (%)			
	Binder Tipi			
	AK1-K	AK2-K	AK3-K	PU1-K
300	6,99 ± 0,15 ^{b,A}	7,00 ± 0,11 ^{a,A}	6,89 ± 0,10 ^{b,A}	6,82 ± 0,22 ^{c,A}
450	6,97 ± 0,06 ^{b,B}	7,04 ± 0,15 ^{a,B}	7,42 ± 0,11 ^{a,A}	6,90 ± 0,12 ^{bc,B}
600	7,03 ± 0,06 ^{b,B}	7,25 ± 0,04 ^{a,AB}	7,37 ± 0,15 ^{ab,A}	7,29 ± 0,08 ^{a,A}
750	7,75 ± 0,44 ^{a,A}	6,70 ± 0,07 ^{b,B}	7,69 ± 0,31 ^{a,AB}	7,23 ± 0,03 ^{ab,AB}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kör kaplanmış kumaşların UV bölgede ışık geçirgenliği değerlerine bakıldığında binder tipi ve konsantrasyonun anlamlı bir etki (p<0,05) sağladığı görülmüştür. AK1, AK3 ve PU1 binderlerinde konsantrasyon arttıkça geçirgenlik değerlerinde anlamlı bir artış olmuştur. AK2 binderde ise konsantrasyon arttıkça geçirgenlik değerinde anlamlı bir artış olmamıştır.

Çizelge 4.21. Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında aerojel kaplanmış kumaşların UV bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları

Konsantrasyon (g/kg)	Tuv (%)			
	Binder Tipi			
	AK1-A2	AK2-A2	AK3-A2	PU1-A2
300	5,95 ± 0,02 ^{a,A}	5,94 ± 0,14 ^{a,A}	5,77 ± 0,19 ^{a,A}	6,04 ± 0,05 ^{b,A}
450	6,20 ± 0,14 ^{a,A}	5,67 ± 0,06 ^{a,C}	6,18 ± 0,15 ^{a,AB}	5,97 ± 0,02 ^{b,B}
600	5,54 ± 0,13 ^{b,A}	5,54 ± 0,25 ^{a,A}	5,95 ± 0,33 ^{a,A}	6,08 ± 0,05 ^{b,A}
750	5,91 ± 0,21 ^{ab,A}	5,43 ± 0,81 ^{a,A}	6,18 ± 0,08 ^{a,A}	6,33 ± 0,09 ^{a,A}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p= 0,028*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Aerojel kaplanmış kumaşların UV bölgede ışık geçirgenliği değerlerine bakıldığında binder tipi ve konsantrasyonun anlamlı bir etkiye ($p < 0,05$) sahip olduğu görülmüştür. PU1 binderde en yüksek konsantrasyonda en yüksek geçirgenlik değerine ulaşılmıştır. AK2 ve AK3 binderlerde konsantrasyon artışı ile birlikte geçirgenlik değerinde fark oluşturan bir değişim meydana gelmemiştir.

Kör ve aerojel kaplamalı kumaşların görünür bölgede ışık yansıtma değeri analiz sonuçları, Çizelge 4.22 ve Çizelge 4.23'te verilmiştir.

Çizelge 4.22. Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında kör kaplanmış kumaşların görünür bölgede ışık yansıtma değeri analiz sonuçları

Rv (%)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-K	AK2-K	AK3-K	PU1-K
300	62,73 ± 0,1,83 ^{a,B}	60,79 ± 0,10 ^{a,C}	63,51 ± 0,08 ^{a,B}	66,12 ± 0,64 ^{a,A}
450	63,65 ± 0,16 ^{a,B}	58,43 ± 0,26 ^{b,D}	61,68 ± 0,08 ^{b,C}	65,70 ± 0,06 ^{a,A}
600	62,07 ± 0,40 ^{b,B}	57,82 ± 0,20 ^{c,D}	60,40 ± 0,15 ^{c,C}	64,29 ± 0,00 ^{b,A}
750	60,96 ± 0,12 ^{c,B}	56,66 ± 0,12 ^{d,D}	58,09 ± 0,84 ^{d,C}	64,67 ± 0,03 ^{b,A}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Çizelge 4.22'de kör kaplamalı kumaşların görünür bölge yansıtma değerlerine bakıldığında binder konsantrasyonu ve tipinin yansıtma değerleri üzerinde etkili ($p < 0,05$) olduğu görülmektedir. Tüm binder tiplerinde konsantrasyonun artması ile birlikte yansıtma değerleri azalmaktadır. Binder tipleri arasında en yüksek yansıtma özelliği PU1 binderlerde elde edilmiştir.

Çizelge 4.23. Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında aerojel kaplanmış kumaşların görünür bölgede ışık yansıtma değeri analiz sonuçları

Rv (%)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-A2	AK2-A2	AK3-A2	PU1-A2
300	67,43 ± 0,20 ^{a,B}	65,97 ± 0,19 ^{a,C}	67,10 ± 0,56 ^{a,B}	68,70 ± 0,10 ^{a,A}
450	65,89 ± 0,10 ^{b,B}	65,42 ± 0,11 ^{a,B}	65,18 ± 0,54 ^{b,B}	68,53 ± 0,41 ^{a,A}
600	66,06 ± 0,38 ^{b,B}	64,73 ± 0,10 ^{a,C}	64,39 ± 0,87 ^{b,C}	68,49 ± 0,23 ^{a,A}
750	65,08 ± 0,31 ^{c,A}	63,62 ± 2,93 ^{a,A}	63,71 ± 0,10 ^{b,A}	67,09 ± 0,21 ^{b,A}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p=0,428*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Aerojel kaplamalı kumaşların Çizelge 4.23’de yer alan görünür bölgede yansıtma değerlerine bakıldığında binder tipi ve konsantrasyonun birlikte anlamlı bir etkisinin olmadığı (p>0,05) görülmüştür. Binder tiplerinin kendi içlerindeki yansıtma değerlerine bakıldığında ise konsantrasyon arttıkça yansıtma değerleri azalmıştır. En yüksek yansıtma değeri PU1 binderlerin kullanıldığı en düşük konsantrasyonda elde edilmiştir.

Kör kaplama ve aerojel kaplama çalışmalarının solar bölgede ışık yansıtma değerlerinin analiz sonuçları Çizelge 4.24 ve Çizelge 4.25’te verilmiştir.

Çizelge 4.24. Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında kör kaplanmış kumaşların solar bölgede ışık yansıtma değerlerinin analiz sonuçları

Rs (%)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-K	AK2-K	AK3-K	PU1-K
300	61,14 ± 0,04 ^{a,B}	57,00 ± 0,03 ^{a,C}	59,69 ± 0,11 ^{a,B}	62,75 ± 0,72 ^{a,A}
450	60,04 ± 0,17 ^{a,B}	54,38 ± 0,24 ^{b,D}	57,80 ± 0,06 ^{b,C}	62,10 ± 0,02 ^{a,A}
600	58,10 ± 0,59 ^{b,B}	53,84 ± 0,24 ^{c,D}	56,26 ± 0,20 ^{c,C}	60,74 ± 0,04 ^{b,A}
750	57,07 ± 0,10 ^{c,B}	52,34 ± 0,18 ^{d,D}	53,68 ± 0,71 ^{d,C}	60,94 ± 0,05 ^{b,A}
Konsantrasyon x Binder Tipi		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

A,B,C: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kör kaplanmış kumaşların solar bölgede ışık yansıtma değerleri incelendiğinde binder tipi ve konsantrasyonun anlamlı bir etkisi ($p < 0,05$) olduğu görülmüştür. AK1, AK2, AK3 ve PU1 binderlerde konsantrasyon arttıkça yansıtma değerleri azalmıştır. AK2 ve AK3 binderlerde en yüksek konsantrasyon ile en düşük konsantrasyonun yansıtma değerleri arasındaki fark en fazladır.

Çizelge 4.25. Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında aerjel kaplanmış kumaşların solar bölgede ışık yansıtma değerlerinin analiz sonuçları

Konsantrasyon (g/kg)	Rs (%)			
	Binder Tipi			
	AK1-A2	AK2-A2	AK3-A2	PU1-A2
300	64,17 ± 0,20 ^{a,B}	62,61 ± 0,18 ^{a,C}	63,58 ± 0,48 ^{a,B}	65,48 ± 0,07 ^{a,A}
450	62,62 ± 0,09 ^{b,B}	61,90 ± 0,10 ^{a,BC}	61,47 ± 0,50 ^{b,C}	65,13 ± 0,44 ^{a,A}
600	62,34 ± 0,32 ^{b,B}	60,87 ± 0,14 ^{a,C}	60,39 ± 0,81 ^{bc,C}	64,95 ± 0,25 ^{a,A}
750	61,41 ± 0,29 ^{c,A}	59,68 ± 2,76 ^{a,A}	59,67 ± 0,09 ^{c,A}	63,28 ± 0,19 ^{b,A}
Konsantrasyon x Binder Tipi		$p = 0,303^*$		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Aerjelle kaplamalı kumaşların Çizelge 4.25'te verilen solar bölgede yansıtma değerlerine bakıldığında binder tipi ve konsantrasyonun birlikte anlamlı bir etkisinin olmadığı ($p > 0,05$) görülmüştür. Görünür bölgedeki yansıtma değerlerine benzer şekilde binder tiplerinin kendi içlerindeki yansıtma değerlerine bakıldığında ise konsantrasyon arttıkça yansıtma değerleri azalmıştır.

Saf akrilik (AK1), vinil asetat-akrilik (AK2), stiren-akrilik (AK3) ve poliüretan (PU1) polimerlerle kör ve aerjelle kaplamaların reflektans değerlerine bakıldığında kör kaplamaların sonuçları ile paralel şekilde aerojelli kaplamalarda da en yüksek reflektans değerlerine en düşük konsantrasyon değerlerinde ulaşıldığı anlaşılmaktadır. Kör ve aerjelle kaplamalarda en düşük konsantrasyonda (300 g/kg) en yüksek yansıtma

özelliğine sahip polimer olarak poliüretan (PU1) görülmektedir. Ardından saf akrilik (AK1), stiren-akrilik (AK3) ve vinil asetat-akrilik (AK2) gelmektedir.

Çalışmalarda elde edilen kör ve aerojel kaplamalı kumaşların solar bölgede absorbands değerlerinin analiz sonuçları, Çizelge 4.26 ve Çizelge 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.26. Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında kör kaplamalı kumaşların solar bölgede absorbands değerlerinin analiz sonuçları

As (%)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-K	AK2-K	AK3-K	PU1-K
300	5,39 ± 0,11 ^{c,C}	7,77 ± 0,07 ^{c,A}	6,50 ± 0,19 ^{c,B}	5,19 ± 0,20 ^{c,C}
450	6,19 ± 0,18 ^{b,C}	8,68 ± 0,01 ^{b,A}	6,58 ± 0,16 ^{c,B}	5,50 ± 0,08 ^{bc,D}
600	7,11 ± 0,28 ^{a,B}	8,55 ± 0,16 ^{b,A}	7,31 ± 0,34 ^{b,B}	5,81 ± 0,06 ^{ab,C}
750	7,12 ± 0,06 ^{a,C}	9,89 ± 0,56 ^{a,A}	8,57 ± 0,21 ^{a,B}	5,98 ± 0,14 ^{a,D}
Konsantrasyon x Binder Tipi			p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kör kaplamalı kumaşlarda solar bölge absorbands değerlerine binder tipinin ve konsantrasyonun anlamlı bir etkisi (p<0,05) olduğu görülmektedir. Tüm binder tiplerinde konsantrasyon arttıkça absorbands değeri de artmaktadır. En yüksek absorbands değerine AK2 (vinil asetat akrilik) tipinde en yüksek konsantrasyonda ulaşılmıştır. PU1 kaplamalarda ise en düşük konsantrasyon ile en yüksek konsantrasyon arasındaki fark en azdır.

Çizelge 4.27. Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında aerojel kaplamalı kumaşların solar bölgede absorbands değerlerinin analiz sonuçları

As (%)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-A2	AK2-A2	AK3-A2	PU1-A2
300	5,21 ± 0,09 ^{b,C}	6,45 ± 0,12 ^{d,A}	5,65 ± 0,01 ^{d,B}	4,41 ± 0,03 ^{c,D}
450	5,68 ± 0,22 ^{b,C}	7,23 ± 0,07 ^{c,A}	6,15 ± 0,12 ^{c,B}	4,72 ± 0,21 ^{b,D}

Çizelge 4.27. Farklı binder türü ve konsantrasyonlarında aerojel kaplamalı kumaşların solar bölgede absorbands değerlerinin analiz sonuçları (devam)

As (%)				
Konsantrasyon (g/kg)	Binder Tipi			
	AK1-A2	AK2-A2	AK3-A2	PU1-A2
600	6,84 ± 0,01 ^{a,B}	8,01 ± 0,41 ^{b,A}	6,99 ± 0,06 ^{b,B}	4,95 ± 0,09 ^{b,C}
750	6,77 ± 0,22 ^{a,B}	8,77 ± 0,23 ^{a,A}	6,77 ± 0,10 ^{a,B}	5,84 ± 0,02 ^{a,C}
<i>Konsantrasyon x Binder Tipi</i>		p < 0,001*		

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Aerojel kaplamalı kumaşlarda kör kaplamalı kumaşlara benzer şekilde solar bölge absorbands değerlerine binder tipinin ve konsantrasyonun anlamlı bir etkisi (p<0.05) olduğu görülmektedir. Tüm binder tiplerinde konsantrasyon arttıkça absorbands değeri de artmaktadır. En yüksek absorbands değerine aerojel kaplamalarda da AK2 (vinil asetat akrilik) tipinin en yüksek konsantrasyonunda gerçekleştirilen kaplamalarda ulaşılmıştır. PU1 kaplamalarda ise en düşük konsantrasyonda en düşük solar absorbands değerine sahiptir. Solar absorbands değerlerinde her bir konsantrasyonda en yüksek değere AK2 ulaşmış olup ardından AK3, AK1 ve PU1 gelmektedir.

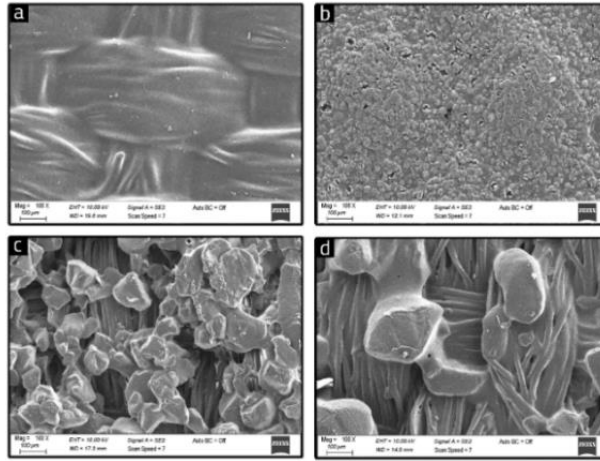
Aerojel kaplamalı kumaşlar ile kör kaplamalı kumaşların solar absorbands değerleri kıyaslandığında aerojel katkılı kaplamaların solar absorbands değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Farklı binder tiplerinin farklı konsantrasyonlarının solar bölgedeki spektrofotometrik özelliklerine ait sonuçlar değerlendirildiğinde aerojel kaplamalı kumaşların kör kaplamalı kumaşlara nazaran yansıtma değerlerini yükselttiği, geçirgenlik ve absorbands özelliklerini ise düşürdüğü görülmüştür.

4.3. Aerojel Partikül Büyüklüğünün ve Konsantrasyon Etkisinin Araştırılmasına ait Sonuçlar

Tez çalışmasının önceki bölümünde optimum binder (AK1 ve PU1) ile optimum konsantrasyon (300g/kg) olarak belirlenmiştir. Üçüncü bölümünde ise aerojel partikül büyüklüğünün ve konsantrasyonunun etkisi araştırılmak üzere üç (3) farklı partikül büyüklüğündeki silika aerogeller (A1: ~ 5 µm, A2; ~0-80 µm, A3: 0-0,5 mm) ile dört (4) farklı aerojel konsantrasyonunda (%1, %2, %3, %4) iki (2) farklı binder ile kaplama işlemleri yapılmıştır. Kaplanan numune kumaşlara uygulanan test ve ölçümlere ait sonuçlar aşağıda verilmiştir.

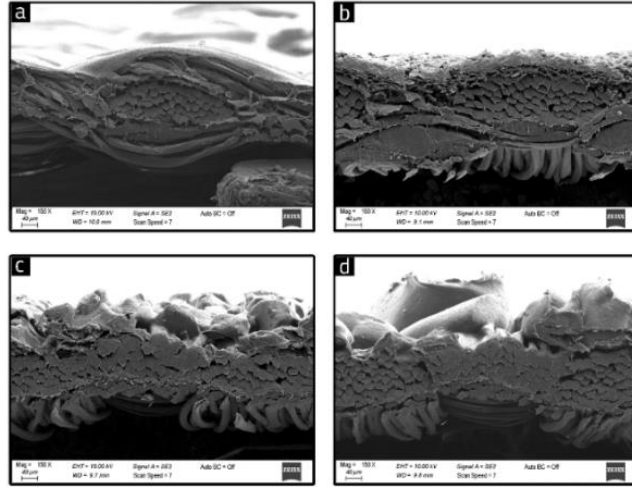
4.3.1. SEM analiz sonuçları

Tez kapsamında farklı partikül büyüklüğünde ve konsantrasyonda yapılan çalışmalar içerisinde referans olarak akrilik binderlerle kör ve %4 aerogelle kaplanmış kumaş numunelerinin yüzey ve kesit görüntüleri SEM ile incelenmiştir. Yüzey görüntüleri Şekil 4.4. ve kesit görüntüleri ise Şekil 4.5.'te verilmiştir.



Şekil 4.2. Kör ve %4 aerogel kaplı kumaşların SEM yüzey görüntüleri, a: kör kaplamalı; b: A1 ile kaplanmış; c: A2 ile kaplanmış; d: A3 ile kaplanmış

Yüzey görüntülerinden partikül büyüklüğünün artmasıyla yüzeydeki homojen görüntünün azaldığı ve aerogellerin daha da belirgin hale geldiği, kaplama homojenliğinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.3. Kör ve %4 aerojel kaplı kumaşların SEM kesit görüntüleri, a: kör kaplamalı; b: A1 ile kaplanmış; c: A2 ile kaplanmış; d: A3 ile kaplanmış

Kesit görüntüleri incelendiğinde ise kör kaplanmış kumaşın kesitinin düzgün bir yüzey olduğu, aerojel partikül büyüklüğünün artması ile yüzeydeki pürüzlülüğünde arttığı ve buna bağlı olarak kumaş kaplama kalınlığının da arttığı gözlemlenmiştir.

4.3.2. Birim ağırlık ölçüm sonuçları

Farklı partikül büyüklüklerindeki ve konsantrasyonlardaki aerojellerle kaplanmış olan numunelerin birim alan ağırlıkları (gramaj) ölçülmüş Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların birim alan ağırlığı ölçüm sonuçları

Konsantrasyon (%)	Birim Alan Ağırlığı (g/m ²)		
	Aerojel Tipi		
	A1	A2	A3
1	197,00 ± 1,00 ^{a,A}	203,33 ± 2,89 ^{a,A}	189,00 ± 3,61 ^{a,B}
2	196,67 ± 1,53 ^{a,A}	200,33 ± 4,16 ^{a,A}	194,00 ± 5,29 ^{a,A}
3	196,67 ± 2,08 ^{a,A}	199,67 ± 1,53 ^{a,A}	195,67 ± 3,06 ^{a,A}
4	197,83 ± 1,26 ^{a,A}	197,00 ± 1,00 ^{a,A}	196,33 ± 3,79 ^{a,A}
<i>Konsantrasyon x Aerojel Tipi</i>		p=0,940	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her aerojel tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Zemin kumaşın birim alan ağırlığı 160 g/m² olup, Çizelge 4.28’de verildiği üzere akrilik binderlerle kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı 193-203 g/m² arasındadır. Varyans analizi sonucunda aerojel tipi ve konsantrasyonun birim alan ağırlığı üzerinde anlamlı bir etkisinin (p>0,05) olmadığı görülmüştür. Kaplanan kumaşların birim alan ağırlıkları aerojel tipi ve konsantrasyona bağlı olarak fark göstermemektedirler.

Çizelge 4.29. Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların birim alana aktarılan kuru madde miktarı ölçüm sonuçları

Birim Alana Aktarılan Kaplama Madde Miktarı (g/m ²)			
Konsantrasyon (%)	Aerojel Tipi		
	A1	A2	A3
1	37,00 ± 1,00 ^{a,A}	43,33 ± 2,89 ^{a,A}	29,00 ± 3,61 ^{a,B}
2	36,67 ± 1,53 ^{a,A}	40,33 ± 4,16 ^{a,A}	32,00 ± 4,00 ^{a,A}
3	36,67 ± 2,08 ^{a,A}	39,67 ± 1,53 ^{a,A}	35,67 ± 3,06 ^{a,A}
4	37,83 ± 1,26 ^{a,A}	37,00 ± 1,00 ^{a,A}	36,33 ± 3,79 ^{a,A}
<i>Konsantrasyon x Aerojel Tipi</i>		p= 0,943*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her binder tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kaplama işlemleri ile zemin kumaş üzerine yaklaşık 24 – 43 gr aralığında kaplama maddesi aktarılmıştır. Çizelge 4.29’da elde edilen aktarılan kaplama madde miktarı değerleri verilmiştir. Aktarılan kaplama madde miktarı üzerinde ise aerojel tipi ve konsantrasyonun anlamlı bir değişime (p>0,05) olmadığı görülmüştür. Kaplama patı içerisindeki aerojel konsantrasyonunun artışı ile birim alana aktarılan kaplama madde miktarında önemli bir fark oluşmamıştır.

4.3.3. Kumaş kalınlık ölçüm sonuçları

Farklı aerojel tiplerinde ve konsantrasyonlarda kaplanan kumaşların kaplama işlemi sonrası kalınlıkları ölçülmüştür. Ölçümler sonucu elde edilen kalınlık değerleri Çizelge 4.30’da verilmiştir.

Çizelge 4.30. Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların kalınlık ölçüm sonuçları

h (mm)			
Konsantrasyon (%)	Aerojel Tipi		
	A1	A2	A3
1	0,33 ± 0,00 ^{c,C}	0,37 ± 0,02 ^{b,B}	0,45 ± 0,01 ^{b,A}
2	0,35 ± 0,00 ^{b,C}	0,41 ± 0,01 ^{a,B}	0,46 ± 0,02 ^{b,A}
3	0,36 ± 0,01 ^{ab,C}	0,42 ± 0,01 ^{a,B}	0,51 ± 0,01 ^{a,A}
4	0,37 ± 0,00 ^{a,C}	0,43 ± 0,01 ^{a,B}	0,52 ± 0,01 ^{a,A}
<i>Konsantrasyon x Aerojel Tipi</i>		p=0,011*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her aerojel tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Zemin kumaş kalınlığı 0,31 mm'dir. Kör kaplama kalınlık değerleri 0,33 iken aerojellerin partikül büyüklüğünün artması ile aerojelle kaplamaların kalınlık değerleri de artmıştır. Kaplamalarda kalınlık değerleri 0,33-0,52 mm aralığında değişmektedir. Varyans analizi sonuçlarına göre aerojel tipi ve konsantrasyonun kalınlık üzerine etkisi (p>0,05) olduğu görülmektedir. Zemin kumaşa göre hem kör kaplamalarda hem de aerojelle kaplamalarda kalınlık değerleri daha yüksektir. Katkı maddesi içermesi nedeniyle aerojelle kaplanmış numunelerde kör kaplamalara göre daha pürüzlü bir yapı elde edilmiştir. Partikül büyüklüğü arttıkça kumaş kalınlık değerlerinde de artış olduğu görülmektedir.

4.3.4. Sarılık indeksi ölçüm sonuçları

Sarılık indeksi değerleri ASTM E313-73 standardında alınmıştır. Çizelge 4.31'de elde edilen sarılık indeksi değerleri ve analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.31. Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların sarılık indeksi değerleri

Sarılık İndeksi (ASTM E313-73)			
Konsantrasyon (%)	Aerojel Tipi		
	A1	A2	A3
1	4,99 ± 0,61 ^{a,A}	5,19 ± 0,02 ^{a,A}	4,85 ± 0,06 ^{ab,A}
2	4,29 ± 0,06 ^{ab,C}	5,21 ± 0,02 ^{a,A}	4,91 ± 0,07 ^{ab,B}
3	3,92 ± 0,04 ^{b,C}	5,20 ± 0,01 ^{a,A}	4,96 ± 0,04 ^{a,B}
4	3,86 ± 0,04 ^{b,C}	4,59 ± 0,04 ^{b,B}	4,82 ± 0,04 ^{b,A}
<i>Konsantrasyon x Aerojel Tipi</i>		p= 0,001*	

Tüm değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her aerojel tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Saf akrilik ile kör kaplamalı kumaşların sarılık indeksi değeri 9,39'dur. Tüm aerojel tiplerinde ve konsantrasyonlarında elde edilen sarılık indeksi değeri bu değerden daha düşüktür. Çizelge 4.31'de görüldüğü üzere, aerojel tipinin ve konsantrasyonun sarılık indeksine anlamlı bir etki (p<0,05) sağlamaktadır. Tüm konsantrasyonlarda ve aerojel tiplerinde aerojel konsantrasyonu arttıkça sarılık indeksi değerlerinde bir düşüş olduğu görülmektedir. Özellikle en küçük partikül büyüklüğüne sahip A1 tipi arojellerle en yüksek konsantrasyonda daha pürüzsüz ve düzgün yüzey elde edilmiş olup diğer arojellere oranla daha düşük oranda sararma olduğu görülmüştür.

4.3.2. Isı iletim ve ısı direnç katsayısı test sonuçları

Aerojel partikül büyüklüklerinin ve konsantrasyon etkisinin araştırılması için kaplanan kumaşların ısı iletim katsayısı ölçüm sonuçları aşağıdaki Çizelge 4.32'de, ısı direnç ölçüm sonuçları Çizelge 4.33'de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların ısı iletim katsayısı sonuçları

λ (W/mK.10 ⁻³)			
Konsantrasyon (%)	Aerojel Tipi		
	A1	A2	A3
1	40,00 \pm 0,20 ^{a,A}	38,53 \pm 0,35 ^{a,B}	36,80 \pm 0,20 ^{a,C}
2	40,73 \pm 0,15 ^{a,A}	38,17 \pm 0,49 ^{a,B}	36,67 \pm 0,15 ^{a,C}
3	40,67 \pm 0,65 ^{a,A}	38,03 \pm 0,23 ^{a,B}	36,70 \pm 0,10 ^{a,C}
4	40,55 \pm 0,05 ^{a,A}	37,63 \pm 0,55 ^{a,B}	36,43 \pm 0,15 ^{a,C}
Konsantrasyon x Aerojel Tipi		p=0,011*	

Tüm değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her aerojel tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Isı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarında aerojel tipi ve konsantrasyonun arasındaki ilişkiye bakıldığında etkileşim olasılık değerinin 0,05'ten küçük olduğu, buna bağlı olarak da bu

iki bağımsız değişkenin ortak etkisinin anlamlı olduğu görülmektedir. En küçük partikül büyüklüğündeki aerojel olan A1 ile %1,%2, %3 ve %4 konsantrasyonda kaplanan kumaşların ölçülen ısı iletim katsayıları değerlendirildiğinde kör kaplamalı kumaşa kıyasla ($38,5 \text{ W/mK} \cdot 10^{-3}$) daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip oldukları, konsantrasyon arttıkça ısı iletim katsayısının istatistiksel olarak etki sağlamadığı görülmektedir. Orta partikül büyüklüğündeki aerojel olan A2 ile kaplanan kumaşların ölçülen ısı iletim katsayıları değerlendirildiğinde kör kaplamalı kumaşa ($38,5 \text{ W/mK} \cdot 10^{-3}$) oldukça yakın ısı iletim katsayısına sahip oldukları, konsantrasyon arttıkça ısı iletim katsayısının istatistiksel olarak etki sağlamadığı görülmektedir. En büyük partikül büyüklüğündeki A3 ile kaplanan kumaşların ısı iletim katsayıları değerlendirildiğinde ise kör kaplamalı kumaşa ($38,5 \text{ W/mK} \cdot 10^{-3}$) kıyasla ısı iletim katsayısında yaklaşık %5 azalma olduğu görülmüştür. A3 ile kaplanan kumaşlarda konsantrasyon arttıkça ısı iletim katsayısının istatistiksel olarak etki sağlamadığı görülmektedir.

Çizelge 4.33. Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların ısıl direnç katsayısı ölçüm sonuçları

r (m²K/W)			
Konsantrasyon (%)	Aerojel Tipi		
	A1	A2	A3
1	8,27 ± 0,15 ^{b,C}	9,90 ± 0,17 ^{c,B}	12,33 ± 0,15 ^{c,A}
2	8,53 ± 0,06 ^{b,C}	10,53 ± 0,25 ^{b,B}	12,73 ± 0,68 ^{bc,A}
3	8,87 ± 0,47 ^{ab,C}	11,23 ± 0,06 ^{a,B}	13,53 ± 0,29 ^{b,A}
4	9,27 ± 0,06 ^{a,C}	11,40 ± 0,00 ^{a,B}	14,33 ± 0,21 ^{a,A}
Konsantrasyon x Aerojel Tipi		p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her aerojel tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Isıl direnç katsayısı ölçüm sonuçlarında aerojel tipi ve konsantrasyon arasındaki ilişkiye bakıldığında etkileşim olasılık değerinin 0,05'ten küçük olduğu, buna bağlı olarak da bu iki bağımsız değişkenin ortak etkisinin anlamlı olduğu görülmektedir. Isıl direnç katsayısı değerleri incelendiğinde kör kaplamalı kumaşların ısıl direnç katsayısına ($7,5 \text{ m}^2\text{K/W}$) göre bütün aerojelerde ve konsantrasyonlarda artış olduğu ve aerojel katkısının anlamlı bir değişim sağladığı görülmektedir. A1 tip aerojel ile kaplanmış kumaşların ısıl direnç

değerlerinin konsantrasyon etkisi ile 8,27 m²K/W'dan 9,27 m²K/W'a yükseldiği görülmüştür. İstatistiksel olarak aerojel tipleri içerisinde çalışılan konsantrasyonlarda en düşük ısı direnç katsayısına sahiptir. A2 tip aerojel ile kaplanmış kumaşların ısı direnç değerleri ise yine kör kaplamalı kumaştan daha yüksek olup, konsantrasyon artışı ile 9,9 m²K/W'dan 11,33 m²K/W'a yükselmiştir. En büyük partikül büyüklüğüne sahip olan A3 tip aerojel ile kaplanmış kumaşların ısı direnç değerlerinin de kör kaplamalı kumaşlardan daha yüksek olduğu görülmüş olup, konsantrasyon arttıkça ısı direnç katsayısı da artış göstermiştir. En düşük aerojel konsantrasyonunda 12,33 m²K/W iken en yüksek konsantrasyonda 14,33 m²K/W'a yükselmiştir. .

Aerojel tipi ve aerojel konsantrasyonunun ısı iletim katsayısı ve ısı direnç katsayısı üzerindeki etkisinin incelenmesi için gerçekleştirilen bu çalışmanın sonucunda en iyi ısı yalıtım değerleri en büyük partikül büyüklüğündeki A3 tipi aerogelin en yüksek konsantrasyonu (%4) ile elde edilmiştir. Literatürde belirtildiği gibi ısı iletim katsayısı (λ) azalır ve ısı direnç (r) artarsa, kaplanan yüzeylerin ısı yalıtım özellikleri iyileşir (Mishra ve ark. 2018). Farklı aerojel partikül büyüklüklerinde sabit konsantrasyonda (%4) ısı iletim katsayısı değerleri partikül büyüklüğü arttıkça azaldığını göstermektedir. Silika aerogellerin yüksek gözenekliliklerinden dolayı ısı yalıtımı sağladığı, aerogellerin partikül boyutunun partiküller arasındaki ortalama mesafeyi gösterdiği ve ısı iletkenlik için önemli bir role sahip olduğu bilinmektedir (Maleki ve ark. 2014; Dai ve ark. 2018; Koebel ve ark. 2012). Tekstil kumaşlarında aerogellerin parçacık boyutu ile ilgili herhangi bir çalışma olmamasına rağmen, Chen ve ark. binalar için jeopolimer köpük aerojel sıvaları üzerine bir çalışma yürütmüştür. Elde ettikleri sonuçlarda, aerogellerin partikül boyutu arttıkça ısı iletim katsayısının arttığını gösterse de, yazarlar daha büyük partikül boyutunun aerogeli jeopolimer köpük sıvalarda bir ısı yalıtımı açısından daha iyi işlev görebileceğini belirtmişlerdir (Chen ve ark. 2022). Öte yandan sabit partikül büyüklüğünde ısı iletim katsayısının A1 ve A2'de bir miktar azaldığı, A3'te ise önemli ölçüde azaldığı gözlemlendi. Bu sonuç aynı zamanda kumaş kalınlığı ve gözenekliliğindeki artışla da yakından ilişkilidir. Çünkü, Şekil 4.4. ve 4.5'te açıkça görüldüğü gibi, kaplanan kumaşın kalınlığı ve gözenekliliği partikül boyutu ve konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak düzenli olarak artmaktadır. Ayrıca aerojel partikül büyüklüğü ve konsantrasyonu arttıkça kumaş kalınlığına bağlı bir katsayı olan ısı direnç (r) değerleri (Çizelge 4.22)

artmaktadır (Mishra ve ark. 2013). Bhuiyan ve ark. poliüretan bağlayıcı varlığında farklı konsantrasyonlarda aerojel ile pamuklu kumaşın kaplanması üzerinde çalışmış ve aerojel konsantrasyonu arttıkça ısı direncin arttığını belirtmişlerdir (Bhuiyan ve ark. 2019). Dolayısıyla etkin ısı yalıtımı için düşük ısı iletkenlik katsayısı ve yüksek ısı direnci gerektiğinden en iyi ısı yalıtım değerleri A3-4 olduğu ortaya çıkar. Sonuç olarak kör kaplamalı kumaşların ısı yalıtım özellikleri, gözenekliliği artırarak iletken ve konvektif gaz taşınmasını sınırlayan aerogeller tarafından azaltılmaktadır (Buratti ve ark. 2017; Wei ve ark. 2013).

4.3.5. Spektrofotometrik analiz sonuçları

Akrilik binderler ile farklı aerojel tiplerindeki ve konsantrasyonlardaki aerojel tozları ile kaplanan kumaşların spektrofotometrik analizleri ile elde edilen yansıtma, geçirgenlik ve absorbans değerleri Çizelge 4.34, 4.35, 4.36, 4.37, 4.38 ve 4.39’da verilmiştir.

Çizelge 4.34. Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların görünür bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları

Konsantrasyon (%)	Tv (%)		
	Aerojel Tipi		
	A1	A2	A3
1	29,38 ± 0,12 ^{a,C}	31,99 ± 0,10 ^{a,B}	33,15 ± 0,07 ^{a,C}
2	25,02 ± 0,42 ^{b,C}	31,18 ± 0,33 ^{b,B}	33,24 ± 0,07 ^{a,A}
3	23,00 ± 0,73 ^{c,C}	30,59 ± 0,10 ^{bc,B}	32,97 ± 0,20 ^{a,A}
4	20,69 ± 0,48 ^{d,B}	30,19 ± 0,38 ^{c,A}	30,38 ± 0,32 ^{b,A}
Konsantrasyon x Aerojel Tipi		p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her aerojel tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Çizelge 4.34’de görüldüğü üzere aerojel tipi ve konsantrasyonun birlikte görünür bölgedeki ışık geçirgenliği üzerinde anlamlı bir etkisi (p<0,05) bulunmaktadır. A1 ve A2 aerojel tiplerinde konsantrasyon arttıkça geçirgenlik değerinde anlamlı bir azalma söz konusudur. A3 tipi aerogelde ise %1, %2 ve %3 konsantrasyonlarda geçirgenlik değerleri birbirlerine yakinken %4 konsantrasyonda diğerlerine göre bir azalma görülmektedir.

Çizelge 4.35. Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların solar bölgede ışık geçirgenliği analiz sonuçları

Ts (%)			
Konsantrasyon (%)	Aerojel Tipi		
	A1	A2	A3
1	29,10 ± 0,12 ^{a,C}	31,63 ± 0,12 ^{a,B}	32,80 ± 0,11 ^{a,C}
2	24,90 ± 0,39 ^{b,C}	30,71 ± 0,17 ^{b,B}	32,95 ± 0,07 ^{a,A}
3	22,99 ± 0,74 ^{c,C}	30,33 ± 0,00 ^{bc,B}	32,80 ± 0,06 ^{a,A}
4	20,72 ± 0,49 ^{d,B}	29,93 ± 0,35 ^{c,A}	29,75 ± 0,39 ^{b,A}
Konsantrasyon x Aerojel Tipi		p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her aerojel tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Solar bölge geçirgenlik değerleri incelendiğinde görünür bölge ile paralel olarak aerojel tipi ve konsantrasyonun birlikte anlamlı bir etkisi (p<0,05) olduğu görülmektedir (Çizelge 4.35). A1 tip aerojel ile kaplanan kumaşlarda en düşük konsantrasyon ile en yüksek konsantrasyon arasındaki fark en fazladır. Çalışmaların sonucunda en düşük geçirgenlik değeri A1'in en yüksek konsantrasyonunda elde edilmiştir. A2 tip arojelle yapılan çalışmalarda ise konsantrasyon artışı ile birlikte anlamlı bir azalma söz konusudur. A3 tipi aerojel çalışmalarında ise %1, %2 ve %3 konsantrasyonlarda geçirgenlik değerleri birbirlerine yakinken %4 konsantrasyonda diğerlerine göre daha düşük bir değer elde edilmiştir.

Çizelge 4.36. Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların UV bölgede ışık geçirgenlik değerlerinin analiz sonuçları

Tuv (%)			
Konsantrasyon (%)	Aerojel Tipi		
	A1	A2	A3
1	5,79 ± 0,12 ^{a,C}	6,74 ± 0,10 ^{a,B}	7,03 ± 0,05 ^{a,A}
2	4,57 ± 0,13 ^{b,C}	6,26 ± 0,07 ^{b,A}	7,00 ± 0,01 ^{a,A}
3	4,05 ± 0,13 ^{c,C}	6,14 ± 0,06 ^{bc,B}	7,04 ± 0,04 ^{a,A}
4	3,63 ± 0,04 ^{d,C}	5,90 ± 0,16 ^{c,B}	6,41 ± 0,16 ^{b,A}
Konsantrasyon x Aerojel Tipi		p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her aerojel tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kaplanmış kumaşların UV bölgede ışık geçirgenliği değerlerine bakıldığında arojel tipi ve konsantrasyonun anlamlı bir etki ($p < 0,05$) sağladığı görülmüştür. A1 tip arojellerle kaplanmış kumaşlarda konsantrasyon artışı ile kademeli olarak UV geçirgenlik değeri azalmıştır. A2 tip arojellerde ise konsantrasyon arttıkça UV geçirgenlik değerlerinde anlamlı bir azalma söz konusudur. A3 tip arojellerde ise %1, %2 ve %3 konsantrasyonlar arasında fark olmadığı, %4 konsantrasyonda bir azalma söz konusu olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.37. Farklı arojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların görünür bölgede ışık yansıtma analiz sonuçları

Rv (%)			
Konsantrasyon (%)	Arojel Tipi		
	A1	A2	A3
1	69,37 ± 0,06 ^{d,A}	66,24 ± 0,17 ^{d,B}	64,78 ± 0,05 ^{a,C}
2	74,89 ± 0,24 ^{c,A}	67,30 ± 0,03 ^{c,B}	64,47 ± 0,09 ^{b,C}
3	77,32 ± 1,11 ^{b,A}	67,83 ± 0,05 ^{b,B}	64,95 ± 0,16 ^{a,C}
4	80,12 ± 0,61 ^{a,A}	68,54 ± 0,30 ^{a,B}	63,19 ± 0,04 ^{c,C}
Konsantrasyon x Arojel Tipi		$p < 0,001^*$	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her arojel tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Farklı tip arojellerle ve farklı konsantrasyonlarda kaplanan kumaşların Çizelge 4.37'deki görünür bölgede yansıtma değerlerine bakıldığında arojel tipi ve konsantrasyonun birlikte anlamlı bir etki ($p < 0,05$) sağladığı görülmüştür. A1 tip arojelin tüm konsantrasyonlarda A2 ve A3'e göre en yüksek yansıtma değerlerine sahip arojel olduğu görülmüştür. A1 ve A2 tip arojellerde konsantrasyon arttıkça yansıtma değerleri anlamlı bir şekilde artmıştır. En yüksek yansıtma değeri A1 ile en yüksek konsantrasyonda kaplanan kumaşlarda elde edilmiştir. A3 tip arojellerin ise %1,%2 ve %3 konsantrasyonlarında elde edilen değerler birbirlerine oldukça yakınen %4 konsantrasyonda bir azalma olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.38. Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların solar bölgede ışık yansıtma analiz sonuçları

Rs (%)			
Konsantrasyon (%)	Aerojel Tipi		
	A1	A2	A3
1	66,12 ± 0,07 ^{d,A}	62,88 ± 0,23 ^{d,B}	61,52 ± 0,06 ^{ab,C}
2	72,24 ± 0,26 ^{c,A}	64,08 ± 0,05 ^{c,B}	61,24 ± 0,11 ^{b,C}
3	74,80 ± 1,11 ^{b,A}	64,73 ± 0,08 ^{b,B}	61,73 ± 0,11 ^{a,C}
4	77,91 ± 0,64 ^{a,A}	65,60 ± 0,34 ^{a,B}	59,98 ± 0,15 ^{c,C}
Konsantrasyon x Aerojel Tipi		p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her aerojel tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Çizelge 4.38’de yer alan solar bölgede yansıtma değerlerine bakıldığında görünür bölge yansıtma değerlerine benzer şekilde aerojel tipi ve konsantrasyonun birlikte anlamlı bir etki (p<0,05) sağladığı görülmüştür. A1 tip aerojelin tüm konsantrasyonlarda A2 ve A3’e göre en yüksek yansıtma değerlerine sahip aerojel olduğu görülmüştür. A1 ve A2 tip aerojellerde konsantrasyon arttıkça yansıtma değerleri anlamlı bir şekilde artmıştır. En yüksek yansıtma değeri A1 ile en yüksek konsantrasyonda kaplanan kumaşlarda elde edilmiştir. A3 tip aerojellerin ise %1,%2 ve %3 konsantrasyonlarında elde edilen değerler birbirlerine oldukça yakınken %4 konsantrasyonda bir azalma olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.39. Farklı aerojel tipi ve konsantrasyonlarında kaplamalı kumaşların solar bölgede ışık absorbans değerlerinin analiz sonuçları

As (%)			
Konsantrasyon (%)	Aerojel Tipi		
	A1	A2	A3
1	4,78 ± 0,09 ^{a,B}	5,49 ± 0,17 ^{a,A}	5,68 ± 0,16 ^{b,A}
2	2,86 ± 0,13 ^{b,C}	5,21 ± 0,12 ^{ab,B}	5,80 ± 0,18 ^{b,A}
3	2,21 ± 0,40 ^{c,B}	4,94 ± 0,09 ^{b,A}	5,46 ± 0,05 ^{b,A}
4	1,37 ± 0,23 ^{d,C}	4,47 ± 0,14 ^{c,B}	10,27 ± 0,54 ^{a,A}
Konsantrasyon x Aerojel Tipi		p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her aerojel tipi için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Solar bölge absorbands değerlerine arojel tipinin ve konsantrasyonun anlamlı bir etkisi ($p < 0,05$) olduğu görülmektedir. A1 ve A2 tip arorejeller ile kaplanan kumaşların absorbands değerleri konsantrasyon arttıkça kademeli olarak anlamlı bir şekilde azalmıştır. En büyük partikül büyüklüğüne sahip olan A3 tip arojelle kaplanan kumaşlarda ise %1, %2 ve %3 konsantrasyonlar arasında anlamlı bir fark bulunmazken %4 arojel ile kaplanan kumaşların absorbands değerinde önemli bir artış olduğu görülmüştür. En düşük absorbands değeri A1 tipi arojelin en yüksek konsantrasyonunda, en yüksek absorbands değeri ise A3 tipi arojelin en yüksek konsantrasyonunda meydana gelmiştir.

En küçük partikül büyüklüğündeki arojel olan A1 ile kaplanan kumaşların ışık geçirgenlik değerlerinde görünür bölge, solar bölge ve UV bölgede konsantrasyon arttıkça kademeli olarak anlamlı bir azalma olduğu, görünür bölge ve solar bölgedeki yansıtma değerlerinde kademeli olarak bir artış olduğu, solar absorbandsın ise önemli bir oranda azaldığı görülmüştür. Orta partikül büyüklüğündeki arojel olan A2 ile kaplanan kumaşların ışık geçirgenlik değerlerinde görünür, solar ve UV bölgelerde konsantrasyon arttıkça anlamlı bir azalma olduğu, görünür bölge ve solar bölgede yansıtma değerlerinde de artış olduğu görülmektedir. Solar bölgede absorblanan ışık miktarı da konsantrasyonun artması ile birlikte azalmıştır.

En büyük partikül büyüklüğündeki A3 tipi arojelle ile kaplanan kumaşların ışık görünür, solar ve UV bölgelerdeki ışık geçirgenlik değerlerinde konsantrasyonun artmasıyla birlikte bir azalma olduğu görülmüştür. Görünür ve solar bölgede ışık yansıtma değerlerinde ise A1 ve A2 tip arorejelerde bir artış söz konusu iken, A3 ile %1,%2 ve %3 konsantrasyonlarda kaplanan kumaşların birbirlerine yakın değerlere sahip oldukları ve %4 konsantrasyonda kaplanan kumaşların değerlerinde ise artış olduğu görülmüştür. A3 tipi arojelin solar absorbands değerinin ise yine A1 ve A2 tip arorejellerle kaplamalardan farklı olarak %1, %2 ve %3 konsantrasyonlarda kaplanan kumaşların değerlerinin birbirleri arasında fark bulunmazken, %4 konsantrasyonda ciddi oranda yükseldiği görülmüştür.

Spektrofotometrik analizlerin tümü değerlendirildiğinde ise; en küçük partikül büyüklüğündeki aerojeller (A1) ve akrilik binderlerle kaplanan kumaşların en düşük ışık geçirgenliğine ve en yüksek yansıtma özelliğine sahip oldukları görülmüştür. Hem görünür bölgede hem de UV bölgedeki ışık geçirgenlikleri en düşük değerdedir. Aynı zamanda solar absorbans (A_s) değerleri de oldukça düşüktür. En küçük parçacık boyutu A1 aerogel ile kaplanan kumaşlar SEM görüntülerinde de görüldüğü üzere (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3) en homojen ve pürüzsüz yüzeye sahiptir ve konsantrasyon arttıkça yüzey aerogel tozları arasında boşluk kalmayacak şekilde daha iyi kaplanmış olup daha beyaz, pürüzsüz ve daha yansıtıcı bir kumaş yüzeyine sahiptir. Yansıtma değerlerinin yüksek olması kaplanan yüzeyin pürüzsüz ve düzgün bir yüzey olmasından kaynaklanmaktadır. Orta partikül büyüklüğündeki A2 ve en büyük partikül büyüklüğündeki A3 aerojellerde yansıtma özellikleri birbirlerine oldukça yakın olup A1 aerojellere göre daha düşüktür. Elde edilen sonuçlarda partikül büyüklüğünün artması ile yansıtma özelliği arasındaki ters orantı elde edilen sonuçlarda net olarak görülmüştür (Myers ve ark. 2015). Literatürde de yer aldığı üzere partikül boyutunun küçülmesi ile birlikte yansıtma değeri de artmış, partikül boyutu arttıkça yansıtma özelliği azalmıştır. Kubelka-Munk teorisi de bu sonuçları açıklamaktadır ki, homojen olmayan sistemlerde belirli bir yüzey pürüzlülüğü olduğunda, numunenin yansıtma özelliği soğurma katsayısının saçılma katsayısına oranına bağlıdır ($K/S=(1-R)^2/2R$, burada K ve S sırasıyla absorpsiyon ve saçılma katsayılarını temsil eder ve R yansıtmayı temsil eder). Teoriye göre parçacık boyutu arttıkça ışığın penetrasyon derinliği artmakta, dolayısıyla absorpsiyon ve buna bağlı olarak yansıtma değeri azalmaktadır (Fang ve ark 2013). Aerogel konsantrasyonunun etkisi yönünden değerlendirildiğinde ise en küçük partikül büyüklüğündeki A1 tip aerojellerde ışık geçirgenliği ve yansıtma bakımından etkili olduğu, A2 ve A3 aerojellerinde konsantrasyon etkisinin oldukça az olduğu görülmektedir.

4.4. Kaplama Kalınlığı Etkisinin Araştırılmasına Ait Sonuçlar

Tez çalışmasının bu bölümünde 4 farklı kalınlıkta (0,15, 0,30, 0,45 ve 0,60 mm) kör ve %4 konsantrasyonda A3 tip aerogel içeren aerojellerle yapılan kaplama işlemleri sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki alt başlıklarda verilmiştir.

4.4.1. Birim alan ağırlığı ve aktarılan kaplama madde miktarı ölçüm sonuçları

Farklı kaplama kalınlıklarında kör ve A3 nolu aerogelin %4 oranda kullanıldığı kaplama kimyasalı ile elde edilen numunelerin birim alan ağırlıkları (gramaj) ölçülmüştür. Zemin kumaşın birim alan ağırlığı 160 g/m² olup, farklı kalınlıklarda kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı 186-290 g/m² arasında değişmiştir. Kaplama işlemleri ile zemin kumaş üzerine yaklaşık 26- 130 gr aralığında kaplama maddesi aktarılmıştır. Çizelge 4.40 elde edilen birim alan ağırlıkları ve aktarılan kaplama madde miktarı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. 40. Farklı kalınlıklarda kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı ve birim alana aktarılan kaplama maddesi miktarı sonuçları

Kalınlık (mm)	Birim Alan Ağırlığı (g/m ²)		Birim Alana Aktarılan Kaplama Maddesi Miktarı (g/m ²)	
	Katkı Oranı (%)		Katkı Oranı (%)	
	0	4	0	4
0,15	185,67 ± 1,15 ^{d,A}	187,33 ± 2,31 ^{d,A}	25,67 ± 1,15 ^{d,A}	27,33 ± 2,31 ^{d,A}
0,30	206,33 ± 2,52 ^{c,A}	196,33 ± 3,79 ^{c,B}	46,33 ± 2,52 ^{c,A}	36,33 ± 3,79 ^{c,B}
0,45	235,33 ± 5,03 ^{b,A}	232,00 ± 2,65 ^{b,A}	75,33 ± 5,03 ^{b,A}	72,00 ± 2,65 ^{b,A}
0,60	289,67 ± 2,08 ^{a,A}	274,00 ± 2,00 ^{a,B}	129,67 ± 2,08 ^{a,A}	114,00 ± 2,00 ^{a,B}
<i>Kalınlık</i> x <i>Katkı oranı</i>	p < 0,001*		p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her kalınlık için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kaplama kalınlığının ve katkı oranının birim alan ağırlığı (g/m²) değerleri üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.40'da verilmiştir. Kaplama kalınlığı ve katkı oranının birim alan ağırlığı üzerinde anlamlı bir etkisi (p<0,05) olduğu görülmüştür. Kaplama kalınlığının artması ile birlikte kör kaplamalarda ve

aerojelle kaplamalarda kumaş ağırlığının istatistiksel olarak arttığı görülmüştür. Kaplama kalınlığının kumaşın birim alan ağırlığına etkisini katkı oranı bakımından incelediğimizde ise 0,15 mm ve 0,45 mm kalınlık değerlerinde birbirine yakın değerler elde edilirken 0,3 mm ve 0,6 mm olan kalınlık değerlerine sahip kör kaplamalarda birim alan ağırlığı daha yüksek elde edilmiştir.

Kaplama kalınlığının ve katkı oranının birim alana aktarılan kaplama maddesi miktarı (g/m^2) değerleri üzerindeki etkisine bakıldığında (Çizelge 4.40) anlamlı bir etki ($p < 0,05$) sağladığı sonucuna ulaşılmıştır. Kaplama kalınlığının artması ile birlikte kör kaplamalarda ve arojel kaplamalarda birim alana aktarılan kaplama maddesi miktarının istatistiksel olarak arttığı görülmüştür. Kaplama kalınlığının birim alana aktarılan kaplama maddesi miktarına etkisini katkı oranı bakımından incelediğimizde ise 0,15 mm ve 0,45 mm kalınlık değerlerinde birbirine yakın ağırlık sonuçları elde edilirken 0,30 mm ve 0,60 mm olan kalınlık değerlerine sahip kör kaplamalarda birim alana aktarılan kaplama madde miktarı daha yüksek elde edilmiştir.

4.4.2. Kumaş kalınlık ölçüm sonuçları

Farklı kaplama kalınlıklarında kör ve arojelle kaplanmış kumaşların kalınlıkları ölçülmüştür. Farklı kaplama kalınlıklarındaki kör kaplanmış kumaşların kalınlık değerleri 0,29 - 0,37 mm aralığında iken arojel kaplanmış kumaşların kalınlık değerleri 0,41 - 0,72 mm aralığında değişmiştir.

Çizelge 4.41. Farklı kalınlıklarda kaplanmış kumaşların kaplanmış kumaşların kalınlık ölçüm sonuçları

h (mm)		
Kalınlık (mm)	Katkı Oranı (%)	
	0	4
0,15	$0,29 \pm 0,01^{d,B}$	$0,41 \pm 0,01^{d,A}$
0,30	$0,31 \pm 0,01^{c,B}$	$0,52 \pm 0,01^{c,A}$
0,45	$0,33 \pm 0,00^{b,B}$	$0,62 \pm 0,02^{b,A}$
0,60	$0,37 \pm 0,01^{a,B}$	$0,72 \pm 0,01^{a,A}$
Kalınlık x Katkı oranı	$p < 0,001^*$	

Tüm değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her kalınlık için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Varyans analizinin sonucunda kaplama kalınlığı ve katkı oranının kumaş kalınlığı üzerinde etkili ($p < 0,001$) olduğu görülmektedir. Kaplama kalınlığı arttıkça, hem kör kaplama numunelerin hem de aerjel katkılı kaplama numunelerin kumaş kalınlığı değerlerinde beklendiği gibi anlamlı bir artışa sebep olduğu görülmüştür (Çizelge 4.41.).

4.4.3. Sarılık indeksi ölçüm sonuçları

Ölçülen sarılık indeksi değerleri içerisinde en çok kullanılan standart olarak bilinen ASTM E313-73 standardındaki değerler alınmıştır. Farklı kalınlıklarda kaplanmış numunelerin sarılık indeksi değerleri Çizelge 4.42’de verilmiştir.

Çizelge 4.42. Farklı kalınlıklarda kaplanmış kumaşların sarılık indeks değerleri

Sarılık İndeksi (ASTM E313-73)		
Kalınlık (mm)	Katkı Oranı (%)	
	0	4
0,15	6,45 ± 0,34 ^{c,A}	4,68 ± 0,09 ^{c,B}
0,30	9,39 ± 0,30 ^{b,A}	4,82 ± 0,04 ^{c,B}
0,45	12,99 ± 0,16 ^{a,A}	8,92 ± 0,01 ^{b,B}
0,60	13,45 ± 0,37 ^{a,A}	11,87 ± 0,38 ^{a,B}
<i>Kalınlık x Katkı oranı</i>	p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her kalınlık için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kaplama kalınlığının, sarılık indeksi üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan varyans analizi sonuçları da Çizelge 4.42’de yer almaktadır. Varyans analizinin sonucunda kaplama kalınlığının ve katkı oranının sarılık indeksi üzerinde istatistiksel olarak etkili ($p < 0,05$) olduğu görülmüştür. Kaplama kalınlık faktörünün kör kaplama ve aerjel kaplama için ayrı ayrı değerlendirildiğinde ise her iki kaplama içinde kaplama kalınlığının istatistiksel olarak etkili olduğu görülmüştür. Kaplama kalınlığı arttıkça sarılık indeks değerlerinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeninin akrilik polimerler fiksaj işlemi ile birlikte ısıya maruz kaldıklarında oksidasyona uğramaktadırlar ve buna

bağlı olarak da polimerlerin yapısında değişiklikler meydana gelerek sararmaya yol açmaktadır. Kalınlık değerleri arttıkça sararma etkisinde arttığı görülmektedir. Bunun nedeni zemin kumaş üzerine aktarılan polimer madde miktarının kalınlık arttıkça artmasıdır. Aerojelli kaplanmış kumaşlarda aerojellerin yapısı gereği polimerlerin sararma eğilimlerini maskeleyebilmektedir ancak yine de kör kaplamalarda olduğu gibi kaplama kalınlığı arttıkça sararma eğilimleri artmaktadır.

4.4.4. Isı iletim ve ısı direnç katsayısı test sonuçları

Farklı kaplama kalınlıklarındaki kör ve aerojel kaplanan kumaşların ısı iletim katsayısı ve ısı direnç katsayısı ölçüm sonuçları Çizelge 4.43’de verilmiştir.

Çizelge 4.43. Farklı kalınlıklarda kaplanmış kumaşların ısı iletim ve ısı direnç katsayısı sonuçları

Kalınlık (mm)	λ (W/mK x 10 ⁻³)		r (m ² K/W)	
	Katki Oranı (%)		Katki Oranı (%)	
	0	4	0	4
0,15	37,90 ± 0,61 ^{d,A}	35,63 ± 0,12 ^{d,B}	7,50 ± 0,10 ^{a,B}	11,40 ± 0,26 ^{d,A}
0,30	40,70 ± 0,10 ^{c,A}	36,40 ± 0,20 ^{c,B}	7,50 ± 0,00 ^{a,B}	14,33 ± 0,21 ^{c,A}
0,45	43,67 ± 0,06 ^{b,A}	37,10 ± 0,17 ^{b,B}	7,30 ± 0,00 ^{a,B}	17,20 ± 0,17 ^{b,A}
0,60	48,60 ± 1,30 ^{a,A}	39,20 ± 0,30 ^{a,B}	7,00 ± 0,17 ^{b,B}	18,37 ± 0,25 ^{a,A}
Kalınlık x Katki oranı	p < 0,001*		p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her kalınlık için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Isı iletim katsayısına kaplama kalınlığı ve katkı oranının etkisi birlikte değerlendirildiğinde her iki katsayı üzerinde de anlamlı bir etkisinin (p < 0,001) olduğu görülmektedir (Çizelge 4.43).

Varyans analizinin sonucunda kaplama kalınlığı parametresinin ısı iletim katsayısına (λ (W/mKx10⁻³) istatistiksel olarak anlamlı etki yaptığı görülmüştür. Kaplama kalınlığı arttıkça kumaşların ısı iletim katsayısı değerlerinin hem kör kaplamalı kumaşlarda hem de aerojel kaplamalı kumaşlarda arttığı görülmüştür. Kör kaplamalı ve aerojel kaplamalı kumaşların ısı iletim katsayıları kıyaslandığında ise aerojel kaplamalı kumaşların kör

kaplamalı kumaşlara göre ısı iletim katsayıları daha düşüktür. Isı iletim katsayısı arttıkça, ısı iletimi daha hızlı olmaktadır. Dolayısıyla kaplama kalınlığı arttıkça numunelerin ısı iletimi artmaktadır. Aerojellerin ısı iletim katsayısının artmasını engellediği ve belirli bir aralıkta tuttuğu net olarak görülmektedir.

Kör ve aerojel kaplamalı kumaşların ısı direnç katsayısı üzerinde kaplama kalınlığının ve katkı oranının etkisi incelenmiş olup, istatistiksel olarak anlamlı etki ($p < 0,05$) yaptığı görülmüştür (Çizelge 4.23). Kaplama kalınlığı arttıkça, kör kaplama numunelerinin ısı direnç katsayılarında anlamlı bir değişiklik olmadığı ancak aerojel katkılı kaplama değerlerinde beklendiği gibi anlamlı bir artış olduğu görülmektedir. Kaplama reçetesi içerisine eklenen aerojel ısı direnç katsayısının artmasına sebep olmaktadır. Bu durum aerojellerin sahip oldukları gözenekler içerisinde bulunan hava boşluklarının oluşturduğu alandan kaynaklanmaktadır.

4.4.5. Spektrofotometrik analiz sonuçları

Farklı kaplama kalınlıklarında kör ve aerojel kaplamalı kumaşların spektrofotometrik analizler ile elde edilen yansıtma, geçirgenlik ve absorbans değerleri Çizelge 4.44, 4.45. ve 4.46'da verilmiştir. Kaplama kalınlığının, solar ($T_s(\%)$), görünür bölge ($T_v(\%)$) ve UV bölgede ($T_{uv}(\%)$) ışık geçirgenliği üzerindeki etkilerine yönelik yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.44'de verilmiştir.

Çizelge 4.44. Farklı kalınlıklarda kaplanmış kumaşların görünür, solar ve ultraviole bölgelerde ışık geçirgenlik değerleri

Kalınlık	Tv (%)		Ts (%)		Tuv (%)	
	Katkı Oranı (%)		Katkı Oranı (%)		Katkı Oranı (%)	
	0	4	0	4	0	4
0,15	32,12 ± 0,10 ^{b,A}	30,86 ± 0,29 ^{a,B}	31,59 ± 0,11 ^{a,A}	30,34 ± 0,31 ^{a,B}	7,21 ± 0,03 ^{a,A}	6,75 ± 0,14 ^{a,B}
0,30	32,19 ± 0,22 ^{ab,A}	30,38 ± 0,32 ^{a,B}	31,63 ± 0,22 ^{a,A}	29,75 ± 0,39 ^{ab,B}	6,85 ± 0,05 ^{ab,A}	6,41 ± 0,16 ^{b,B}
0,45	32,43 ± 0,45 ^{ab,A}	29,59 ± 0,25 ^{b,B}	31,75 ± 0,50 ^{a,A}	29,03 ± 0,25 ^{b,B}	6,60 ± 0,32 ^{bc,A}	6,16 ± 0,09 ^{b,B}
0,60	32,82 ± 0,10 ^{a,A}	28,37 ± 0,19 ^{c,B}	31,85 ± 0,08 ^{a,A}	27,57 ± 0,21 ^{c,B}	6,23 ± 0,05 ^{c,A}	5,09 ± 0,08 ^{c,B}
Kalınlık x Katkı oranı	p < 0,001*		p = 0,001*		p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her kalınlık için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kaplama kalınlığı ve katkı oranının solar geçirgenlik ($T_s(\%)$), UV bölgede ışık geçirgenliği ($T_{uv}(\%)$) ve görünür bölgedeki ışık geçirgenliği ($T_v(\%)$) üzerinde etkili ($p < 0,001$ ve $p = 0,001$) olduğu görülmektedir.

Kaplama kalınlığı parametresinin görünür bölgedeki ışık geçirgenliğine ($T_v(\%)$) istatistiksel olarak anlamlı etki yaptığı görülmüştür. Yapılan istatistiksel analizler orta kalınlıklı olan 0,30 mm ve 0,45 mm ölçülerindeki kör kaplamaların benzer özellikleri gösterirken, en ince 0,15 mm ve en kalın 0,60 mm kaplama kalınlığındaki numunelerin görünür bölgedeki ışık geçirgenliklerinin farklı olduğu görülmektedir. Aerojel katkılı kaplama numunelerinde ise en ince 0,15 mm ve orta incelikli 0,30 mm numuneler benzer özellik gösterirken, 0,45 ve 0,60 numuneleri farklı özellikler göstermiştir.

Kaplama kalınlığı parametresinin solar geçirgenlik ($T_s(\%)$) üzerine etkisi incelendiğinde kör kaplama numuneleri ile aerojel kaplama numunelerinin istatistiksel olarak birbirlerinden farklı etki oluşturduğu görülmüştür. Kaplama kalınlığı katmanlarının kör kaplama numunelerinde istatistiksel olarak fark yaratmadığı, aerojel kaplama numunelerinde ise 0,15 mm, 0,45 mm ve 0,60 mm kalınlığındaki numunelerin kendi içinde istatistiksel olarak farklı olduğu 0,30 mm kalınlığındaki numunelerin ise 0,15 mm ve 0,45 mm kalınlık katmanlarına benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. En kalın kaplama kalınlığı olan 0,60 mm değerinde ise T_s değeri en düşük değerdedir.

Varyans analizinin sonucunda kaplama kalınlığı parametresinin UV bölgede ışık geçirgenliği ($T_{uv}(\%)$) üzerine etkisi incelendiğinde kör kaplama numuneleri ile aerojel kaplama numunelerinin istatistiksel olarak birbirlerinden farklı etki oluşturduğu görülmüştür. Kaplama kalınlığı kör kaplama ve aerojel katkılı kaplama olarak kendi içinde değerlendirildiğinde 0,15 mm ve 0,60 mm kalınlığındaki kör ve aerojel kaplamaların diğer kalınlık değerlerinden istatistiksel olarak farklı olduğu görülmüştür. kalınlık değerinin 0,15 mm'den 0,60 mm'ye yükselmesi ile birlikte T_{uv} değeri kör kaplamalarda 7,21'den 6,23'e, aerojel kaplamalarda ise 6,75'ten 5,09 değerine düşmüştür.

Kaplama kalınlığının, görünür bölgede yansıtma (Rv(%)) ve solar bölgede yansıtma (Rs(%)) üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.45'te verilmiştir.

Çizelge 4.45. Farklı kalınlıklarda kaplanmış kumaşların görünür ve solar bölgede ışık yansıtma değerleri

Kalınlık (mm)	Rv (%)		Rs (%)	
	Katki Oranı (%)		Katki Oranı (%)	
	0	4	0	4
0,15	62,05 ± 0,25 ^{a,B}	63,40 ± 0,44 ^{a,A}	58,98 ± 0,22 ^{a,B}	60,38 ± 0,39 ^{a,A}
0,30	61,07 ± 0,21 ^{b,B}	63,19 ± 0,04 ^{a,A}	57,56 ± 0,15 ^{b,B}	59,98 ± 0,15 ^{a,A}
0,45	60,00 ± 0,41 ^{c,B}	63,42 ± 0,27 ^{a,A}	56,03 ± 0,19 ^{c,B}	60,09 ± 0,27 ^{a,A}
0,60	58,80 ± 0,37 ^{d,B}	63,93 ± 0,34 ^{a,A}	53,93 ± 0,26 ^{d,B}	60,21 ± 0,26 ^{a,A}
Kalınlık x Katki oranı	p < 0,001*		p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her kalınlık için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Varyans analizinin sonucunda kaplama kalınlığı ve katkı oranının görünür bölgede yansıtma (Rv (%)) ve solar bölgede yansıtma (Rs (%)) değerleri üzerinde etkili (p < 0,001) olduğu görülmektedir.

Kör kaplamalı kumaşlarda kaplama kalınlığı parametresinin görünür bölgede yansıtma (Rv (%)) ve solar bölgede yansıtma (Rs (%)) değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etki yaptığı görülmüştür. Kör kaplamaların Rv ve Rs değerlerinde kaplama kalınlığının artmasıyla birlikte yansıtma azalmıştır.

Aerojel kaplamalı kumaşlarda ise kaplama kalınlığının görünür bölgede yansıtma (Rv (%)) ve solar bölgede yansıtma (Rs (%)) değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Kaplama kalınlıkları artsada her iki bölgede de tüm kalınlıklarda yansıtma değerlerinin birbirine oldukça yakında değerlerde olduğu ve kendi içinde istatistiksel bir fark oluşturmadığı görülmektedir.

Kör kaplamalarla aerojel kaplamalar kıyaslandığında ise her iki bölgede de kör kaplamaların yansıtma değerleri aerojel kaplamalardan daha düşük değerlerdedir.

Kaplama kalınlığının, solar bölgede absorbands (As(%)) değerleri üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.46.'da verilmiştir.

Çizelge 4.46. Farklı kalınlıklarda kaplanmış kumaşların solar absorbands değerleri

As (%)		
Kalınlık (mm)	Katkı Oranı (%)	
	0	4
0,15	9,43 ± 0,26 ^{d,A}	9,27 ± 0,37 ^{c,A}
0,30	10,81 ± 0,07 ^{c,A}	10,27 ± 0,54 ^{b,A}
0,45	12,22 ± 0,34 ^{b,A}	10,88 ± 0,32 ^{b,B}
0,60	14,23 ± 0,31 ^{a,A}	12,22 ± 0,06 ^{a,B}
Kalınlık x Katkı oranı		p = 0,001*

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

^{a,b,c}: Her kalınlık için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

^{A,B,C}: Her konsantrasyon için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Varyans analizinin sonucunda kaplama kalınlığı ve katkı oranının birlikte solar bölgede absorbands (As (%)) değerleri üzerinde etkili (p = 0,001) olduğu görülmektedir. Kaplama kalınlığının kör kaplamalı kumaşlarda solar absorbands üzerine anlamlı bir etkisi bulunmaktadır. Kaplama kalınlığı arttıkça absorbsiyon değeri artmaktadır. Kör ve arojel kaplamalarda 0,15 mm ve 0,30 mm kaplama kalınlık değerlerinde elde edilen absorbands değerleri birbirlerine benzerdir ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark oluşmadığı görülmüştür. Kaplama kalınlığının 0,45 ve 0,60 mm olduğu değerlerde ise kör kaplamaların absorbands değerleri arojel kaplamalardan daha yüksektir.

4.5. Kaplama Katman Sayısı Etkisinin Araştırılmasına Ait Sonuçlar

Tez çalışmasının son bölümünde 4 farklı katmanda (X1, 1X1, X2 ve 2X2) kör ve %4 konsantrasyonda A3 tip arojel içeren kaplama patları ile kaplama kalınlığı 0,30 mm olmak üzere kaplanan kumaşlara uygulanan analiz ve ölçüm sonuçları aşağıdaki alt başlıklarda verilmiştir.

4.5.1. Birim ağırlık ölçüm sonuçları

Farklı kaplama katman sayılarında kör ve aerojellerle kaplanmış olan numunelerin birim alan ağırlıkları (gramaj) ölçülmüştür. Zemin kumaşın birim alan ağırlığı 160 g/m² olup, farklı kaplama katmanlarında kaplanan kumaşların birim alan ağırlığı ise 196-403 g/m² arasında değişmiştir. Kaplama işlemleri ile zemin kumaş üzerine yaklaşık 36- 243 gr aralığında kaplama maddesi aktarılmıştır. Çizelge 4.48’de elde edilen birim alan ağırlıkları ve birim alana aktarılan kaplama madde miktarı değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. 47. Farklı katman sayılarında kaplanmış kumaşların birim alan ağırlığı ve birim alana aktarılan kaplama maddesi miktarı sonuçları

Katman Sayısı	Birim Alan Ağırlığı (g/m ²)		Birim Alana Aktarılan Kaplama Maddesi Miktarı (g/m ²)	
	Katkı Oranı (%)		Katkı Oranı (%)	
	0	4	0	4
X1	206,33 ± 2,52 ^{d,A}	196,33 ± 3,79 ^{d,B}	46,33 ± 2,52 ^{d,A}	36,33 ± 3,79 ^{d,B}
1X1	254,33 ± 3,21 ^{c,A}	244,00 ± 3,46 ^{c,B}	94,33 ± 3,21 ^{c,A}	84,00 ± 3,46 ^{c,B}
X2	273,00 ± 2,65 ^{b,B}	286,33 ± 4,04 ^{b,A}	113,00 ± 2,65 ^{b,B}	126,33 ± 4,04 ^{b,A}
2X2	403,00 ± 2,65 ^{a,A}	329,67 ± 2,08 ^{a,B}	243,00 ± 2,65 ^{a,A}	169,67 ± 2,08 ^{a,B}
<i>Katman x Katkı oranı</i>	p < 0,001*		p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

a,b,c: Her katman uygulaması için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

A,B,C: Her katkı oranı için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Katman sayısının ve katkı oranının birim alan ağırlığı (g/m²) ve birim alana aktarılan kaplama maddesi miktarına etkilerini incelemek için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.47’de verilmiştir. Katman sayısı ve katkı oranının birim alan ağırlığı ve birim alana aktarılan kaplama maddesi miktarı (g/m²) üzerinde etkili olduğu (p<0,001) görülmüştür. Kaplama katmanı arttıkça birim ağırlık ve aktarılan kaplama maddesi miktarı artmıştır. Kör kaplamalı kumaşlar ile aerjel kaplamalı kumaşlar kıyaslandığında ise tek yüze iki kat kaplama (X2) yapılan kumaş haricindeki diğer kaplamalarda kör kaplamalı kumaşların birim ağırlıkları ve birim alana aktarılan kaplama madde miktarları daha yüksektir.

4.5.2. Kumaş kalınlık ölçüm sonuçları

Katman çalışması yapılan kör ve aerojel kaplama yapılan kumaşların kalınlık sonuçları Çizelge 4.48'de verilmiştir.

Çizelge 4. 48. Farklı katman sayılarında kaplanmış kumaşların kalınlık değerleri

h (mm)		
Katman Sayısı	Katkı Oranı (%)	
	0	4
X1	0,31 ± 0,01 ^{c,B}	0,52 ± 0,01 ^{c,A}
1X1	0,33 ± 0,00 ^{bc,B}	0,70 ± 0,03 ^{b,A}
X2	0,34 ± 0,01 ^{b,B}	0,69 ± 0,02 ^{b,A}
2X2	0,43 ± 0,00 ^{a,B}	0,85 ± 0,02 ^{a,A}
<i>Katman x Katkı oranı</i>	p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

a,b,c: Her katman uygulaması için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

A,B,C: Her katkı oranı için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kaplama katman sayısı ve katkı oranının kumaş kalınlığı üzerinde etkili (p < 0,001) olduğu görülmektedir. Kaplama katman sayısı arttıkça kaplanmış kumaş kalınlık değerlerinde de artış olduğu görülmektedir. Farklı katman sayısındaki kaplamalarda kör kaplanmış kumaşlar ile aerojelle kaplanmış kumaşların kalınlıkları arasında ciddi oranda fark olduğu görülmektedir, kör kaplanmış kumaşların kalınlık değerleri 0,31 mm ile 0,43 mm arasında değişirken aerojelle kaplanmış kumaşların kalınlık değerleri 0,52-0,85 mm arasındadır.

4.5.3. Sarılık indeksi ölçüm sonuçları

Kaplama yapılan kumaşların sarılık indeksi için ASTM E313-73 standardındaki değerler alınmıştır. Alınan değerler Çizelge 4.49'da verilmiştir.

Çizelge 4. 49. Farklı katman sayılarında kaplanmış kumaşların sarılık indeksi ölçüm sonuçları

Sarılık İndeksi (ASTM E313-73)		
Katman Sayısı	Katkı Oranı (%)	
	0	4
X1	9,39 ± 0,30 ^{d,A}	4,82 ± 0,04 ^{c,B}
1X1	14,17 ± 0,55 ^{c,A}	9,41 ± 0,52 ^{b,B}
X2	15,47 ± 0,17 ^{b,A}	13,72 ± 0,39 ^{a,B}
2X2	19,06 ± 0,25 ^{a,A}	12,99 ± 0,59 ^{a,B}
<i>Katman x Katkı oranı</i>	p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

a,b,c: Her katman uygulaması için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

A,B,C: Her katkı oranı için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Tek katlı ve iki katlı farklı kumaş yüzeylerine hem kör hemde arojelle gerçekleştirilen kaplamalardan elde edilen numunelerde katman sayısı ve katkı oranının sarılık indeksine istatistiksel olarak anlamlı bir etki (p<0,05) sağladığı görülmüştür. Kalınlık artışı çalışmalarına benzer bir şekilde katman sayısı arttıkça kumaşların sararma eğilimleri artmaktadır. Aerojellerle kaplanan kumaşlarda ise sararma eğiliminin kör kaplamalara göre daha az olduğu görülmüştür. En yüksek sararma indeksi zemin kumaşın her iki yönüne de iki kat kaplama uygulanan 2X2 kodlu kumaşta elde edilmiştir.

4.5.4. Isı iletim ve ısı direnç katsayısı test sonuçları

Farklı katman sayısına sahip kaplamaların etkisinin araştırılması için kaplanan kumaşların ısı iletim ve ısı direnç katsayısı ölçüm sonuçları Çizelge 4.50’de verilmiştir.

Çizelge 4.50. Farklı katman sayılarında kaplanmış kumaşların ısı iletim katsayısı ve ısı direnç katsayısı sonuçları

Katman Sayısı	λ (W/mK x 10 ⁻³)		r (m ² K/W)	
	Katkı Oranı (%)		Katkı Oranı (%)	
	0	4	0	4
X1	40,70 ± 0,10 ^{d,A}	36,43 ± 0,15 ^{c,B}	7,50 ± 0,00 ^{a,B}	14,33 ± 0,21 ^{c,A}
1X1	46,93 ± 0,21 ^{c,A}	38,23 ± 0,15 ^{b,B}	6,93 ± 0,06 ^{c,B}	18,20 ± 0,70 ^{b,A}
X2	48,30 ± 0,61 ^{b,A}	38,50 ± 0,30 ^{b,B}	7,07 ± 0,06 ^{b,B}	17,57 ± 0,21 ^{b,A}
2X2	70,40 ± 0,30 ^{a,A}	41,37 ± 0,15 ^{a,B}	6,13 ± 0,06 ^{d,B}	20,63 ± 0,31 ^{a,A}
<i>Katman sayısı x Katkı oranı</i>	p < 0,001*		p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama \pm standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

a,b,c: Her katman uygulaması için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

A,B,C: Her katkı oranı için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Isı iletim katsayısına katman sayısı ve katkı oranının etkisi birlikte değerlendirildiğinde ısı iletim katsayısı üzerinde anlamlı bir etkisinin ($p < 0,05$) olduğu görülmektedir (Çizelge 4.51). Kör ve arojel kaplamalarda kaplama katman sayısının ısı iletim katsayısına istatistiksel olarak anlamlı etki yaptığı görülmüştür. Kör kaplamalarda kaplama katman sayısı kumaşların ısı iletim katsayısı değerleri artmaktadır. Çizelge 4.48’de verildiği üzere katman sayısı arttıkça zemin kumaşa aktarılan polimer binder miktarı da artmakta ve artan binder miktarında zemin kumaşı daha iletken hale getirmektedir. Bu durum arojel kaplamalarda da benzer olmasına rağmen artış kör kaplamalara göre daha azdır. Aerojeller bu aşamada ısı yalıtım özelliklerini göstermektedir. En fazla katman sayısı olan her iki kumaş yüzeyine 2 kat kaplama yapılan 2X2 kodlu kör kaplamalı kumaşlarda ısı iletim katsayısı $70,40 \text{ W/mK} \cdot 10^{-3}$ iken arojel kaplamalı kumaşların ısı iletim katsayıları $41,37 \text{ W/mK} \cdot 10^{-3}$ ’dir. Aerojellerin ısı iletim katsayısının artmasını engellediği ve belirli bir aralıkta tuttuğu net olarak görülmektedir.

Kör ve arojel kaplamalı kumaşların ısı direnç katsayısı üzerinde kaplama katman sayısının ve katkı oranının etkisine bakıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye ($p < 0,05$) sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 4.51). Kaplama katman sayısı arttıkça kör kaplamaların ısı direnç katsayılarında azalma söz konusudur. Aerojel kaplamalarda ise tam tersi yönde kaplama katman sayısının artması ile birlikte ısı direnç katsayısı önemli oranda artmıştır. Tek kat tek yön kaplama (X1) ile her iki yüzeye iki kat kaplama yapılan (2X2) kumaşları kıyaslandığında $14,33 \text{ m}^2\text{K/W}$ ’dan $20,63 \text{ m}^2\text{K/W}$ ’a yükseldiği ve istatistiksel olarak da fark olduğu görülmektedir. Aerojeller ısı iletim katsayısına benzer bir şekilde ısı direnç katsayısı sonuçlarıyla da ısı yalıtım özelliğine sahip olduklarını göstermişlerdir.

4.5.5. Spektrofotometrik analiz sonuçları

Farklı katman sayılarında kör ve arojel kaplama yapılan kumaşların spektrofotometrik analizleri ile elde edilen yansıtma, geçirgenlik ve absorbans değerleri Çizelge 4.51, 4.52 ve 4.53’de verilmiştir.

Katman sayısının, solar geçirgenlik (Ts(%)), görünür bölgedeki ışık geçirgenliği (Tv(%)) ve UV bölgede ışık geçirgenliği (Tuv (%)) üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.51’de verilmiştir.

Çizelge 4.51. Farklı katman sayılarında kaplanmış kumaşların görünür, solar ve ultraviole bölgelerde ışık geçirgenlik değerleri

Katman Sayısı	Tv (%)		Ts (%)		Tuv (%)	
	Katkı Oranı (%)		Katkı Oranı (%)		Katkı Oranı (%)	
	0	4	0	4	0	4
X1	32,19 ± 0,22 ^{b,A}	30,38 ± 0,32 ^{a,B}	31,63 ± 0,22 ^{b,A}	29,75 ± 0,39 ^{a,B}	6,85 ± 0,05 ^{a,A}	6,41 ± 0,16 ^{a,B}
1X1	33,57 ± 0,17 ^{a,A}	29,16 ± 0,08 ^{b,B}	32,77 ± 0,13 ^{a,A}	28,53 ± 0,09 ^{b,B}	5,71 ± 0,07 ^{c,A}	5,21 ± 0,10 ^{b,B}
X2	32,38 ± 0,16 ^{b,A}	27,28 ± 0,37 ^{c,B}	31,63 ± 0,17 ^{b,A}	26,52 ± 0,43 ^{c,B}	5,95 ± 0,04 ^{b,A}	5,09 ± 0,12 ^{b,B}
2X2	33,22 ± 0,20 ^{a,A}	26,19 ± 0,25 ^{d,B}	31,83 ± 0,29 ^{b,A}	25,48 ± 0,27 ^{d,B}	4,38 ± 0,08 ^{d,A}	3,37 ± 0,03 ^{c,B}
<i>Katman sayısı x Katkı oranı</i>	p < 0,001*		p < 0,001*		p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

a,b,c: Her katman uygulaması için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

A,B,C: Her katkı oranı için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Kaplama katman sayısı ve katkı oranının solar geçirgenlik (Ts(%)), UV bölgede ışık geçirgenliği (Tuv (%)) ve görünür bölgedeki ışık geçirgenliği (Tv (%)) değerleri üzerinde etkili (p < 0,001) olduğu görülmektedir.

Kaplama katman sayısının görünür bölgedeki ışık geçirgenliğine (Tv (%)) istatistiksel olarak anlamlı etki yaptığı görülmüştür. Yapılan istatistiksel analizler kör kaplamalarda X1 ve X2 kodlu kumaşların birbirine ve 1X1 ve 2X2 kodlu kumaşlarında birbirine benzer olduğunu göstermiştir. Aerojel kaplama numunelerinde ise tek katmanlı tek yön

kaplamalı(X1) kumaşların geçirgenlik değeri en yüksek iken her iki yöne iki kat (2X2) kaplama yapılan kumaşın geçirgenlik değeri en düşüktür.

Kaplama katman sayısının solar bölgedeki ışık geçirgenliğine (Ts (%)) istatistiksel olarak anlamlı etki yaptığı görülmüştür. Yapılan istatistiksel analizlerde kör kaplamalara göre aerojel kaplamaların ışık geçirgenliğinin daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaplama katman sayısının UV bölgedeki ışık geçirgenliğine (Tuv (%)) istatistiksel olarak anlamlı etki yaptığı görülmüştür. Yapılan istatistiksel analizler kör kaplamalarda ve aerojel kaplamalarda katman sayısının artması ile birlikte geçirgenlik değeri azalmaktadır. Kör kaplamalarla aerojel kaplamaların ışık geçirgenliği kıyaslandığında aerojel kaplamaların değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.

Kaplama katman sayısının görünür bölgede yansıtma (Rv(%)) ve solar bölgede yansıtma (Rs(%)) üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.52'de verilmiştir.

Çizelge 4.52. Farklı katman sayılarında kaplanmış kumaşların görünür ve solar bölgede ışık yansıtma değerleri

Katman Sayısı	Rv (%)		Rs (%)	
	Katkı Oranı (%)		Katkı Oranı (%)	
	0	4	0	4
X1	61,07 ± 0,21 ^{a,B}	63,19 ± 0,04 ^{b,A}	57,56 ± 0,15 ^{a,B}	59,98 ± 0,15 ^{a,A}
1X1	58,88 ± 0,34 ^{b,B}	63,84 ± 0,62 ^{ab,A}	55,22 ± 0,37 ^{b,B}	60,51 ± 0,47 ^{a,A}
X2	58,79 ± 0,14 ^{b,B}	64,43 ± 0,39 ^{ab,A}	54,30 ± 0,16 ^{c,B}	60,56 ± 0,20 ^{a,A}
2X2	56,68 ± 0,17 ^{c,B}	64,56 ± 0,60 ^{a,A}	51,71 ± 0,21 ^{d,B}	60,59 ± 0,56 ^{a,A}
Katman sayısı x Katkı oranı	p < 0,001*		p < 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

a,b,c: Her katman uygulaması için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

A,B,C: Her katkı oranı için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır (p < 0,05).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Varyans analizinin sonucunda kaplama katman sayısı ve katkı oranının görünür bölgede yansıtma (Rv (%)) ve solar bölgede yansıtma (Rs (%)) değerleri üzerinde etkili (p < 0,001) olduğu görülmektedir.

Kör kaplamalı kumaşlarda kaplama katman sayısının görünür bölgede yansıtma (R_v (%)) ve solar bölgede yansıtma (R_s (%)) değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etki yaptığı görülmüştür. Kör kaplamaların R_v ve R_s değerlerinde kaplama katman sayısı arttıkça yansıtma değerleri azalmaktadır.

Aerojel kaplamalı kumaşlarda ise kaplama katman sayısının görünür bölgede yansıtma (R_v (%)) özelliği üzerinde anlamlı bir etkisi varken ve solar bölgede yansıtma (R_s (%)) değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır. Kaplama katman sayısı artsada solar bölgedeki yansıtma değerlerinde önemli bir artış olmamaktadır. Görünür bölgedeki yansıtma değerlerine bakıldığında ise X1 ve 2X2 arasında önemli bir fark varken, X2 ve 1X1 arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

Kaplama katman sayısının solar bölgede absorbands (A_s (%)) değerleri üzerindeki etkilerini incelemek için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.53.'te verilmiştir.

Çizelge 4.53. Farklı katman sayılarında kaplanmış kumaşların solar absorbands değerleri

As (%)		
Katman Sayısı	Katkı Oranı (%)	
	0	4
X1	10,81 ± 0,07 ^{d,Λ}	10,27 ± 0,54 ^{b,Λ}
1X1	12,01 ± 0,27 ^{c,Λ}	10,96 ± 0,42 ^{b,B}
X2	14,07 ± 0,03 ^{b,Λ}	12,92 ± 0,23 ^{a,B}
2X2	16,45 ± 0,40 ^{a,Λ}	13,94 ± 0,33 ^{a,B}
Katman sayısı x Katkı oranı	p = 0,001*	

Tüm değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir (n=3).

a,b,c: Her katman uygulaması için sütun boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

A,B,C: Her katkı oranı için satır boyunca aynı harfi paylaşmayan değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı fark vardır ($p < 0,05$).

*: İki yönlü ANOVA sonucunda elde edilen etkileşim olasılık değeri

Varyans analizinin sonucunda kaplama katman sayısı ve katkı oranının birlikte solar bölgede absorbands (A_s (%)) değerleri üzerinde etkili ($p = 0,001$) olduğu görülmektedir. Kaplama katman sayısının kör kaplamalı kumaşların solar bölgede absorblanan ışık değerlerinde anlamlı bir etkisi olmuştur. Kaplama katman sayısı arttıkça absorbsiyon değeri artmaktadır. Aerojel kaplamalarda ise tek kat tek yöne(X1) ve tek kat iki yöne(1X1) kaplamalarda absorbsiyon değerleri birbirine benzerken, çift kat tek yöne (X2) ve çift kat iki yöne (2X2) kumaşların birbirine benzerdir.

5. SONUÇ

Silika aerojeller, doğada kolaylıkla bulunabilen ham maddelerden dolayı aerojeller arasında en çok üretilen ve kullanılan gruptur. Silika aerojeller aynı zamanda düşük katı silika içeriğine sahip olup, bu da düşük bir ısı iletim katsayısına ve dolayısıyla daha az ısı iletimine neden olur. Bu özelliklerinden dolayı aerojeller yalıtım, inşaat, kimya, elektronik, enerji, biyomedikal, tarım, filtrasyon, tekstil vb. birçok farklı sektör ve uygulamada kullanılmaktadırlar. Aerojellerin tekstil malzemelerine uygulanması ile ilgili çalışmalar genellikle 2000 yılından sonra artmaya başlamıştır. Bu tez çalışması da aerjel tozlarının tekstil yüzeylerine kaplama metodu ile aktararak ısı yalıtımı sağlayan tekstil yüzeylerinin elde edilmesi amaçlanarak gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında, tüm tez çalışması süresince uygulanacak olan uygun fiksaj süre ve sıcaklığının belirlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda seçilen binderin fiksaj sıcaklığı arttıkça sararma eğiliminin de arttığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle en uygun fiksaj sıcaklığı ve süresi 150 °C'de 4 dakika olarak belirlenmiştir.

İkinci aşamada farklı polimer yapılarında üç adet akrilik esaslı binder ile bir adet poliüretan seçilmiştir. Seçilen binderler 300, 450, 600 ve 750 g/kg olacak şekilde kaplama patlarında kullanılarak hem kör kaplamalar, hem de sabit oranda aerjel (%2) içeren kaplamalar yapılmıştır. Kaplanmış numuneler üzerinde ölçülen sararma eğilimi, ısı iletim katsayısı ve solar özellikler (ışık geçirgenliği, yansıtma ve absorpsiyon) değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre fiksaj sonrası tüm binder türlerinde ve konsantrasyonlarında ciddi oranda sararma meydana gelmektedir. En düşük sararma oranı poliüretan kaplanmış kumaşlarda (PU1), en yüksek sararma ise vinil akrilik kopolimerle (AK2) kaplanmış kumaşlarda görülmüştür. Bu aşama sonucunda aerjellerin partikül büyüklükleri ve konsantrasyonları çalışmalarında kullanılmak üzere bir adet akrilik tipi (saf akrilik) ve bir adet de poliüretan tipi binderin en düşük binder konsantrasyonu olan 300 g/kg'ının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Çalışmanın üçüncü aşamasında, temin edilen üç farklı partikül büyüklüğündeki silika aerojellerin farklı konsantrasyonlarda akrilik tipi binderler ile kaplanması sağlanmıştır. Elde edilen kaplanmış numunelerde sararma eğilimi, ısı iletkenliği ve solar özellik testleri uygulanmıştır. Aynı zamanda taramalı elektron mikroskopunda aerojellerin en yüksek konsantrasyonunda (%4) görüntüleri alınarak değerlendirilmiştir. Kesit ve yüzey görüntülerinde aerojellerin kumaş yüzeyine tutundukları net bir şekilde görülmüştür. Partikül büyüklüklerinin artışı ile birlikte kumaş kaplama kalınlığının arttığı, kumaş yüzeyindeki kaplama homojenliğinin ise azaldığı görülmüştür.

Kör kaplanmış kumaşlarla aerojelle kaplanmış kumaşların sararma eğilimlerine bakıldığında meydana gelen sararmanın aerjel tozlarının sararmasından değil, kullanılan akrilik polimerlerinden kaynaklandığı ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla bu sonuca göre genellikle tekstil kaplamalarında kullanılan beyaz aerjel tozlarının 150 °C civarındaki sabit sıcaklıklarda sararmaya karşı dirençli olduğu sonucuna varılmıştır.

Aerjel kaplı numunelerin ısı iletim katsayısı, partikül boyutu ve konsantrasyonu arttıkça azalmıştır. En düşük ısı iletim katsayısı en yüksek konsantrasyonda (%4) ve partikül boyutunda (A3: 0 – 0,5 mm) elde edilmiştir. Solar özellik sonuçlarında ise, partikül boyutunun ve konsantrasyonunun yansıtma, soğurma ve iletim değerlerini etkilediği görülmüştür. Aerjel kaplı kumaşların solar absorpsiyon (A_s), solar ışık geçirgenliği (T_s) ve UV bölgedeki ışık geçirgenliği (T_{UV}) değerleri sabit konsantrasyonda partikül boyutunun artmasıyla artarken, solar bölgede yansıtma (R_s) değerleri kör kaplamalı kumaşa göre azalmıştır. Bu sonuçlar, tanecik boyutuna bağlı olarak değişen kaplanmış yüzeyin pürüzlülüğünün solar özellikler üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. En yüksek yansıtma, en küçük partikül boyutuna (A1: ~ 8 μ m) sahip aerjel tozu ile en yüksek konsantrasyonda kaplanan kumaş numunesi üzerinde meydana gelmiştir.

Aerjel çok hafif bir malzeme olduğu için çalışmada %4 konsantrasyonun üzerinde düzgün kaplamalar elde edilememiştir. Konsantrasyon artışı dışında kumaş yüzeyine kaplanan aerjel yoğunluğunu artırmanın yolları arasında kaplama kalınlığını artırmak ve/veya çok katlı kaplamalar yapmak çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda, çalışmanın son bölümünde farklı kalınlıklarda ve katman sayılarında aerojelle ve kör

kaplamalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda kumaş üzerine kaplanan aerojel yoğunluğunun artırılmasıyla, özellikle ısıl direnç değerlerinde olmak üzere kaplanmış kumaşların ısı yalıtım özelliklerinin belirgin şekilde iyileştirilebildiği ortaya konulmuştur.

Elde edilen sonuçların değerlendirilmesiyle, aerojel kaplamalar yardımıyla tekstil yüzeylerinin ısı yalıtımı ve güneşten koruma özelliklerinin belirgin şekilde iyileştirilebileceği ve geliştirilen yüzeylerin özellikle soğuğa ve sıcaklığa karşı koruyucu giysiler başta olmak üzere ısı yalıtımı gerektiren çeşitli alanlarda kullanım potansiyelinin bulunduğu sonucuna varılmıştır.

Tez çalışmasının sağladığı katkılarda göz önüne alınarak; a) farklı hammaddeye sahip kumaşlara aroejellerin uygulanması, b) hidrofob silika aroejellerle, hidrofik silika aroejellerin kıyaslama çalışmaları ve c) farklı türlerde aroejellerle yeni çalışmalar yapılması öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aerogel, (2020). Silica Aerogel. Erişim Adresi: <http://www.aerogel.org/?p=16> (Erişim Tarihi: 18.03.2023)
- Akovali, G. (2012). Advances in polymer coated textiles. Smithers Rapra.
- Altay, P., Atakan, R., & Özcan, G. (2021). Silica aerogel application to polyester fabric for outdoor clothing. *Fibers and Polymers*, 22(4), 1025-1032. doi: 10.1007/s12221-021-0420-4
- Alwin, S., & Sahaya Shajan, X. (2020). Aerogels: promising nanostructured materials for energy conversion and storage applications. *Materials for renewable and sustainable energy*, 9(2), 1-27. doi: 10.1007/s40243-020-00168-4.
- Aydemir, H. (2013). Seçilmiş perdelik kumaşların ses yalıtımı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Bayrakçı, H., Davraz, M., & Başpınar, E. (2011). Yeni Nesil Isı Yalıtım Malzemesi: Vakum Yalıtım Paneli. *Teknik Bilimler Dergisi*, 1(2), 1-12.
- Bhuiyan, M. R., Wang, L., Shaid, A., Shanks, R. A., & Ding, J. (2019). Polyurethane-aerogel incorporated coating on cotton fabric for chemical protection. *Progress in Organic Coatings*, 131, 100-110. doi: 10.1016/j.porgcoat.2019.01.041
- Bulut, Y., & Sülar, V. (2010). Kaplama veya laminasyon teknikleri ile üretilen kumaşların genel özellikleri ve performans testleri. *Tekstil ve Mühendis*, 15(71), 5-16.
- Buratti, C., Merli, F., & Moretti, E. (2017). Aerogel-based materials for building applications: Influence of granule size on thermal and acoustic performance. *Energy and Buildings*, 152: pp. 472-482.
- Caps, R., & Fricke, J. (2004). Aerogels for thermal insulation. In *Sol-Gel Technologies for Glass Producers and Users* (pp. 349-353). Springer, Boston, MA.
- Cabot Aerogels, (2018). Aerogel Particles. Erişim Adresi: <http://www.cabotcorp.com/solutions/products-plus/aerogel/particles> (Erişim Tarihi: 18.01.2023)
- Chen, Y. X., Klima, K. M., Brouwers, H. J. H., & Yu, Q. (2022). Effect of silica aerogel on thermal insulation and acoustic absorption of geopolymer foam composites: The role of aerogel particle size. *Composites Part B: Engineering*, 242: pp. 110048. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.110048>
- Coated Fabrics Market, (2023). Erişim Adresi: <https://www.marketdataforecast.com/market-reports/coated-fabrics-market> (Erişim Tarihi: 19.01.2023)
- Cuce, E., Cuce, P. M., Wood, C. J., & 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

- Dai, Y. J., Tang, Y. Q., Fang, W. Z., Zhang, H., & Tao, WQ. (2018). A Theoretical Model for the Effective Thermal Conductivity of Silica Aerogel Composites. *Applied Thermal Engineering*, 128: pp. 1634-1645. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.09.010>
- Dorcheh, A. S., & Abbasi, M. H. (2008). Silica aerogel; synthesis, properties and characterization. *Journal of materials processing technology*, 199(1-3), 10-26. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.10.060.
- Du, A., Zhou, B., Zhang, Z., & Shen, J. (2013). A special material or a new state of matter: a review and reconsideration of the aerogel. *Materials*, 6(3), 941-968. doi: 10.3390/ma6030941
- Eas Fibers, (2019). Insulation materials thermal conductivity coefficients. Erişim Adresi: <http://tr.eas-fiberglass.net/news/Silica-Aerogel-Insulation-Blanket.html> (Erişim Tarihi: 07.04.2019)
- Fang, V., Kennedy, J. V., Futter, J., & Manning, J. (2013). A review of near infrared reflectance properties of metal oxide nanostructures. *GNS Science*. <https://doi.org/10.1021/jp066363o>
- Feng, J., Su, B. L., Xia, H., Zhao, S., Gao, C., Wang, L., ... & Hasan, T. (2021). Printed aerogels: Chemistry, processing, and applications. *Chemical Society Reviews*, 50(6), 3842-3888. doi: 10.1039/c9cs00757a.
- Getir, Ş. (2019). Monolitik silika aerogel eldesi ve karakterizasyonu (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği).
- Glass Producers and Users (pp. 349-353). Springer, Boston, MA. doi: 10.1007/978-0-387-88953-5_46
- He, S., Huang, Y., Chen, G., Feng, M., Dai, H., Yuan, B., & Chen, X. (2019). Effect of heat treatment on hydrophobic silica aerogel. *Journal of Hazardous materials*, 362, 294-302. doi: 10.1016/J.JHAZMAT.2018.08.087
- Hrubesh, L. W. (1998). Aerogel applications. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 225, 335-342. doi: 10.1016/S0022-3093(98)00135-5
- Iswar, S., Malfait, W. J., Balog, S., Winnefeld, F., Lattuada, M., & Koebel, M. M. (2017). Effect of aging on silica aerogel properties. *Microporous and Mesoporous Materials*, 241, 293-302. doi: 10.1016/j.micromeso.2016.11.037
- Jabbari, M., Åkesson, D., Skrifvars, M., & 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
- Jin, L., Hong, K., & Yoon, K. (2013). Effect of aerogel on thermal protective performance of firefighter clothing. *Journal of Fiber Bioengineering and Informatics*, 6(3), 315-324. doi: 10.3993/jfbi09201309
- Ke, Y., & Wang, F. (2018). Warmth without the weight. In *Engineering of High-Performance Textiles* (pp. 231-245). Woodhead Publishing. doi: 10.1016/B978-0-08-101273-4.00008-1

- Kesik, M. A. (2019). Hidrofobik Silika Aerojel Eldesinde Kullanılan Kimyasalların Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koebel, M., Rigacci, A., & Achard, P. (2012). Aerogel-Based Thermal Superinsulation: An Overview. *J. Sol-Gel Sci Technology*, 63: pp. 315-339. doi:10.1007/s10971-012-2792-9
- Koebel, M. M., Huber, L., Zhao, S., & Malfait, W. J. (2016). Breakthroughs in cost-effective, scalable production of superinsulating, ambient-dried silica aerogel and silica-biopolymer hybrid aerogels: from laboratory to pilot scale. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 79(2), 308-318. doi: 10.1007/s10971-016-4012-5.
- Li, Z., Zhao, S., Koebel, M. M., & Malfait, W. J. (2020). Silica aerogels with tailored chemical functionality. *Materials & Design*, 193, 108833. doi: 10.1016/j.matdes.2020.108833
- Liao, Y., Wu, H., Ding, Y., Yin, S., Wang, M., & Cao, A. (2012). Engineering thermal and mechanical properties of flexible fiber-reinforced aerogel composites. *Journal of sol-gel science and technology*, 63(3), 445-456. doi: 10.1007/s10971-012-2806-7
- Manasoglu, G., Kanik, M. (2022). Investigation of thermal and solar properties of perlite coated woven fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 139(4), 51543. doi: 10.1002/app.51543
- Maleki, H., Durães, L., & Portugal, A. (2014). An overview on silica aerogels synthesis and different mechanical reinforcing strategies. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 385, 55-74. doi: 10.1016/j.jnoncrysol.2013.10.017
- Market and Markets, (2023) Aerogel Market by Type, Form, Processing, Application-Global Forecast to 2025. Erişim Adresi: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/aerogel-market-714.html> (Erişim Tarihi: 24.04.2023)
- Masera, G., Wakili, K. G., Stahl, T., Brunner, S., Galliano, R., Monticelli, C., ... & Elesawy, A. (2017). Development of a super-insulating, aerogel-based textile wallpaper for the indoor energy retrofit of existing residential buildings. *Procedia engineering*, 180, 1139-1149. doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.274
- Metal Dünyası (2022). Dünyanın En hafif Katı Malzemesi: Aerojeller, <https://www.metaldunyasi.com.tr/tr/guncel/69/dunyanin-en-hafif-kati-malzemesi-aerogeller.html> (Erişim Tarihi: 18.01.2023)
- Mishra, R., Militky, J., & Venkataraman, M. (2018). Nanoporous Materials. In: Mishra, R., Militky, J., (ed.) *Nanotechnology in Textiles*: pp. 311-353, Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102609-0.00007-9>
- Moheman, A., Bhawani, S. A., & Tariq, A. (2021). Aerogels for waterborne pollutants purification. In *Advances in Aerogel Composites for Environmental Remediation* (pp. 109-124). Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-820732-1.00007-2
- Myers, T. L., Brauer, C. S., Su, Y. F., Blake, T. A., Tonkyn, R. G., Ertel, A. B., Johnson, T. J. & Richardson, R. L. (2015). Quantitative reflectance spectra of solid powders as a function of particle size. *Applied Optics*, 54(15): pp. 4863-4875. <https://doi.org/10.1364/AO.54.004863>

- Nanokar Nano Teknolojik Çözümler, (2020). Grafen aerojeller. Erişim Adresi: <https://www.nanokar.com.tr/kategori/grafen-aerorejeller>. (Erişim Tarihi: 18.01.2023)
- Nitrile Foam Coated Nylon Knit Glove (2023). Erişim Adresi: <https://wintexsafety.com/shop/nitrile-foam-coated-nylon-knit-glove/> Erişim Tarihi: 19.01.2023
- North Face, (2019). Verto S8K model botlar. Erişim Adresi: <https://www.thenorthface.com/shop/mens-vertos8k>. (Erişim Tarihi: 29.03.2019)
- Öz, D. C., Beytullah, Ö. Z., & Nihan, K. A. Y. A. (2018). Alümina aerojellerin fiziksel özellikleri üzerine yaşlandırma ve kurutma süresinin etkisi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(1), 198-211. doi: 10.25092/baunfbed.348344
- Pinto, I., Silvestre, J. D., de Brito, J., & Júlio, M. F. (2020). Environmental impact of the subcritical production of silica aerogels. Journal of Cleaner Production, 252, 119696. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119696.
- Prevolnik, V., Zrim, P. K., & Rijavec, T. (2014). Textile technological properties of laminated silica aerogelblanket. Contemporary Materials, 5(1),117-123. doi: 10.7251/COMEN1401117P
- Projack, (2019) <http://www.projack.net/aerogel/> (15.11.2019)
- Razzaghi, M., Raeisi, H. H., & Bahramian, A. R. (2015). Improvement of Polyester Blanket Thermal Insulator Properties Using Phenolic Aerogel. Procedia Materials Science, 11, 522-526. doi: 10.1016/j.mspro.2015.11.017
- Sen, A. K. (2007). Coated textiles: principles and applications. Crc Press.
- Shaid, A., Fergusson, M., & Wang, L. (2014). Thermophysiological comfort analysis of aerogel nanoparticle incorporated fabric for fire fighter's protective clothing. Chemical and materials engineering, 2(2), 37-43. doi: 10.13189/cme.2014.020203
- Temiz, H., & OLGAR, K. (2017). Doğal ve Yapay Liflerden Üretilen Panellerin Yalıtım Özelliklerinin Araştırılması. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(2), 608-618.
- Tübitak, (2021) Dünyanın En Hafif Katsı: Aerojel. Erişim Adresi:<https://e-dergi.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf?dergiKodu=4&cilt=41&sayi=618&sayfa=60&yazid=26385> (Erişim Tarihi: 18.01.2023)
- TS EN 13171, (2010) Isı yalıtım mamulleri-Binalarda kullanılan-Fabrika yapımı odun lifli (wf) mamuller-Özellikler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 825, (2009) Binalarda Isı Yalıtım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Venkataraman, M., Mishra, R., Kotresh, T. M., Militky, J., & Jamshaid, H. (2016). Aerogels for thermal insulation in high-performance textiles. Textile Progress, 48(2), 55-118. doi: 10.1080/00405167.2016.1179477
- Wei, G., Liu, Y., Zhang, X., & Du, X. (2013). Radiative heat transfer study on silica aerogel and its composite insulation materials. Journal of Non-Crystalline Solids, 362: pp. 231-236. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2012.11.041>

World Economic Forum (2023). Why buildings are the foundation of an energy-efficient future. Erişim Adresi: <https://www.weforum.org/agenda/2021/02/why-the-buildings-of-the-future-are-key-to-an-efficient-energycosystem/#:~:text=Buildings%20are%20responsible%20for%2040,efforts%20to%20tackle%20climate%20change> (Erişim Tarihi: 16.01.2023)

Xie, T., He, Y. L., & Hu, Z. J. (2013). Theoretical study on thermal conductivities of silica aerogel composite insulating material. *International journal of heat and mass transfer*, 58(1-2), 540-552. 1. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.11.016

Yaman, Ö., Şengül, Ö., Selçuk, H., Çalığış, O., Kara, İ., Erdem, Ş., & Özgür, D. (2015). Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH)*, 487(4), 62-75.

Yalteksan, (2019) Levron aerogel ürünleri. Erişim Adresi: <http://yalteksan.com.tr/levron-aerogel/> (Erişim Tarihi: 18.01.2023)

Yeşildal, B. B. (2002). Enerji Korunumu Açısından Dış Duvarlarda Saydam Yalıtım Kullanımın İrdelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Yılmaz, Y. (2013). Farklı başlangıç maddeleri kullanılarak sol-jel yöntemiyle monolitik silika aerogel ve silika aerogel sentezi ve karakterizasyonu. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi*.

Yücel, S. K., Temel, B. TM (2016) Aerojel: Üstün özellikleri, Çeşitleri ve Gelişen Uygulama Alanları.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Atike KÖKEN
Doğum Yeri ve Tarihi : Antalya – 30.09.1986
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Antalya Karatay Lisesi (YDA)
Lisans : Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği (2005-2009)
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği ABD.(2009-2012)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar :

- Bursa Teknik Üniversitesi (2021-)
- DKC Teknik Kaplama Apre Tekstil ve Deri San. Tic. Ltd. Şti. (2017-2021)
- Bursa Ticaret ve Sanayi Odası (2016-2017)
- Bursa Tekstil ve Konfeksiyon Ar-Ge Merkezi (2014-2016)
- Uludağ İhracatçı Birlikleri (2012-2014)

İletişim (e-posta) : atiekoken@gmail.com

Yayınları :

1. Koken, A., Kanik, M. (2023). Investigation of Thermal and Solar Properties of Aerogel Powder Coated Textiles. Materials Science. DOI: 10.5755/j02.ms.32869
2. Köken, A., Kanik, M. (2022). Aerojellerle Isı Yalıtımı ve Tekstil Uygulamaları. Tekstil ve Mühendis, 29(128), 249-260. DOI: 10.7216/teksmuh.1222488