

**AEROJEL TAKVİYESİNİN FARKLI METOTLARLA
TEKSTİL MATERYALİNE AKTARILMASI, TERMAL
VE AKUSTİK YALITIM ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

İstikbal GÜNDOĞDU



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AEROJEL TAKVİYESİNİN FARKLI METOTLARLA TEKSTİL
MATERYALİNE AKTARILMASI, TERMAL VE AKUSTİK YALITIM
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

İstikbal GÜNDOĞDU
0000-0002-8191-6226

Prof. Dr. Y. Dilek KUT
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

İstikbal GÜNDOĞDU tarafından hazırlanan “AEROJEL TAKVİYESİNİN FARKLI METOTLARLA TEKSTİL MATERYALİNE AKTARILMASI, TERMAL VE AKUSTİK YALITIM ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Y. Dilek KUT

- Başkan** : Prof. Dr. Yaşar Dilek KUT İmza
0000-0002-9059-0838
Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı
- Üye** : Prof. Dr. Hasan Basri KOÇER İmza
0000-0003-2612-6712
Bursa Teknik Üniversitesi,
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
Polimer Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
- Üye** : Doç. Dr. Zeynep ÖMEROĞULLARI BAŞYİĞİT İmza
0000-0002-1526-8662
Uludağ Üniversitesi,
İnegöl Meslek Yüksekokulu,
Tekstil, Giyim, Ayakkabı ve Deri Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
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.

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

İstikbal GÜNDOĞDU

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 kullandığını ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayımlanan “**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. Y.Dilek KUT
Tarih

İstikbal GÜNDOĞDU
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

Yüksek Lisans Tezi

AEROJEL TAKVİYESİNİN FARKLI METOTLARLA TEKSTİL MATERYALİNE
AKTARILMASI, TERMAL VE AKUSTİK YALITIM ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

İstikbal GÜNDOĞDU

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Y. Dilek KUT

Otomotiv sektöründe termal ve ses izolasyonu, kullanıcı konforu için gerekli olmasının yanında, özellikle araçlarda aerodinamik ve yakıt tasarrufu açısından da hafif malzemelerin kullanılması için çalışmalar devam etmektedir.

Son yıllarda özellikle ultra gözenekli yapısı ve hafifliğe sahip olan arojeller ile termal ve akustik izolasyonlarda çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada silika, poliimid ve poliimid-silika arojeller sentezlenmiş ve tela ve keçe kombinasyonunda sıkıştırılarak oluşturulan kompozit yapılara farklı şekillerde uygulanmıştır. Uygulama sonucu, arojel içermeyen formlanmış kompozit yapı ile karşılaştırılmıştır.

Böylece inorganik ve organik arojel yapılar ve bunların hibritleri ile yapılan farklı uygulamaların trim malzemelerdeki etkileri değerlendirilecektir.

Anahtar Kelimeler: arojel, silika, poliimid, termal izolasyon, akustik izolasyon, kompozit

2023, xvii + 65 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

Transferring Aerogel Reinforcement to Textile Material with Different Methods,
Investigation of Thermal and Acoustic Insulation Properties

İstikbal GÜNDOĞDU

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

Supervisor: Prof. Dr. Y. Dilek KUT

Application of aerogel reinforcements into textile materials with various methods and investigation of their thermal and acoustic insulation properties

Thermal and acoustic insulation are necessary in the automotive sector, especially in passenger vehicles. Studies continue about usage of lightweight materials in terms of aerodynamics and fuel savings, as well as driving comfort.

In recent years, studies have been carried out on thermal and acoustic insulation, especially with aerogels having ultra-porous structure and lightness.

In this study, silica, polyimide, and polyimide-silica aerogels were synthesized and applied in different procedures to composite structures formed by compression in the combination of interlining and felt. The result of the application was compared with the formed composite structures not containing aerogel.

Thus, the effects of different applications made with inorganic and organic aerogel structures and their hybrids on trim materials will be evaluated.

Key words: aerogel, silica, polyimide, thermal insulation, acoustic isolation, composite
2023, xvii + 65 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması Tübitak-1505 Üniversite-Sanayi İşbirliği Destek Programı kapsamında ‘5200114’ proje numarası ile ‘Aerojel İçeren Formlamaya Uygun Hibrit Kompozit Yapıların Geliştirilmesi, Termal ve Akustik Özelliklerinin Araştırılması’ başlıklı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Projeye verdikleri destekten dolayı TÜBİTAK’a ve Formfleks Otomotiv Yan San. ve Tic. A.Ş. ‘ye teşekkürlerimi sunarım.

Tüm mesleki eğitim hayatım boyunca bana hep yol gösterici, öğretici olan, yıllar sonra yüksek lisans yapmak için beni şevklendiren ve sonsuz destek veren, sabrı ve sevgiyle dolu yaklaşımı için sevgili tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Y. Dilek Kut’a minnet, şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Projede yer aldığım süreçte gösterdikleri yakın ilgi, bilgi paylaşımı ve değerli katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Zeynep Ömeroğulları Başyigit ve Sayın Dr. Cem Ünsal’a, Sayın Dilara Çay’a ve Sayın Sena Arslan’a,

Akustik ölçümlerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Fatih Süvari’ye,

Çalışırken bir yandan bu süreci tamamlayabilmem konusundaki destekleri için; Cengiz Karabulut ve Mazyar Ahrari’ye,

Yüksek Lisans eğitim süreçlerimde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Uzman Kataforez A.Ş., Yıldızlar Yapı Market ve Özel Tunçsiper Okullarına ve çalışma arkadaşlarıma,

Hayatım boyunca beni her koşulda destekleyen, daha fazlasını yapabileceğime inanan ve beni bu yolda motive eden, en büyük varlığım olan sevgili anneme,

Beni aldığım kararlarda hep teşvik etmiş olan sağ omzumdaki kanatlı meleğim babama...
Şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

İstikbal GÜNDOĞDU
.../.../.....

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Akustik.....	4
2.1.1. Ses İle İlgili Temel Kavramlar.....	4
2.1.2. Gürültü Ve Etkileri.....	8
2.1.3. Otomotivde Gürültü Kontrolü.....	9
2.1.4. Empedans tüpü test metodu.....	11
2.2. Termal İletkenlik.....	12
2.2.1. Gözenekliliğin Termal İletkenliğe Etkisi.....	13
2.2.2. Termal İletkenliğin Ölçüm Teknikleri.....	14
2.2.3. Otomotivde Termal İletkenlik.....	16
2.6. Aerojel.....	17
2.6.1. Aerojellerin İçeriklerine Göre Sınıflandırılması.....	19
2.6.2. Aerojellerin Kurutma Şekillerine Göre Sınıflandırılması.....	20
2.6.3. Aerojeller Ve Sentez Adımları.....	21
2.6.4. Aerojellerin Örnek Uygulama Çalışmaları.....	23
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	28
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	28
3.1.1 Keçe.....	28
3.1.2 Tela.....	28
3.1.3. Silika Aerojel Sentezinde Kullanılan Kimyasal Malzemeler.....	28
3.1.4. Poliimid Aerojel Sentezinde Kullanılan Kimyasal Malzemeler.....	29
3.1.5. Silika-Poliimid Hibrit Aerojel Sentezinde Kullanılan Kimyasal Malzemeler.....	31
3.2. Yöntem.....	31
3.2.1. Aerojellerin Sentezlenmesi.....	31
3.2.2. Aerojellerin Toz Formunda Kompozit Yapıya Uygulanması.....	33
3.2.3. Aerojellerin Film Formunda Kompozit Yapıya Uygulanması.....	33
3.2.4. Aerojellerin Kaplama Yöntemi İle Kompozit Yapıya Uygulanması.....	34
3.2.5. Aerojellerin Daldırma Yöntemi İle Kompozit Yapıya Uygulanması.....	35
3.2.6. Süperkritik Kurutma İşlemi.....	35
3.2.7. Isıl Pres İle Form Verme.....	36
3.2.9. Aerojel Aktarılmış Keçe Malzemelerin Termal İletkenlik Ölçümü.....	37
3.2.10. FT-IR Analizi.....	38
3.2.11. SEM Analizi.....	38
3.2.12. TGA Analizi.....	38
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	39
4.1. Aerojelsiz Tela-Keçe Kompozit yapının incelenmesi.....	39
4.2. Toz Formunda Uygulama.....	42
4.3. Film Formunda Uygulama.....	45
4.4. Kaplama Formunda Uygulama.....	48
4.5. Daldırma Formunda Uygulama.....	54

4.6. Sentezlenmiş Olan Aerojel Yapıların TGA Grafiklerinin incelenmesi	60
4.7. Tüm numunelerin termal ve ses iletim değerlerinin karşılaştırılması.....	62
5. SONUÇ.....	66
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	72

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
μm	Mikrometre
A	Dalga genliğini Periyot ve Dalga
E	Ortamın elastiklik modülü (N/m^2)
f	Frekans
I	Sesin yoğunluğu
k	Sabit
K_{cond}	Gaz molekülleri yoluyla ısı iletimi
K_{conv}	Isı taşınımı
K_{rad}	Kızılötesi termal radyasyonu
L	Sesin şiddeti
nm	Nanometre
P	Basınç
P_c	Kritik basınç
R	İdeal gaz sabiti
S_p	Yüzey alanı
T	Periyot
T	Sıcaklık
T_c	Kritik sıcaklık
T_g	Camsı geçiş sıcaklığı
V	Hız (m/sn^2)
V_m	Katının molar hacmi
V_p	Gözenek hacmi
γ_{lv}	Gözenekli sıvının yüzey gerilimi
γ_p	Gözenek yarıçapı
γ_{sl}	Katı-sıvı ara yüzeyinin enerjisi
δ	Yüzeyde adsorbe edilmiş bir katmanın kalınlığı
λ	Dalga boyu
ρ	Ortamın yoğunluğu (kg/m^3)

Kısaltmalar	Açıklama
3D	Üç boyut
ADP	Ortam basıncında kurutma
ATM	Atmosfer
BPDA	3,3',4,4'-Bifenil Tetrakarboksilik Asit Dianhidrit
BTC	Benzentrikarbonil Triklorür
CAFE	Kurumsal Ortalama Yakıt Ekonomisi

CO ₂	Karbondioksit
dB	Desibel
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi
E	Ortamın elastiklik modülü (N/m ²)
EtOH	Etanol
FD	Dondurarak kurutma
FT-IR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
GHz	Gigahertz
HCl	Hidrojen Klorür
Hz	Hertz
K	Kelvin
kHz	Kilohertz
m	Metre
Maks	Maksimum
MeOH	Metanol
MPa	Megapaskal
MTMS	Trimetoksimetilsilan
NH ₄ OH	Amonyum Hidroksit
NMP	N-Metil-2-Pirrolidon
NVH	Gürültü, Titreşim ve Sertlik (Noise, Vibration ve Harshness)
ODA	4,4'-Oksidanilin
OEM	Orijinal Ekipman Üreticileri
Pa	Paskal
PC	Polikarbonat
PCM	Faz değiştiren materyaller
PI	Poliimid
PIA	Poliimid aerojel
PISA	Poliimid Silika aerojel
PMDA	Piromellitik Dianhidrid
PMMA	Poli(metil metakrilat)
PU	Poliüretan
PUR	Poliüretan
PVC	Polivinil klorür
SA	Silika aerojel
SCD	Süperkritik kurutma
SEM	Taramalı Elektron Mikroskopu
Si	Silika
TEOS	Tetraortosilikat
TGA	Termogravimetrik Analizi
TMCS	Trimetil klorosilan
TMOS	Tetrametilortosilikat
TPS	Geçici düzlem kaynağı

UNECE
W
WPUA

Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu
Watt
Su bazlı poliüretan akrilat

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1.	Ses dalgalarının gösterimi a) ses dalgalarının havada oluşturduğu sıkışma ve genişleme, b) atmosfer basıncının altında ve üstündeki basınç değişiminin gösterimi..... 5
Şekil 2.2.	Empedans tüpü test düzeneği..... 11
Şekil 2.3.	(a) TPS metodu şeması (b) Sıcak tel metodu..... 15
Şekil 2.4.	(a) Saf bir maddenin faz diyagramı, (b) Saf CO2 faz diyagramı..... 23
Şekil 3.1.	a) Silika aerojel (SA) toz, b) Poliimid aerojel (PIA) toz, c) Polimid-Silika hibrit aerojel (PISA) toz..... 33
Şekil 3.2.	a) Karışımın kalıplara dökülmesi, b) hazırlanan filmlerin görüntüleri..... 34
Şekil 3.3.	Telaya aerojel uygulamaları (a) PIA, (b) SA, (c)PISA..... 35
Şekil 3.4.	Keçeye Aerojel uygulamaları, (a) SA, (b) PISA, (c) PIA..... 35
Şekil 3.5.	Superex Aero-1000 Süperkritik kurutma sistemi makinası..... 36
Şekil 3.6.	POLMAK-PLM30T – Bursa Teknoloji Koordinasyon Arge Merkezi Termoset- Termoplastik üretim hattı..... 36
Şekil 3.7.	Isıl pres işlemi parametreleri..... 37
Şekil 3.8.	Formlanmış numuneler..... 37
Şekil 3.9.	Alambeta cihazı..... 38
Şekil 4.1.	Aerojelsiz Tela ve Keçe kompozit malzeme FT-IR diyagramları (a) Tela yüzü (b) Keçe yüzü..... 40
Şekil 4.2.	(a) polyester, (b) takviyeli polyester, (c) kaplı polyesterin Fourier dönüşümü kızılötesi spektrumları (FT-IR)..... 40
Şekil 4.3.	Aerojel içermeyen keçeye ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 µm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 µm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 µm çözünme aralığı (d)..... 41
Şekil 4.4.	Aerojel içermeyen telaya ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 µm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 µm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 µm çözünme aralığı (d)..... 42
Şekil 4.5.	Keçe tela kompozit yapı ve %10 Aerojel ile formlanmış yapıların ses yutuculuk katsayılarının karşılaştırılması..... 43
Şekil 4.6.	Keçe tela kompozit yapı ile %10 Aerojel ile formlanmış yapıların termal iletkenliklerinin karşılaştırılması..... 44
Şekil 4.7.	Keçe PU film tela kompozit yapı ve %1 Aerojel katkılı PU filmler ile formlanmış yapıların ses yutuculuk katsayılarının karşılaştırılması..... 46
Şekil 4.8.	Keçe PU film tela kompozit yapı ve %1 Aerojel katkılı PU filmler ile formlanmış yapıların termal iletkenliklerinin karşılaştırılması..... 47

Şekil 4.9.	PIA içeren telaya ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 µm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 µm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 µm çözünme aralığı (d).....	48
Şekil 4.10.	PIA içeren telaya ait FT-IR diyagramı (a), ve aerojel içermeyen telanın FT-IR diyagramlarının karşılaştırılması (b).....	49
Şekil 4.11.	Si aerojel içeren telaya ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 µm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 µm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 µm çözünme aralığı (d)....	50
Şekil 4.12.	SA içeren telaya ait FT-IR diyagramı (a), ve aerojel içermeyen telanın FT-IR diyagramlarının karşılaştırılması (b).....	50
Şekil 4.13.	PISA içeren telaya ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 µm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 µm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 µm çözünme aralığı (d).....	51
Şekil 4.14.	PISA içeren tela'ya ait FT-IR diyagramı (a), ve aerojel içermeyen tela'nın FT-IR diyagramlarının karşılaştırılması (b).....	52
Şekil 4.15.	Aerojel içermeyen keçe tela kompozit yapı ve Aerojel katkılı tela ile formlanmış yapıların ses yutuculuk katsayılarının karşılaştırılması.....	53
Şekil 4.16.	Aerojel katkısız keçe tela kompozit yapı ve Aerojel katkılı tela ile formlanmış yapıların termal iletkenliklerinin karşılaştırılması.....	54
Şekil 4.17.	PIA içeren keçeye ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 µm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 µm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 µm çözünme aralığı (d).....	55
Şekil 4.18.	PIA içeren keçeye ait FT-IR diyagramı (a), ve aerojel içermeyen keçenin FT-IR diyagramlarının karşılaştırılması (b).....	55
Şekil 4.19.	SA içeren keçeye ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 µm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 µm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 µm çözünme aralığı (d).....	56
Şekil 4.20.	SA içeren keçeye ait FT-IR diyagramı (a), ve aerojel içermeyen keçenin FT-IR diyagramlarının karşılaştırılması (b).....	57
Şekil 4.21.	PISA içeren keçeye ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 µm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 µm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 µm çözünme aralığı (d).....	57

Şekil 4.22.	Aerojel içermeyen keçe tela kompozit yapı ve Aerojel katkılı tela keçe formlanmış yapıların ses yutuculuk katsayılarının karşılaştırılması.....	58
Şekil 4.23.	Aerojel katkısız keçe tela kompozit yapı ve Aerojel katkılı tela keçe formlanmış yapıların termal iletkenliklerinin karşılaştırılması.....	59
Şekil 4.24.	SA'ya ait TGA analiz grafiği.....	60
Şekil 4.25.	PIA'ya ait TGA analiz grafiği.....	61
Şekil 4.26.	PISA'ya ait TGA analiz grafiği.....	61
Şekil 4.27.	Numunelerin termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması..	63
Şekil 4.28.	Numunelerin ses yutuculuk katsayılarının karşılaştırılması...	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Bazı ses ve gürültü kaynaklarının ses gücü ve ses gücü düzeyleri.....	8
Çizelge 2.2. Gürültü değerleri ve insan üzerine etkileri.....	9
Çizelge 3.1. Silika aerojel sentezinde kullanılan kimyasallar.....	29
Çizelge 3.2. Poliimid aerojel sentezinde kullanılan kimyasallar.....	30
Çizelge 3.3. Çalışma kapsamında hazırlanan kompozit numuneler ve içerikleri.....	32
Çizelge 4.1. Termal ölçüm sonuçları tablosu.....	62

1. GİRİŞ

Ulaşım, modern yaşamın temel bir gereksinimidir, ancak geleneksel içten yanmalı motor hızla yerini iklim değişikliği sürecinde daha çevreci bir teknolojiye sahip olan elektrikli araçlara bırakmaktadır. Elektrikli araçlar sıfır egzoz emisyonuna sahiptir ve çevre için çok daha iyidir.

Fosil yakıtlar gelecekte tükenecektir. Ayrıca kullanımları sonucunda oluşacak etkilerden dünyamızı gelecek nesiller için de korumamız gerekmektedir. Benzinli ve dizel araçlardan kaynaklanan zehirli emisyonlar, insan sağlığı üzerinde uzun vadeli olumsuz etkilere neden olmaktadır. Elektrikli araçların emisyon etkisi, benzinli veya dizel araçlara göre çok daha düşüktür.

Verimlilik açısından, elektrikli araçlar tekerleklerle güç sağlamak için elektrik enerjisinin yaklaşık %60'ını şebekeden alabilir, ancak benzinli veya dizel arabalar yakıtta depolanan enerjinin yalnızca %17 ila %21'ini aktararak tekerlekleri çevirebilir. Bu yaklaşık %80'lik bir israftır. Elektrikli araçlar sıfır egzoz emisyonuna sahiptir, ancak elektrik üretimi dikkate alındığında bile, benzinli veya dizel araçlar, ortalama elektrik motorlu araçlardan neredeyse 3 kat daha fazla karbondioksit yaymaktadır. Ülkemiz iklim değişikliği sürecinde sürdürülebilir ekonomik büyümeyi yeşil mutabakat eylem planı ile desteklemektedir. Ayrıca petrol ithalatçısı konumunda olmamız ekonomimizi olumsuz yönde etkilemektedir. Son dönemde TOGG markası ile atılan adımlar ülkemize elektrikli araç pazarında küresel bir oyuncu olma imkânı vermiştir.

Bu nedenle elektrikli araçlar için orijinal ürün üreten (OEM) yedek parça üreticilerinin de bu yönde geliştirmeler yapmaları gerekmektedir. Bu tez çalışmasını gerçekleştirdiğimiz 5200114 nolu Üniversite-Sanayi İşbirliği kapsamında gerçekleştirilen TÜBİTAK projesinde otomotiv sektörü için izolatörler üreten Formfleks Otomotiv Yan Sanayi ve Tic. A.Ş ile keçe ve tela malzemelere kaplama, daldırma, film ve toz formda monolitik ve hibrit aerogellerin aktarımı gerçekleştirilmiştir.

Bataryalar elektrikli araçlarda en önemli bileşendir. Depolanan enerji miktarı araç menziline etkilemektedir. Elektrikli araçlarda daha büyük bataryaların kullanılması araç ağırlığını arttırmakta ve bu durum enerji verimliliğini de düşürmektedir. Bataryalarda özellikle kapasite ile ilgili iki kavram önemlidir. Bunlar enerji yoğunluğu ve güç yoğunluğudur. Enerji yoğunluğu (watt.saat/kg) ile depolanan elektrik enerjisi, güç yoğunluğu(enerji aktarma hızı) ile bu enerjinin kullanılma hızı ifade edilmektedir.

Otomotiv üreticileri araçlarda gürültü kontrolünü sağlayabilmek açısından tavan döşemeleri, kapı panelleri, zemin kaplamaları, ön paneller ve bagaj kaplamaları gibi çeşitli ses emici sistemler kullanarak piyasadaki rekabet gücünü ve kullanım sırasındaki konfor beklentilerini arttırmayı sağlamaktadırlar. Ayrıca egzoz, motor ve lastiklerden kaynaklanan gürültüyü de azaltmak için çalışmalar yapılmaktadır. (R. Padhye ve R. Nayak, 2016)

Enerji verimliliğini arttırmak için araç içinde kullanılan NVH (Noise Vibration Harshness/Gürültü Titreşim Darbe) izolasyonu/sönümleme sağlayan, iç trim, dış trim, taşıt altı koruma, ısı kalkanı gibi parçalarda kullanılan malzemelerin ağırlığının da azaltılması gerekmektedir.

Ancak kullanılmakta olan malzemenin kalınlığı ile ilgili sınırlamalar mevcuttur. Aynı şekilde gürültü miktarı aracın hızı ve sürüş koşullarıyla değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle kalınlığı azaltılmış hafif malzemeler ile etkin bir gürültü kontrolü sağlanması gereklidir. Ayrıca bariyerler, ses emiciler, sönümleyiciler ve perdelerin birlikte kullanılmasıyla da etkinliği geliştirilmiş bir gürültü kontrolü sağlanabilir (R. Padhye ve R. Nayak, 2016).

Gözenekli yapılar insandan hayvana doğada çok fazla bulunmaktadır. Özellikle tekstilde kullanılmakta olan liflerden, meydana getirilen kumaşlara kadar her bir yapıda gözenekli yapı mevcuttur. Ancak tekstil yüzeylerindeki gözeneklilik mikro seviyeler düzeyindedir. (F. Azam ve diğerleri, 2022).

Aerogeller nano-gözenekli hafif yapılardır. Bu tez çalışmasında aerogellerin yüksek spesifik yüzey alanı, yüksek gözeneklilik, düşük yoğunluk, iyi termal ve akustik yalıtım özelliklerinden faydalanılması amaçlanmıştır.

Günümüzde gittikçe artan bir kullanım alanına sahip olan aerogeller, 1931 yılında Kistler'in sentezlediği yüksek 3B gözenekli, ultra hafif ve ultra termal yalıtım özelliklere sahip yapılar olmakla birlikte sadece termal özellik kazandırmak amacıyla değil, aynı zamanda hidrofilité özelliklerinin veya akustik özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla da kullanılmaktadır. Bu nedenle günümüzde çadır, dış mekân giysileri, askeri üniformalar, uzay araçları, astronot giysileri, otomotiv, binalar, boru hatlarının yalıtımında, paketlemede vb. yaygın olarak kullanılmaktadır. (Q. Liu ve diğeri, 2021)

Her ne kadar aerogellerle ilgili ilk makalenin yayınlanması yaklaşık bundan 90 yıl önceye dayansa da, takip eden 50 yıl boyunca pek fazla ilgi uyandırmamıştır. Son 40 yıldır oldukça artan bir ilgiye sahiptir ve özellikle bu yüzyılda tekstil ürünlerine uygulama konusunda kendisine bir alan bulmuştur. (S. J. McNeil, H. Gupta, 2022)

Bu nedenle özellikle otomotiv sektöründe araçların motor ve iç kabinlerinde termal ve akustik yalıtımın sağlanması amacıyla trim olarak kullanılmakta olan dokunmamış yüzeylerin termal ve akustik performanslarının iyileştirilmesi için aerogeller ile yapılacak uygulamanın, sonuçları olumlu olarak etkileyeceği düşünülmektedir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Akustik

Akustik kelime anlamı olarak yankı bilimi, ses dağılımı ve ses ve işitmeye ilgili bilim olarak Türk Dil Kurumu sözlüklerinde ifade edilmektedir. Yunanca akustikos kökeninden gelmektedir. Bu da işitmek ya da işitmeye hazır olmak anlamına gelmektedir. (R. Nayak ve R. Padhye, 2016)

Akustik bakış açısından, ses ve gürültü atmosferik basınç dalgalanmaları ile benzerdir. Kişiye göre algılama özel olması nedeniyle bir kişi için ses olan diğeri için gürültü olabilir. (Colin H. Hansen ve diğeri, 2017)

2.1.1. Ses İle İlgili Temel Kavramlar

Bir ortam içerisinde herhangi bir şekilde oluşturulan sarsıntının yayılmasına DALGA OLAYI denir. Dalga olayında dalgalar, genlik, frekans ve dalga boyu kavramları ile karakterize edilirler. Ve bu titreşim hareketini yapan noktanın uzanımı DALGA DENKLEMİ ile ifade edilir. (B. Turan, 2022)

$$\Psi = A \sin 2\Pi (t / T - r / \lambda) \quad (2.1)$$

Bu denklemde A dalga genliğini, T Periyot ve λ Dalga boyunu ifade etmektedir.

Bir dalga olayında;

- 1- Soğrulma, dalganın şiddetinin azalması olayıdır. Bu ortamın özelliklerine bağlıdır.
- 2- Yansıma, dalgaların geldiği ortama geri dönmesi olayıdır. Bu tamamen olabileceği gibi kısmi olarak da gerçekleşebilir.
- 3- Kırılma, dalganın geçiş yaptığı ikinci ortamda farklı bir yol takip etmesi olayıdır.
- 4- Kırınım, dalganın önüne bir engel geldiğinde engelin arkasında dalgaların gözlenmesi olayıdır.

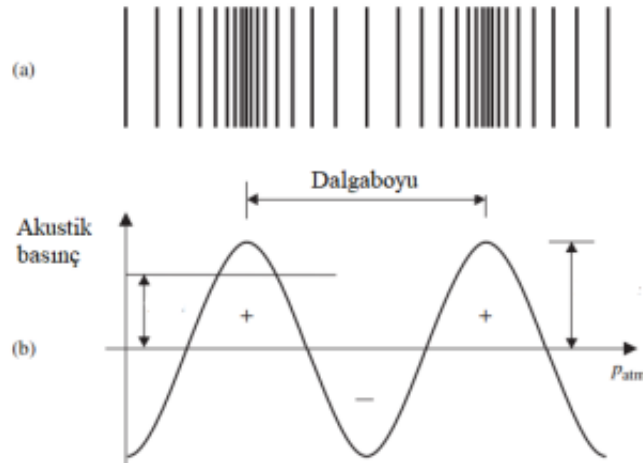
- 5- Girişim, ikiden fazla dalganın aynı ortamda hareket ederken birleşip frekanslarına bağlı olarak yeni bir dalga oluşturarak hareket etmesi olayıdır. (B. Turan, 2022)

Nesnel anlamda ses akustik sinirimizi uyarabilen havadaki basınç dalgaları olarak tanımlanabilir. Bu dalgalar havada meydana gelen titreşimlerden kaynaklanmaktadır. Frekans ve şiddet açısından bu dalgaları ses olarak algılarız. Kulağımız 16 Hz (s- 1) ile 16000 Hz frekans aralığındaki seslere duyarlıdır. Duyarlığı sesin frekansına bağlı olarak değişim göstermektedir. İnsan kulağının algılayabildiği en küçük enerji miktarı 10- 12 W/m², dayanabildiği ve duyum yapabildiği en yüksek şiddet ise 1 W/m² lik bir şiddete karşılık gelmektedir. Kulağımızın duyarlılığı 3000 Hz frekanslı ses için en büyüktür. Ses, oranlama ile logaritmik olarak ve desibel cinsinden şiddet seviyesi titreşim enerjisinin anlatımında kullanılmaktadır. (B. Turan, 2022)

Ortama göre ses dalgalarının yayılma hızları da farklılık göstermektedir. Buna göre;

$$V_{\text{kati}} > V_{\text{sıvı}} > V_{\text{gaz}} \quad (2.2)$$

olarak gösterilebilir. (B. Turan, 2022)



Şekil 2.1. Ses dalgalarının gösterimi a) ses dalgalarının havada oluşturduğu sıkışma ve genişleme, b) atmosfer basıncının altında ve üstündeki basınç değişiminin gösterimi (Christopher L. Morfey, 2000).

Ses, Şekil 2.1a'da gösterildiği gibi, beynimiz tarafından ses olarak algılanan boyuna dalgalar şeklinde yayılır. (Colin H. Hansen ve diğerleri, 2017).

Ses dalgalarının hızı (c) ortamın fiziksel özelliklerine bağlı bir sabittir ve

$$c = k \sqrt{E/\rho} \quad (2.3)$$

k : Bir sabit

E : Ortamın elastiklik modülü (N/m²)

ρ : Ortamın yoğunluğu (kg/m³)

olarak hesaplanır. E ve ρ, basınç ve sıcaklığın bir fonksiyonudur ve bu nedenle ortamdaki ses hızı da sıcaklık ve basınç ile değişiklik gösterir. (E. Bilgiç ve E. Sadıkhov, 1994)

Dalga olayında dalga hareketinin tam olarak döngüsünün sağlanması için geçen süreye periyot (T) denir. Frekans (f) ise hareketin bir saniyede kaç kez tekrarlandığını ifade eder. Birimi Hertz (Hz yani 1/saniye) dir ve 1/T'ye eşittir. Ses hızı, frekans ile dalga boyunun (λ) çarpımıdır. Frekans ve dalga boyu ters orantılıdır. Yani sesin hızı sabit olduğundan frekans arttıkça dalga boyunda küçülme meydana gelir. Frekans küçüldükçe dalga boyunda artış meydana gelir. Bu durumda ses hızı;

$$V = \lambda.f \quad (2.4)$$

olarak ifade edilir. (E. Bilgiç ve E. Sadıkhov, 1994)

Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliğinde “Desibel (dB) birbirinden merteye farklılıkları gösteren, nicelikleri anlamlı olarak ifade etmede kullanılan logaritmik bir ölçektir. dBA ise İnsan işitme sisteminin düşük şiddetteki seslere karşı en çok hassas olduğu orta ve yüksek frekanslara daha fazla ağırlık veren, A ağırlıklı ses seviyesi olarak tabir edilen ve gürültünün etkilenim değerlendirilmesi ve kontrolünde yaygın olarak kullanılan bir ses seviyesi ölçütünü ifade etmektedir.” şeklinde tanımlanmıştır. (Anonim, 2022)

Desibel, bel biriminin alt birimidir. 1bel = 10 dB'dir. Bu birim 10'dan 1'e iki ses arasındaki güç veya yoğunluğun oranını ifade eder ve Alexander Graham Bell'in ismine yapılan atıftan gelmektedir. Güç oranı, aradaki logaritmik bağlantı nedeniyle, 10:1 = 1bel, 100:1=2bel ve 1000:1=3bel'dir. (E. Bilgiç ve E. Sadıkhov, 1994)

$$\beta \text{ (dB)} = 10 \log(I_1/I_0) \quad (2.5)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada I_1 Sesin yoğunluğunu, I_0 ise referans sesin yoğunluğunu ifade etmektedir. Ses yoğunluğu sesin basıncı ile sesin hareket ettiği ortamdaki partikül büyüklüğünün çarpımına eşittir. (E. Bilgiç ve E. Sadıkhov, 1994)

$$I = P \times v \quad (2.6)$$

İnsan kulağı sesleri lineer ölçekle değil Logaritmik ölçekle duymaktadır. Bu nedenle akustik olarak ses büyüklüklerinin ölçülmesinde Desibel (dB) kullanılmaktadır.

Sesin akustik gücünün ifadesinde Watt (W) birimi kullanılmaktadır. Bunun nedeni ise sesin akustik dalgalar şeklinde enerji yaymasıdır. İçerilen güç enerjinin zamana göre oranı ile ifade edilmektedir. Bazı seslerin dB ve W değerleri çizelge 2.1'de verilmiştir.

Bir ses kaynağının ses gücü;

$$L_w = 10\log(W_1/W_0) \quad (2.7)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada referans güç düzeyi $W_0 = 10^{-12}$ Watt olarak alınmaktadır.

Ses gücü ve ses şiddeti ses basıncının karesi ile orantılıdır. Burada referans basınç düzeyi $P_0 = 20\mu\text{Pa}$ olarak kabul edilmektedir. (E. Bilgiç ve E. Sadıkhov, 1994)

$$L_p = 10\log(P_1/P_0)^2 = 20\log(P_1/P_0) \quad (2.8)$$

Çizelge 2.1 Bazı ses ve gürültü kaynaklarının ses gücü ve ses gücü düzeyleri (E. Bilgiç ve E. Sadikhov, 1994)

KAYNAK	SES GÜCÜ (W)	SES GÜCÜ DÜZEYİ (dB, 10^{-12} Watt)
Fısıltı	10^{-9}	30
Normal konuşma	10^{-5}	70
Bağırarak konuşma	10^{-3}	90
Kamyon kornası	10^{-1}	110
Pervaneli uçak motoru	1	120
Senfoni orkestrası	10	130
Dört pervaneli uçak	100	140
Dört jet motorlu uçak	5×10^4	167
Satürn roketi	5×10^7	197

2.1.2. Gürültü Ve Etkileri

Ses; tüm Dünya’da var olan ve asla kaçamayacağımız bir olgudur. Ancak teknolojinin ilerlemesi ve popülasyonun artması ile birlikte mevcut yaşamımızda seslerin çoğalması beraberinde gürültüyü meydana getirmiştir. Gürültü, istenmeyen ses olarak tanımlanmaktadır. (R. Nayak veR. Padhye, 2016)

İnsanoğlu yaşamı içerisinde konfor ihtiyaçlarını sağlamak açısından bazı gerekliliklere ihtiyaç duyar. Bunlardan biri de yaşam alanları içerisinde gürültünün önlenmesidir. Gürültüye maruz kalan kişilerde yorgunluk ve gürültünün şiddetine bağlı olarak işitme kayıpları görülebilmektedir. (Çizelge2.2)

Çizelge 2.2 Gürültü değerleri ve insan üzerine etkileri, Anonim (2011)

30-65 dBA	I. Derecedeki Gürültüler Konforsuzluk Rahatsızlık Sıkılma Duygusu Kızgınlık Konsantrasyon ve Uyku Bozukluğu
65-90 dBA	II. Derecedeki Gürültüler Kalp atışının değişimi Solunum hızlanması Beyindeki basıncın azalması
90-120 dBA	III. Derecedeki Gürültüler Baş ağrısı
120-140 dBA	IV. Derecedeki Gürültüler İç kulakta bozukluk
140 > dBA	V. Derece Gürültüler Kulak zarının patlaması

M. Oh, K. Shin ve arkadaşları (2019) Kore’de yapmış oldukları araştırmada, yüksek gürültü seviyesinin (dB(A)) serebrovasküler hastalığı, hipertansiyonu ve kalp hastalığını önemli ölçüde etkilediğini doğrulamışlardır. Araştırmaya göre gürültünün 1 dB(A) artışında serebrovasküler hastalıkta %0,66, hipertansiyonda %0,17 ve kalp hastalığında %0,38 oranında hastaneye yatış sayısının arttığını saptamışlardır. Bu sonuçlardan da gürültünün insan üzerindeki etkilerinin ne kadar önemli olduğu görülmektedir. (M. Oh, K. Shin ve diğerleri, 2019)

Bu nedenle Akustik tekstillere gereksinim özellikle gürültünün kontrolünün sağlanması açısından her geçen gün artmaktadır.

2.1.3. Otomotivde Gürültü Kontrolü

Araç üreticileri özellikle piyasadaki rekabet şartları ve katma değer sağlaması açısından gürültü kontrolüne özellikle önem vermektedirler. Gürültü kontrolünün sağlanabilmesi amacıyla dışarıdan gelen gürültünün kesilmesi açısından baş üstü, kapı panelleri, zemin

kaplamaları gibi bölümlerin haricinde egzoz, motor ve lastikler gibi bölümlerden gelecek gürültülerin de azaltılması yönünde çalışmalar yapmaktadırlar. Gürültü kontrolünün, ince ve hafif materyallerle sağlanmasına gereksinim vardır. (R. Nayak ve R. Padhye, 2016)

Gürültü emiciler gürültü seviyesini azaltmak, yankılanmayı ortadan kaldırmak amacıyla kullanılmaktadır. Sesin emilimi için kullanılan ana malzemeler gözenekli emiciler ve panel emicilerdir. Boşluklar, gözenekler veya kanallar içeren gözenekli emiciler, akustik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar lifli granüller ya da hücreli malzemeler olabilmektedir. (W. Sun ve arkadaşları, 2022)

Gözenekli malzemelerde ses dalgaları yapıya kolayca girmekte ve ses basıncı ile malzeme gözenekleri içerisinden geçerken hava molekülleri de bu basınç ile ses dalgasının frekansında salınım göstermektedir. Bu hava molekülleri salınım esnasında lif duvarlarıyla etkileşime girerek molekülün kinetik enerjisi, sürtünme ile lif duvarında ısı enerjisine dönüşmektedir. Bu sıcaklık dalgalanmaları ve momentumun etkisi ile de ses enerjisinin yalıtımı meydana gelmektedir. Bu nedenle elyaf yüzey pürüzlülüğü ve yüzey alanının artması yapı içerisindeki kıvrımlılığın artması ile ses yalıtımının artırılması için uygulanan temel prensiptir. Kıvrımlılık ise malzemenin kalınlığından bağımsız olarak geçiş yolunun gözenekler boyunca uzamasını sağlamaktadır. (J.W.W.Madushika ve W.D.G.Lanarolle, 2022)

Günümüzde özellikle teknik tekstillere olan talebin artması nedeniyle çeşitli tekstil yüzeylerinde istenilen özellikler doğal olarak veya fiziksel ve kimyasal özellikler kazanılarak elde edilebilmektedir. İç yapısal özellikler, gözeneklilik ve geçirgenlik gibi parametreler buradaki en önemli araştırma konularıdır. (F. Azam ve diğerleri, 2022)

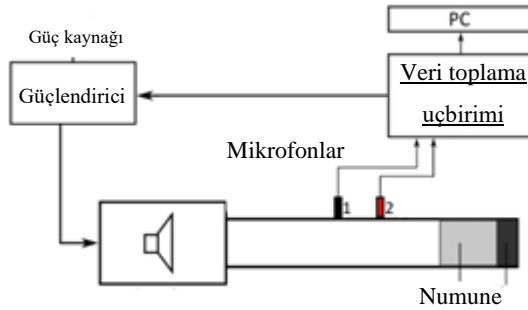
Tüm tekstil yüzeyleri ister dokuma, örme, ister dokunmamış tekstil yüzeyi olsun gözenekli bir yapıya sahiptir. F.Azam ve arkadaşları, genel olarak liflerin 35 μm – 66 μm arası bir gözenek boyutuna sahip olduklarını, mikro denye kalınlığındaki liflerde ise bu boyutun 12 μm ile 25 μm arasında olduğunu belirtmektedirler. Dokuma yapılarda ise bu durum kumaşın yapısı ile değişmektedir. Burada iplik özellikleri, sıklıklar ve örgü yapısı gözenek boyutunu etkilemektedir. Örme yapılarda ise yapının fazla esnek olması

nedeniyle tam tanımlama yapılamamaktadır. Ancak dokunmamış yüzeylerde gözenek boyutları 1 µm ile 500 µm arasında değişmektedir. (F. Azam ve diğerleri, 2022)

Tekstil ürünlerinin kimyasal ya da fiziksel işlemler sonucunda gürültü emiş performansları artırılabilir. Lif modifikasyonları veya kimyasal işlemler yeni lif çeşitlerinin bulunmasından daha az maliyetli olacaktır. Fiziksel modifikasyonlar olarak, mikro lifler, nano lifler, içi boş lifler, bikomponent lifler, kıvrım verme, kimyasal modifikasyonlar olarak, aerojel uygulamaları, alkali uygulamaları ve fiziko-kimyasal modifikasyon olarak plazma uygulamaları sayılabilir. (J.W.W.Madushika ve W.D.G.Lanarolle, 2022)

UNECE Dünya Forumu (WP.29), 24 Haziran 2015 tarihinde, Araç Mevzuatının Uyumlaştırılması amacıyla, araç gürültüsüne ilişkin UN R51.03'ü kabul etmiş ve UN R51.03, Ocak 2016'da resmi olarak yayınlanmıştır. 1 Temmuz 2016 tarihinden itibaren araçlar için gürültü limitleri üç adımda azaltılmaktadır. Yeni test yöntemi ile, belirli araç kategorilerinin dış gürültüsünü dünya çapındaki tipik kentsel trafik koşullarında daha gerçekçi bir şekilde yansıtmaya çalışılmıştır. Bu sayede sadece araçlardaki iç konfor amaçlı ses yalıtımı ile birlikte çevresel etki anlamında gürültünün azaltılmasında çevreye yayılan araç gürültü etkilerinin daha gerçekçi olması ve iyileştirilmesinin sağlanması amaçlanmıştır. (D. Xie ve diğerleri, 2022)

2.1.4. Empedans tüpü test metodu



Şekil 2.2. Empedans tüpü test düzeneği (Cai, Z., ve diğerleri, 2022)

Empedans t p metodu; empedans tüpünde bulunan mikrofonlar arasında meydana gelen ses basınca farkının  l lmesi prensibine dayanır. Ses yutumu katsayısının hesaplanması için toplanan veriler bilgisayara aktarılarak sonuçlar bir grafik yardımı ile değerlendirilir. (K  kalli  zt rk, M., ve diğerleri, 2010)

2.2. Termal İletkenlik

20. yüzyılın en büyük mühendislik başarıları arasında otomobil ve uçak geliştirme, ısıtma ve soğutma sistemlerinin, elektronik ekipmanların (orneğin televizyon, cep telefonları, bilgisayarlar) ve endüstri otomasyonunun artmasıyla bağlantılı olarak elektrifikasyon ve internet yer alıyor. Bu gelişmeler, petrol ve doğal gaz çıkarma ve arıtma teknolojilerinin ve nükleer teknolojilerin paralel gelişimi ile geçtiğimiz yüzyılda kısmen üzülen enerji sektörü üzerinde büyük bir baskı oluşturmaktadır. Birincisi sınırlı kaynak mevcudiyetine sahipken, ikinci seçenek birçok kısıtlama bulmuş ve tehlikeli atıkların ve felaket olaylarının gezegen ve insanlar üzerindeki ciddi etkileri nedeniyle toplum tarafından güvensizlikle karşı karşıya kalmıştır. Bu nedenle, enerji mevcudiyeti sorunu bu yüzyıla da sıçramış ve günümüzde temiz su kıtlığı ile birlikte 21. yüzyılın en büyük sorunu haline gelmiştir. (B. Merillas ve diğerleri, 2022)

Ekonominin tüm sektörlerini etkileyen enerji krizi, uluslararası kuruluşları ve h k metleri, hala verimlilik kısıtlamaları olmasına rağmen, yenilenebilir ve temiz enerjilerin geliştirilmesine büyük bir parasal çaba harcamaya itmektedir. Yine de enerjinin verimli yönetimi ve kullanımı her zaman gündemde kalmaktadır. (B. Merillas ve diğerleri, 2022)

Bu nedenle aerojeller, hala daha pahalı bir seçenek olmalarına rağmen, 12–20 mW/ (mK) gibi çok düşük termal iletkenlikleri nedeniyle pazarda yavaş yavaş yer edinmektedir. (B. Merillas ve diğerleri, 2022)

Ortam sıcaklığı ve basıncında termal iletkenliğin havadan daha düşük olması için, hava/gaz ile dolu çok yüksek gözenekli bir katı malzemeye ihtiyaç vardır. Gözenekli ağ+ gözeneklerin içindeki havanın/gazın konvektif/iletken ısı transfer yollarını bloke edecek

şekilde tasarlanmış, çok düşük bir katı termal iletkenliğe sahip olabilen bir 3D katı ağdan oluşmalıdır. Bu, havanınkinden çok daha düşük termal iletkenliklere ulaşabilen termal süper yalıtım malzemelerinin özelliğidir; gözenekli bir nano yapı ile elde edilebilir, yani ortalama gözenek boyutları 66 nm'nin (ortam sıcaklığında kısıtlama olmadan hava moleküllerinin ortalama serbest yolu (MFP)) altındadır. Daha yüksek ısı yalıtım özelliklerine ve düşük maliyetlere sahip katı türü, polimerler ve seramiklerdir (özellikle amorf silika), bunların köpükleri, en düşük ısı iletkenlik değerlerine sahip malzeme yapılarıdır. (B. Merillas ve diğerleri, 2022).

2.2.1. Gözenekliliğin Termal İletkenliğe Etkisi

Isı transferinin gözenekli bir yapıdan geçiş yolu oldukça karmaşıktır ve derinden gözeneklilik değerine, gözeneklerin tipine (hücresele, rastgele, hiyerarşik) ve bunların birbirine bağlanabilirliğine (açık veya kapalı gözenekler) bağlıdır. Daha verimli malzemelerin tasarımı için yönergeler oluşturmak amacıyla bu karmaşık sistemlerin termal iletkenliğinin modellenmesi çok önemli bir ihtiyaçtır. Ek olarak, ölçüm yöntemlerinin güvenilirliği ve numunelerin uygulanan koşulları/boyutu ister geçici ister kararlı hal ısı transferi seçenekleriyle olsun, doğru değerler elde etmek için son derece önemlidir. (B. Merillas ve diğerleri, 2022)

Gözenekli yalıtım malzemelerinde ısı transferi, katı matris boyunca ve mikro/nano ölçekli gözenekler içindeki gaz molekülleri yoluyla ısı iletimini (K_{cond}), gözeneklerdeki ısı taşınımını (K_{conv}) ve kızılötesi termal radyasyonu (K_{rad}) içerir. Genel olarak, gözenekli bir yapının etkin termal iletkenliği,

$$K_e = K_{cond} + K_{conv} + K_{rad} \quad (2.9)$$

olarak tahmin edilebilir. Gözenek boyutu 4 mm'den küçükse, gözeneklerdeki konvektif ısı transferi göz ardı edilebilir. Gözenekli yapılarda ışınım ile ısı transferi esas olarak içsel optik özellikleri (örneğin, karmaşık kırılma indisi) ve iç mimarileri tarafından belirlenir. Gözenekli yapıların ışınım termal iletkenliği, yapı optik olarak kalın olduğunda (optik kalınlık > 5) Rosseland yaklaşımına dayalı olarak değerlendirilebilir. Uzun dalga

boylarında ($> 5 \mu\text{m}$) güçlü absorpsiyon nedeniyle, silika aerojeller, organik aerojeller, seramik aerojeller, polimer bazlı köpükler (örneğin; polistiren köpük, poliüretan köpük), karbon-bazlı köpükler (karbon aerojeller), metal köpükler ve biyokütle bazlı köpüklerde (örneğin; sıcaklık yüksek veya basınç düşük olduğunda) ışınımla birlikte ısı transferi daha baskın hale gelecektir. (B. Merillas ve diğerleri, 2022), (H. Liua ve X. Zhao. 2021)

Mikronun altındaki hücreler/gözenekler için gaz halindeki termal iletkenlik çok azalmaktadır. Daha önce bahsedildiği gibi, gaz, küçük hücreler/gözenekler içinde tutulur, yani gaz MFP'lerine (atmosfer basıncında ve oda sıcaklığında hava için 66 nm) benzer boyutlarda bir boşluk içinde tutulur, bu da gazın termal iletkenliğini azaltır, (B. Merillas ve diğerleri, 2022)

Birim hücre modellerinde katı fazın termal iletkenliği, komşu yapı blokları arasındaki arayüzler, katı matris boyunca ilerleyen ısı transfer yolu ve boyut etkisi nedeniyle genellikle yapı bloğunun içsel termal iletkenliğinden çok daha küçüktür. Katı fazın ısı iletkenliği, gözenekli yapıların ölçülen ısı iletkenliği veya sayısal/teorik hesaplamalarla elde edilebilir. Örneğin, silika aerojeli için birim hücre modelinde benimsenen katı termal iletkenliğinin, silika parçacıklarının içsel termal iletkenliğinden ($\sim 1,34 \text{ W}/(\text{mK})$) çok daha küçük olan $\sim 0,13 \text{ W}/(\text{mK})$ olduğu tahmin edilmiştir. (H. Liua ve X. Zhao. 2021)

2.2.2. Termal İletkenliğin Ölçüm Teknikleri

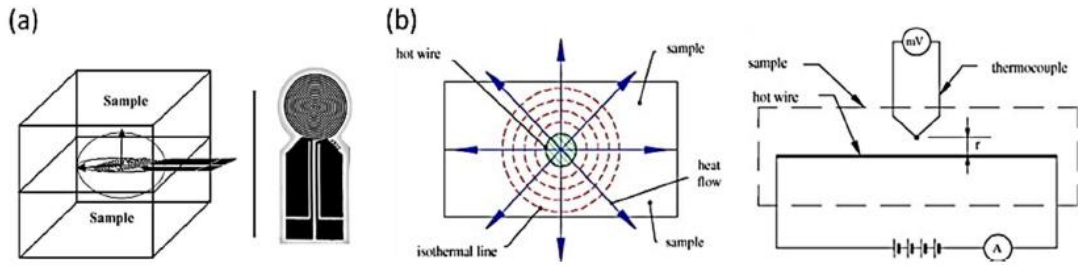
Yalıtkan gözenekli malzemelerin sentezlenmesine olan yüksek ilgi nedeniyle, termal iletkenliklerini ölçmeye odaklanan çeşitli teknikler veya durum uyarlamaları geliştirilmiştir. Bu tekniklerin ana sınıflandırması, geçici yöntemler veya kararlı durum yöntemleri olmak üzere ısı akışının rejimine dayanmaktadır. (B. Merillas ve diğerleri, 2022)

Kısa Süreli Dalga İle Ölçüm Metotları: Bu metotlar, belirli zaman aralıklarında, ısı kaynağına uzaklığı bilinen numunedeki bir noktada bir ısı darbesine sıcaklık tepkisini değerlendirir. Genel olarak, termal yayılım ölçülmektedir. Isı kayıplarına karşı daha az hassastırlar, hızlı sonuçlar üretirler ve küçük numunelerle kullanılabilirler. Ayrıca bu

yöntemler kalibrasyon gerektirmez. Yerleşik iki ana teknik vardır: geçici düzlem kaynağı (TPS) yöntemi ve sıcak tel yöntemi. Bu ölçüm tekniklerinin şematik gösterimi Şekil 2.3'de sunulmaktadır. (B. Merillas ve diğerleri, 2022)

TPS yöntemi, numuneye üç boyutlu bir ısı akışı oluşturan düzlemsel, dairesel bir ısıtma kaynağı kullanır. Isıtma elemanı, iki özdeş, düz yüzeyli numune parçası arasına yerleştirilir (Şekil 2.3.a). Isı kaynağının sıcaklığı zamana bağlı ölçülerek termal iletkenlik elde edilir. ISO 22007-2:2015 standardı, bu yöntemin hem termal iletkenliğin hem de yayılma eğiliminin belirlenmesi için kullanılmasına atıfta bulunur. (B. Merillas ve diğerleri, 2022)

Sıcak tel yöntemi (Şekil 2.3.b), bir doğrusal ısı kaynağı üzerinde çalışan, elektrikle ısıtılan tel, numune içerisine batırılır ve numunedeki sıcaklık artışı, telden belirli bir mesafede ölçülür (alternatif olarak, telin zaman içerisindeki sıcaklığı ölçülebilir). Isı, telden numuneye radyal olarak akar. Bu yöntem, standart ASTM C 1113'e göre uygulanmaktadır. (B. Merillas ve diğerleri, 2022)



Şekil 2.3. (a) TPS metodu şeması (b) Sıcak tel metodu

Kararlı Hal Metotları: Kararlı durum yöntemlerinin temelleri, numunenin her iki tarafı arasında zamanla değişmeyen bir sıcaklık farkı oluşturmaya dayanır. Bu şekilde, ısı akışının sabit olduğu ve numune boyunca sıcaklığın aynı olduğu sabit değer verisine ulaşılan kadar numune boyunca bir sıcaklık gradyanı desteklenir. Bu nedenle, kararlı durum yöntemi için Fourier yasası tek boyutlu bir problem ortaya koyar:

$$\lambda = \frac{Q \cdot d}{A \cdot \Delta T} \quad (2.10.)$$

Burada Q numune boyunca ısı akışıdır (W), A ısı akışının iletiildiği alandır (m²), d numune kalınlığıdır (m) ve ΔT numune yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıdır (K). (B. Merillas ve diğeri, 2022)

2.2.3. Otomotivde Termal İletkenlik

Otomotiv sektöründe termal konforun sağlanması en önemli faktörlerden biridir. Termal konforun sağlanması sırasında ısı kayıplarının önlenmesi aynı zamanda yakıt tasarrufunun sağlanması açısından önemlidir.

Yakıt ekonomisinin iyileştirilmesi ve sera gazı emisyon kontrolü konusundaki artan zorluklar, otomobil üreticilerinin hafif otomobiller üretmeleri için itici güç haline gelmiştir. Ayrıca ağırlığın azaltılması, üstün geri dönüştürülebilirliğe ve/veya araç performansına (örneğin; geliştirilmiş sürüş ekonomisi, frenleme davranışları ve çarpışma dayanıklılığı) katkıda bulunabilir. (W. Zhang, J. Xu, 2022)

Kurumsal Ortalama Yakıt Ekonomisi (CAFE) standardına göre, otomotiv endüstrisindeki tüm orijinal ekipman üreticilerinin (OEM), filonun ortalama ağırlığına göre yakıt ekonomisi hedefini karşılaması gerekmektedir. Gidilen kilometre başına CO₂ emisyonu (g/km) açısından, binek araçların ortalama yakıt ekonomisi hedefi de çoğu ülke ve bölge için zorlayıcı olabilmektedir. Yakıt ekonomisi iyileştirmesi ve emisyon kontrolünün yanı sıra, daha yüksek performansa ve daha kolay geri dönüştürülebilirliğe daha fazla önem verilmesi, daha hafif, daha güçlü ve daha çevreci otomobillerin geliştirilmesi yönünde teşvikleri arttırmaktadır. Bu nedenle, yeni malzemeler keşfetmek ve geleceğin otomobilleri için daha verimli yapısal tasarım elde etmek esastır. Şimdiye kadar, küresel OEM'ler, güçlü bir şekilde hibrit ve tamamen elektrikli araçlar geliştirmek, aktarma organlarının verimliliğini artırmak ve otomobiller için hafif malzemeleri keşfetmek dahil

olmak üzere zorlukların üstesinden gelmek için aralarında en yüksek önceliğin ağırlık tasarrufuna verildiği çeşitli etkili stratejiler uygulamaktadırlar. (W. Zhang, J. Xu, 2022)

İklim değişikliği ve küresel ısınma, büyük tehditler olarak ortaya çıkarken, teknolojiler karbon emisyonunu azaltarak karbon nötr bir topluma katkıda bulunmakta ve tüm dünyada geniş ilgi görmektedir.

Bu çerçevede, birincil enerjinin büyük bir bölümünü tüketen ulaşım sektörü, elektrifikasyonlarla birlikte çok önemli bir güncelleme geçiriyor. Elektrikli araçların geliştirilmesiyle birlikte sera gazı emisyonlarının %20, elektriğin yenilenebilir enerji ile üretilmesi durumunda ise %40 daha azaltılabileceği bildirilmektedir. Özellikle Asya-Pasifik bölgelerinde birçok ülke ve kuruluş tarafından bazı dikkate değer politikalar ve girişimler önerilmiştir. Bu nedenle elektrikli araçların pazar payı hızla artmaktadır. Tahminlere göre, 2040 yılına kadar dünya çapında satışa sunulan yeni arabaların %35'inin elektrikli olacağı öngörülmektedir. Enerji tasarrufu ve karbon-nötr bir topluma ulaşmak adına, motor tahrikli sistemler konusu akademik, mühendislik ve yatırım topluluklarından büyük ilgi görmektedir. Elektrikli araçların pazardaki yaygınlığını artırmak için elektrik motorlarının daha güçlü olması ve daha yüksek güç yoğunlukları, daha yüksek tork yoğunlukları ve daha yüksek hızlar sağlaması gerekir. Genel olarak, motorlar daha yüksek güç yoğunlukları için tasarlandığından, motorlardaki kayıp yoğunluğu hızla artacaktır, bu da termal yönetimi daha zor hale getirecek ve performans ölçütleri için ana sınırlama faktörü haline gelecektir. Bu nedenle, gelişmiş termal yönetim teknolojileri çok gerekli bir hale gelmektedir. (Wang X.ve diğerleri, 2022)

2.6. Aerojel

Aerojeller, jel halindeyken içlerinde bulunan sıvının hava ile yer değiştirmesi sonucu oluşan yapılardır. S.S. Kistler 1931'de, oluşturdukları jelin içerisindeki sıvıların boyut kaybı (çekme) nın çok az veya hiç olmayacağı bir sistem üzerinde çalışmışlardır. Bu denemeleri sonucunda silika, alümina, nikel tartarat, stanik oksit, tungstik oksit, jelatin, agar, nitroselüloz, selüloz ve yumurta albümini arojellerinin başarılı olarak sentezini

sağlamışlar ve bunun gelişmeye açık bir alan olduğu ve daha birçok farklı aerojelin üretilebileceği sonucuna varmışlardır. (S.S. Kistler, 1931)

A.C. Pierre (2011), aslında daha önceleri ıslak jellerin buharlaşma ile kurutulmakta olduğundan, ancak Kistlerin geliştirdiği metot ile jellere emdirilen bir sıvının süper kritik bir sıvıya dönüştürülerek boşaltılması ile yapıldığından bahsetmektedir. Bu uygulama, kritik sıcaklık T_c 'yi ve jel gözeneklerindeki sıvının basıncının da P_c 'yi geçene kadar otoklavda ısıtılmasından ibarettir. (A.C. Pierre, 2011)

Kistler'in geliştirdiği bu süperkritik uygulaması jel gözeneklerinin çıkışında bulunan sıvı-buhar menisküslerinin oluşmasını engellemektedir. Zira bu yarım ay şeklinde oluşan doğal yapılar sıvı formun mekanik geriliminden ve gözenek duvarlarındaki basınç oluşumu ile jellerdeki büzülmenin gerçekleşmesini sağlayan yapılardır. Bunun yanında süperkritik sıvı gaz olarak boşaltılabilmiş ve sonuçta ıslak malzemenin kuru katı bir iskeleti elde edilebilmiştir. (A.C. Pierre, 2011)

Aerojellerin hazırlanması 3 temel adımı içermektedir:

- (1) Sol-Jel Geçişi (Jelleşme)
- (2) Ağın Mükemmelleşmesi (yaşlandırma)
- (3) Jel-Aerojel Geçişi (kurutma)

Aerojellerin sentezlenmesi için gerekli olan malzemelerle beklenen sonuca uygun olarak belirlenen öncüllerin bir sıvı içerisinde koloidal dağılımı yapılması ve sonrasında jelleşmesinin sağlanmasıdır. Böylece sıvının her bölümünde mevcut bir katı parçacıklardan oluşan ağ oluşturulmuş olur. (E. Barrios ve diğerleri, 2019)

Aslında aerojellerin bulunması 90 yıl önceye dayanmasına rağmen gerçek anlamda ticarileşmeleri çok uzun zaman almıştır. Kistler'den sonra çok çeşitli aerojel yapılar sentezlenmiş ve yapılan malzemeler çeşitlenmiştir. Silikanın ana bileşen olduğu aerojel silikatların sayısı giderek artmıştır. (A.C. Pierre, 2011)

Sonuç olarak aerojeller 21.yüzyılın en dikkat çekici malzemelerinden biri haline gelmiştir. Ultra gözenekli, düşük yoğunluklu, özel yüzey alanına, yüksek dielektrik dayanımına, düşük termal iletkenliğe sahip malzemelerin özel bir işleme teknolojisi ile üretimi sağlanabilmektedir. (E. Barrios ve diğerleri, 2019)

2.6.1. Aerojellerin İçeriklerine Göre Sınıflandırılması

S. Montes ve H. Maleki (2020), aerojellerin çok farklı şekillerde sınıflandırılabilirliğini; ancak kimyasal ve fiziksel özellikleri içeriğine ve üretim aşamalarına bağlı olarak değişiklik gösterdiğinden bahsetmektedir. Sol hazırlanmasından, jel dönüşümüne, kurutma metodundan sentez aşamalarına kadar çeşitli şekil ve özelliklerde aerjel eldesi söz konusudur. (S. Montes ve H. Maleki, 2020)

S. Montes ve H. Maleki (2020) içeriklerine göre sınıflandırmanın genel olarak şu şekilde yapılabileceğini belirtmişlerdir:

İnorganik aerojeller; genel olarak metal oksitler gibi inorganik polimerlerden oluşan bir yapıya sahiptirler. Bunlara örnek silika, titanya, alümina, zirkonya, niobatlar, tantalatlar, karışık metal oksitler, metaller, metal kalkojenitler verilebilir. (S. Montes ve H. Maleki, 2020)

Organik aerojeller; temel olarak resorsinol-formaldehit, fenol-formaldehit, poliakrilatlar, polistirenler, poliüretanlar, epoksiler gibi sentetik polimerlerden ve aljinatlar, selüloz türevleri, kitosan, polisakkaritler, proteinler gibi doğal organik polimerlerden oluşan bir yapıya sahiptir. (S. Montes ve H. Maleki, 2020)

Hibrit aerojeller; inorganik yapıların içerisine organik monomer veya polimerlerin katılmasıyla elde edilen yapılardır. Güçlü kovalent bağlar veya bloklar arasında bulunan etkileşim veya bağlar ile oluşan yapılara sahiptirler. (S. Montes ve H. Maleki, 2020)

Karbon ve Karbür aerojeller; organik temelli aerojellerin pirolize olması sonucu elde edilen aerojellerdir. (S. Montes ve H. Maleki, 2020)

Kistlerin yaptığı ve onu takip eden çalışmalarda yukarıda bahsedilen arojellerden çok çeşitli çalışmalar yapılmış ancak özellikle inorganik ve organik arojellerdeki avantajların ve dezavantajların varlığı Q. Liu ve arkadaşları tarafından ele alınmıştır. Buna göre inorganik arojellerde yüksek sıcaklık dayanımı görülmektedir. Ancak silika gibi yapılarda kırılma eğilimi yüksektir. Bu nedenle düşük mekanik dayanımlara sahiptirler. Poliüretan ve poliamid gibi birçok sentetik polimerler ve Selüloz, aljinat gibi birçok doğal polimerlerden meydana gelen organik arojeller de ise bunun tam tersine mekanik dayanımları yüksek, sıcaklık dayanımları düşüktür. Bu da arojellere sınırlı bir kullanım alanı vermektedir. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmalarla silika çözeltisi içerisine polimer eklenmesi ile mekanik özelliklerin iyileştirilebileceği görülmüştür. Bu da hibrit arojellerin kullanım alanının daha geniş olabileceğini düşündürmektedir. (Q. Liu ve diğerleri, 2021)

2.6.2. Arojellerin Kurutma Şekillerine Göre Sınıflandırması

Arojel sentezlerinde literatürde 3 farklı kurutma şekli uygulanmaktadır.

Dondurarak kurutma yönteminde kriyojel oluşumu sırasında üçlü noktanın geçilmiş olması esastır. Donma sonrası koloidal çözeltinin içerisindeki buz kütlelerinin süblimasyon yoluyla uzaklaşması sonucu geriye gözenekli yapılar kalmaktadır. (A.C. Pierre, 2011)

Buharlaştırma yönteminde kserojel oluşumu sırasında mutlaka gaz-sıvı denge eğrisinin geçilmesi gereklidir. Kserojeller atmosfer basıncı altında sıvının uzaklaşması sonucu oluşan gözenekli yapılardır. (A.C. Pierre, 2011)

Süperkritik kurutma yönteminde arojellerin oluşumu sırasında kullanılan süperkritik kurutmada kullanılacak gaz bileşeninin kritik noktaya ulaşması gereklidir. Burada sıvının basınç altında gaz ile yer değiştirmesi ve gözenekli yapıların ortaya çıkması sağlanmaktadır. (A.C. Pierre, 2011)

2.6.3. Aerojeller Ve Sentez Adımları

Aerojellerin hazırlanması aşamasında kullanılan geleneksel yöntem sol-jel yaklaşımıdır. Sol öncü öncelikli olarak çözüldüden üretilir. Kararlı bir 3D ara bağlantı yapısı oluşturan katalitik reaksiyonla polimerizasyon veya hidroliz yoluyla solun jelle dönüştürülmesi ikinci adımı oluşturur. Genellikle karıştırma, çalkalama veya bileşiklerin eklenmesiyle birlikte hava kabarcıkları ortaya çıkar. Bu aşamaların tamamlanması sonucunda ıslak jelin 3 boyutlu yapısının stabilitesini arttırmak için bir yaşlandırma işlemi gerçekleştirilir. Sol-jel işleminin dışında, aerojellerin hazırlanmasına yönelik başka yöntemler de raporlanmıştır. (Yang W.J. ve diğerleri, 2022) (Mekonnen, B.T., ve diğerleri, 2021)

Sol-jel sentez prosedürü şunları kapsar:

Jelin hazırlanmasında; jel fazı genellikle sol-jel yöntemiyle elde edilir. İşlemin uygulanmasında, gerekli öncü madde, önce bir solvent içinde çözülür, ardından jel oluşumunu kolaylaştırmak için bir katalizör eklenir. Genel olarak, jeller dispersiyon ortamına göre sınıflandırılır, örneğin hidrojel veya akuajel için su, alkojel için alkol ve aerojel için hava dispersiyon ortamlarıdır. (Yang W.J. ve diğerleri, 2022) (Mekonnen, B.T., ve diğerleri, 2021)

Jelin yaşlandırılmasında; ilk aşamada elde edilen jel, ana sıvısında daha da yaşlandırılacaktır. Yaşlandırma işlemi sırasında, jelin yapısını ve özelliklerini farklı oranlarda etkilemek için boyun büyümesi ve Ostwald olgunlaşması dahil olmak üzere iki farklı mekanizma, aynı anda çalışacaktır. İşlem sırasında malzeme, koloidal parçacıkların daha sıkı bir ağ oluşturduğu boyun bölgesine taşınacaktır. Farklı eğriliklere (r) sahip yüzeyler için çözünürlükteki (S) fark, Kelvin Denklemi (2.1) ile ifade edilen malzemenin taşınmasını yönlendirir.

$$S = S_0 \exp\left(\frac{2\gamma_{sl}V_m}{RT_r}\right) \quad (2.1)$$

Burada S_0 katı fazın yağ yüzeyinin çözünürlüğü, V_m katının molar hacmi, γ_{sl} katı-sıvı ara yüzeyinin enerjisi, T sıcaklık ve R ideal gaz sabitidir. Tanecikler arasındaki boyun bölgesi negatif bir eğriliğe ($r < 0$) ve düşük çözünürlüğe sahiptir. Malzemeler, bir parçacığın içbükey yüzeyinden taşınarak bu dışbükey alanlarda topaklaşacaktır. Daha küçük parçacıkların çözünürlüğünün yüksek olması sebebiyle, itici güç aynı zamanda en küçük parçacıkları çözmek için hareket edecek ve ardından daha büyük parçacıklar üzerine çökme gerçekleşecektir. (Mekonnen, B.T., ve diğerleri, 2021)

Yaşlanma süreci, ıslak jelle daha yüksek mukavemet ve sertlik kazandırır. Ortam basıncında kurutma (APD) gibi kurutma sırasında meydana gelen güçlü kılcal kuvvetler altında jellerin gözeneklerinin çökmesini önlemek en önemli noktadır. Birkaç çalışma, jelin uzun süreler boyunca (örneğin, birkaç gün veya hatta haftalarca) yaşlanmasının jeli daha sert hale getirdiğini ve süperkritik kurutma sırasında aerogellerin büzülmesini azami ölçüde önlediğini göstermiştir. (Mekonnen, B.T., ve diğerleri, 2021)

Jelin kurutulmasında; Kritik adım olarak, kılcal basınç (P_c) tarafından yönetilir ve yönlendirilir. Bu süreç denklem (2.2) ile gösterilebilir.

$$P_c = \frac{-\gamma l v}{\gamma p - \delta} \quad (2.2)$$

Burada $\gamma l v$ gözenekli sıvının yüzey gerilimini, γp gözenek yarıçapını, δ yüzeyde adsorbe edilmiş bir katmanın kalınlığını ifade etmektedir. (Mekonnen, B.T., ve diğerleri, 2021)

2.1.4. Aerojel kurutma şekilleri

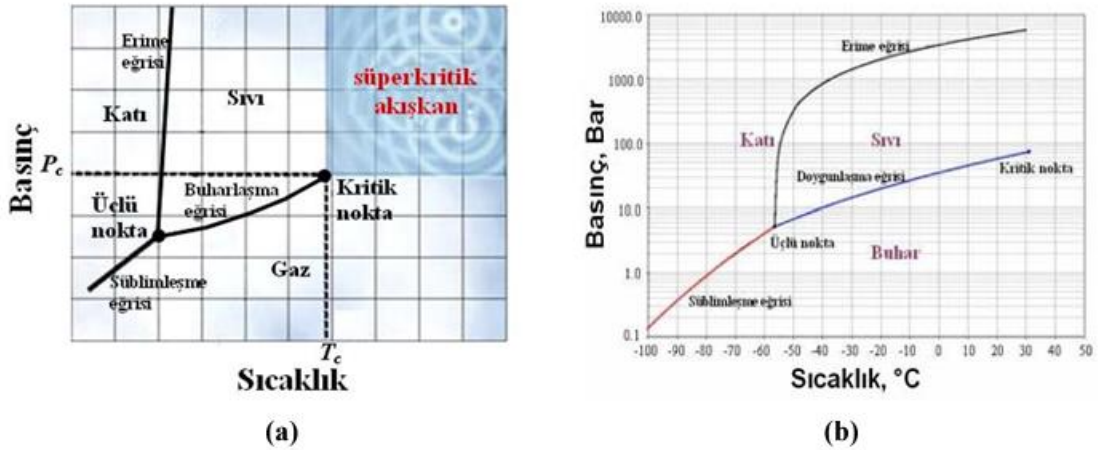
Son yıllarda, iyileştirilmiş bir 3D ağ bağlantılı aerojel yapısı oluşturmak amacıyla çeşitli kurutma teknikleri geliştirilmiştir. En yaygın teknikler arasında Dondurarak kurutma (FD), ortam basıncında kurutma (APD) ve süper kritik kurutma (SCD) yer alır.

FD'de gaz fazı ile sıvı arasındaki faz sınırı olmadığından P_c hayati bir rol oynamaz. Çözücü, düşük genişleme katsayısı ve yüksek süblimasyon basıncı kullanılarak, genellikle dondurularak ve vakum altında süblimleştirilerek değiştirilmektedir.

APD'de buhar ve sıvı arasındaki yüzey gerilimi kaçınılmazdır. Jeldeki stres, kuruma hızı ve gözenek sıvı viskozitesi ile doğru orantılı, ıslak jelin geçirgenliği ile ters orantılıdır.

SCD'de gözenekteki sıvı, kritik sıcaklığının (T_{cr}) ve kritik basıncının (P_{cr}) üzerine geçilerek çıkarılır. (Şekil 2.4 (a) ve (b)) Bu durumda, sıvı-buhar arayüzü ve P_c yoktur.

Aerogellerin hazırlanmasında, aerojeli sentezlemek için kullanılan ana öncüye bağlı olarak, geleneksel sol-jel tekniği tek adımlı, iki adımlı veya çok adımlı olarak uygulanabilir. (Mekonnen, B.T., ve diğerleri, 2021)



Şekil 2.4. (a) Saf bir maddenin faz diyagramı, (b) Saf CO₂ faz diyagramı (S. Dinçer ve diğerleri, 2007)

2.6.4. Aerogellerin Örnek Uygulama Çalışmaları

Aerogellerin tekstillerde kullanımı, tekstillere belirli özellikler kazandırmak için kullanılan diğer malzemelerle birlikte değerlendirilmelidir. Malzemelerin (renklendiriciler dışındaki) tekstillere en önemli uygulaması, bakımı kolay (ütülenmez, makinede yıkanabilir) ve rüzgâra ve yağmura dayanıklılık gibi özellikler kazandıran esnek polimerik kaplamalardır. Bununla birlikte, sürekli aerogel kaplamaları, tekstillerin esnekliğini büyük ölçüde azaltır ve tekstiller esnediğinde çatlama/kopma eğilimi gösterir.

Bu nedenle, aerojeller gibi sert malzemelerin tekstillere süreksiz (parçacıklı) bir biçimde uygulanması gerekir. Pigmentler, metal oksitler gibi partikül maddeler ve mikro kapsüller, tekstillere renk, kirlenmeye, aşınmaya ve böceklerden kaynaklanan hasara karşı artan direnç gibi arzu edilen özellikleri kazandırmak için kullanılır. Bu nedenle, aerojellerin tekstillerde en yaygın şekilde araştırıldığı ince parçacıklar biçimindedir. (McNeil, S. J., & Gupta, H., 2022)

S. Kawaoka ve arkadaşları, silika-elyaf keçeleri ve silika-aerojel çekirdek tabakasını katman katman bir yapıda hazırlayarak ısı yalıtımı sağlamak üzere sandviç bir yapı oluşturmuşlardır. Çalışmada, bu uygulamanın otomotiv katalitik konverterleri için termal genişleme matı olarak kullanılacağı varsayılmıştır. Çalışma iki farklı hazırlama sürecini ve karşılaştırılmasını içermektedir. Karakterizasyon analizleri, ısı radyasyonunu önlemek için SiC parçacıklarının aerjel çekirdek tabakasına ve ısıtılmış yüzeye yakın konumlandırılmasının daha iyi sonuç vereceğini göstermiştir. Çalışmada uygulanan iki üretim prosesinden ıslak üretim yöntemi ile üretilmiş kompozitler üstün ısı yalıtım performansına sahip iken, kuru işlem ile üretilmiş kompozitlerde penetrasyonun iyi olması mekanik özelliklerde olumlu sonuçlar göstermiştir. Bu çalışma aerjel katkılı kompozit üretimi sırasında farklı yaklaşımların kullanılmasının optimum süreci bulma konusunda faydalı olduğunu göstermiştir. (Kawaoka, S., ve diğerleri, 2020).

Sara Estaji ve arkadaşları; silika aerojelleri % 3 ve % 5 oranında kullanmış bu aerojellerin polikarbonat/poli(metil metakrilat)'ın (PC/PMMA) mekanik özellikleri, termal iletkenliği ve optik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Taramalı elektron mikroskobu sonuçlarına göre, PC/PMMA/SA (25/75/3) kompozitinin en iyi dağılıma sahip olduğu, gerilme mukavemeti ve Young modülünde ise en iyi sonuçlara PC/PMMA/SA (75/25/5) kompozitlerin sahip olduğu çalışmada gözlemlenmiştir. PC, PMMA, PC/PMMA (25/75) ve PC/PMMA/SA (25/75/3) dışında hiçbir örnek optik geçirgenlik göstermemiştir. Çalışmada ayrıca ortalama olarak PC/PMMA/SA'nın (25/75/3), PC/PMMA'dan (25/75) %13 daha fazla ışık emilimine sahip olduğu belirtilmiştir. Çalışmanın sonucunda yalıtım ve şeffaf uygulamalar için PC/PMMA/SA karışımı kompozitin olası kullanımının uygun olacağı ifade edilmiştir. (Estaji, S., ve diğerleri, 2021).

Yan Liu ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen çalışmada silan birleştirme ajanı ile modifiye edilmiş SiO₂ partikülleri, yüksek gözenekli silika aerojel ve su bazlı poliüretan akrilat (WPUA) içeren çözelti, mükemmel su iticilik ve belirli bir koruyucu özellik elde etmek için iyi termal kararlılığa sahip kumaşlar üretmek amacıyla kaplama çözeltisi olarak hazırlanmıştır. Çalışmanın sonucunda hazırlanan reçine ile kaplanmış kumaşın termal stabilitesinin, silika aerojel ve silanla modifiye edilmiş SiO₂ eklenerek büyük ölçüde iyileştirildiği TGA analizlerinde 600 °C'de %13,19 değeri ile belirtilmiştir. Ayrıca aerojel miktarındaki artış sonucu temas açısının arttığı da çalışmada gerçekleştirilen temas açısı ölçümleri sonucunda gözlemlenmiştir. Kimyasal direnç analizi, gözenekli aerojel parçacıklarının eklenmesinden sonra kumaşın benzer kimyasal dirence sahip olduğunu göstermiştir. Çalışmanın sonucunda geliştirilen bu kaplama reçinesinin su iticilik, ısı direnci ve kimyasal direnç açısından koruyucu giysiler geliştirmek için umut verici olduğu ifade edilmiştir. (Xu, L., ve diğerleri, 2022).

A.İ. Ayten ve arkadaşları, misel şişirme ve yapı yönlendirici ajan kullanılarak sentezlenen çapraz bağlı aerojellerin, Seviye IIIA tehdidine karşı balistik performansı deneysel olarak incelemişlerdir. İlk olarak, küçük ölçekte silika bazlı aerojellerin sentezlenmesi ve daha sonra bunlara izosiyanat ile çapraz bağ oluşumu gerçekleştirilmiştir. Enerji absorpsiyonunu ölçmek için yapılan karakterizasyon analiz sonuçlarına göre istenilen gözenek yapısına sahip en iyi numune belirlenerek, balistik testlerde kullanılmak üzere büyük ölçekli imalat gerçekleştirilmiştir. Farklı katman sayılarına sahip temiz aramid kumaşlar test edilerek arka yüz sapma değerleri belirlenmiştir. 24, 30 ve 36 katlı düzgün aramid kumaşlar sırasıyla 57.32, 43.58 ve 40.38 mm esnetilmiştir. Çapraz bağlı aerojel örneğinin etkinliğini anlamak için düzgün formunun arka yüz sapma değeri ilgili standartta tanımlanan kritik arka yüz sapma değerine en yakın olacak şekilde aramid kumaşın 30 katmanına yerleştirilmiştir. Dikdörtgen, büyük çaplı dairesel ve küçük çaplı dairesel olmak üzere üç tip aerojel monoliti aramid kumaşlarla test edilmiştir. Düzgün aramid kumaş testlerine kıyasla aerojel monolitleri dahil tüm balistik test numunelerinde %72 oranında kumaşta daha az delinme gözlenmiştir. Aramid kumaş numunelerinin test edilmesinde 7 veya 8 kat kumaş delinirken, aerojel içeren numunelerde 2 kat kumaş delinmiştir. (Ayten, A. İ., ve diğerleri, 2020).

Ön madde konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak bu silika kaplamanın sade pamuk numuneleri üzerindeki önemi bu çalışmada araştırılmıştır. Bu nedenle farklı iplik numarası, cm başına iplik ve metrekare başına kütle değerleri ile pamuklu kumaşın üç ana dokuma yapısı (düz, saten ve pike) seçilmiştir. Bundan sonra, sadece düz dokuma kumaş numuneleri, asidik koşullar altında hidrolize edilmiş ve izleyen adımda 3-glisidoksipropiltrimetoksisilanın yoğunlaştırılmasıyla oluşturulan silika sole daldırılmıştır. Silanlanmış kumaş numuneleri TGA ve FT-IR teknikleri ile karakterize edilmiştir. Termal özellikler, tüm işlem görmüş kumaş numunelerinin termal iletkenliğini, direncini ve emilimini hesaplamak için geliştirilen bir aparat ile ölçülmüştür. Düz dokuma kumaşların ısı yalıtım özellikleri ile sol çözeltilerin konsantrasyonu arasındaki ilişki incelenmiştir. Kumaş dokuma ve yoğunluğunun termal özellikleri güçlü bir şekilde etkilediği bulunmuştur. Doku yapısı arasındaki farklılık açısından pike örgü her zaman en düşük, saten örgü yapısı en yüksek değerleri gösterirken düz dokuma (bezayağı) arada yer almıştır. İşlem görmüş yüksek yoğunluklu pamuklu düz dokuma kumaşın termal özelliklerinin apre maddesi konsantrasyonundan da güçlü bir şekilde etkilendiği kanıtlanmıştır. (Rosace, G.ve diğerleri, 2016)

Venkataraman, M., ve arkadaşları tarafından ise amorf silika aerogel ile muamele edilmiş Polyester/ polietilen dokunmamış termal sargılar incelenmiş ve bunların sıfırın altındaki sıcaklıklarda termodinamik özellikleri karakterize edilmiştir. Fiziksel yapılar, taramalı elektron mikroskobu ile karakterize edilmiştir. Sıfırın altındaki sıcaklıklarda iletkenlik, öz direnç ve efüzyon gibi termal özellikleri ölçmek için bir C- Therm TCi termal iletkenlik analizörü kullanılmıştır. Bir termal bobin boyunca konveksiyonla indüklenen ısı transferi, iki boyutlu bir dizide akan sıvıların gerçek hız dağılımı hakkında bilgi sağlayan parçacık görüntülü velosimetri kullanılarak ölçülmüştür. Numuneler farklı sıcaklık gradyanları için incelenmiştir. Sonuçların bilimsel değerlendirmesi sırasında, termal iletkenlik ve ısı yayılımının sıcaklık ve doku yoğunluğu ile farklılık gösterdiği bulunmuştur. Artan doku kalınlığı ile termal direnç artmıştır. Kumaşın yoğunluğunda ve yapısında bulunan aerogelin, dokunmamış kumaşların termal özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. (Venkataraman, M., ve diğerleri., 2015).

Xiong, X. ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, silika arojel tekstil malzemesine aktarabilmek için lazer işleme ve laminasyon tekniğinin kullanıldığı yeni bir yaklaşım kullanılmıştır. Hazırlanan çok katmanlı arojel kapsüllü lamine kumaşların ısı yalıtım performansı, Alambeta cihazı ile ısı iletkenlik, ısı direnç ve ısı yayılım açısından karakterize edilmiştir. Kızılötesi termografi verileri termal kamera ile toplanmıştır. Sıkıştırma direnci, sıkıştırma esnekliği ve kalınlık kaybı gibi sıkıştırma özelliklerini test etmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, arojel kapsüllü yapının ısı yalıtımını geliştirme üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, arojel dolgulı boşluklara sahip dokunmamış kumaşların genellikle normal dokunmamış kumaşlardan daha düşük sıkıştırma direncine sahip olduğu, hava dolu boşluklara ve arojel dolgulı boşluklara sahip numunelerin, normal numunelere göre daha düşük bir oranda sıkıştırmayı geri kazandığı gözlemlenmiştir. Arojel kapsül içeren dokunmamış yüzeyle kompozitler, arojel kapsül aktarılmamış kompozitlere kıyasla daha düşük kalınlık kaybı sergilemiştir. (Xiong, X. ve diğerleri, 2018).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Keçe

Keçe malzemeler Formfleks Otomotiv Yan San. ve Tic. A.Ş. tarafından proje kapsamında üretilmiştir. Tekstil atıklarından geri dönüştürülmüş, elyaftan hava yöntemi ile üretilmiş dokunmamış yüzey olarak alt katmanda kullanılmıştır. Gramajı 1000 g/m² dir ve ağırlıkça %30 epoksi toz reçine içermektedir.

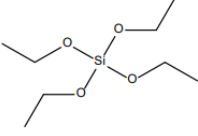



3.1.2 Tela

Tela malzemeler Formfleks Otomotiv Yan San. Ve Tic. A.ş. tarafından proje kapsamında üretilmiştir. % 100 Polyesterden oluşan mamul dokusuz yüzeydir. Gramajı 100 g/m² dir.

3.1.3. Silika Aerojel Sentezinde Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Monolitik Silika Aerojel sentezinde, Sigma Aldrich firmasından tedarik edilen metanol (MetOH) (saflık değeri %99.8) ve tetraetil ortosilikat (TEOS) (saflık değeri %98), İsolab firmasından tedarik edilen %25'lik amonyum hidroksit (NH₄OH) ve 0,5 N hidroklorik asit (HCl) kimyasalları kullanılmıştır. (Çizelge 3.1)

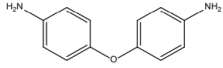
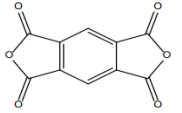
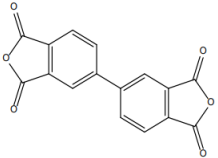

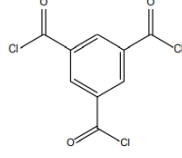
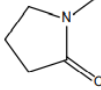
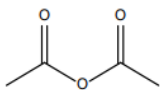

Çizelge 3.1. – Silika aerojel sentezinde kullanılan kimyasallar

Kimyasalın adı	Kimyasalın yapısı	Formülasyonu	CAS Numarası	Moleküler ağırlığı
Tetraetil ortosilikat (TEOS)		$\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$	78-10-4	208,33
Metanol (MetOH)		CH_3OH	67-56-1	32,04
Amonyum hidroksit (NH_4OH)		NH_4OH	1336-21-6	35,04
Hidroklorik asit (HCl)		HCl	7647-01-0	36,46

3.1.4. Poliimid Aerojel Sentezinde Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Monolitik Poliimid Aerojel sentezinde, Sigma Aldrich firmasından tedarik edilen 4,4'-oksidianilin (ODA) (saflık değeri % 97), 3,3',4,4'-Bifenil tetrakarboksilik asit dianhidrit (BPDA) (saflık değeri % 97), piromellitik dianhidrit (PMDA) (saflık değeri % 97), 1,3,5 Benzentrikarbonil triklorür (BTC) (saflık değeri % 98), N-Metil-2-Pirrolidon (NMP) ve edilen metanol (MetOH) (saflık değeri %99.8) kullanılmıştır. (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Poliimid aerojel sentezinde kullanılan kimyasallar

Kimyasalın adı	Kimyasalın yapısı	Formülasyonu	CAS Numarası	Moleküler ağırlığı
4,4'-oksidianilin (ODA)		$O(C_6H_4NH_2)_2$	101-80-4	200,24
Piromellitik dianhidrit (PMDA)		$C_{10}H_2O_6$	89-32-7	218,12
3,3',4,4'-Bifenil tetrakarbonsilik asit dianhidrit (BPDA)		$C_{16}H_6O_6$	2420-87-3	294,22
Metanol		CH_3OH	67-56-1	32,04
1,3,5 Benzentrikarbonil triklorür (BTC)		$C_6H_3(COCl)_3$	4422-95-1	265,48
N-Metil-2-Pirrolidon (NMP)		C_5H_9NO	872-50-4	99,13
Asetik anhidrit		$(CH_3CO)_2O$	108-24-7	102,09
Piridin		C_5H_5N	110-86-1	79,10

3.1.5. Silika-Poliimid Hibrit Aerojel Sentezinde Kullanılan Kimyasal Malzemeler

Silika-Poliimid hibrit aerojel sentezinde, Sigma Aldrich firmasından tedarik edilen metanol (MetOH) (saflık değeri %99.8), tetraetil ortosilikat (TEOS) (saflık değeri %98), 4,4'-oksidianilin (ODA) (saflık değeri % 97), 3,3',4,4'-Bifenil tetrakarboksilik asit dianhidrit (BPDA) (saflık değeri % 97), piromellitik dianhidrit (PMDA) (saflık değeri % 97), 1,3,5 Benzentrikarbonil triklorür (BTC) (saflık değeri % 98) , N-Metil-2-Pirrolidon (NMP) ve İsolab firmasından tedarik edilen %25'lik amonyum hidroksit (NH₄OH) ve 0,5 N hidroklorik asit (HCl) kimyasalları kullanılmıştır (Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2).

3.2. Yöntem

3.2.1. Aerojellerin Sentezlenmesi

Çoğu aerojel, tipik olarak, öncü maddelerin çözünmesini, sol-jel oluşumunu ve jel kurutmayı içeren sol-jel işlemine dayalı olarak yapılır. Sol-jel prosesinde, nano-boyutlu koloidal partiküller, öncü çözeltilerde kendiliğinden veya katalizörle başlatılan hidroliz ve çoklu yoğuşma reaksiyonları ile oluşturulur. Sol parçacıkları yavaş yavaş toplanır ve küçük parçacık kümelerine dönüşür ve küçük parçacık kümeleri birbirleriyle çarpışarak daha büyük parçacık kümeleri oluşturur ve sonunda sürekli bir ağ yapısı meydana gelir. (Liu, Q., ve diğerleri, 2021).

Sol-jel yöntemi monolitik/hibrit ve organik/inorganik aerojellerin sentezlenmesinde kullanılabilir. Aerojellerin sentez adımları "2.1.2. Aerojeller ve sentez adımları" bölümünde anlatılmıştır.

Bu tez çalışması Tübitak-1505 Üniversite-Sanayi İşbirliği Destek Programı kapsamında '5200114' proje numarası ile 'Aerojel İçeren Formlamaya Uygun Hibrit Kompozit Yapıların Geliştirilmesi, Termal ve Akustik Özelliklerinin Araştırılması' başlıklı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamında gerçekleştirilen aerojellerin sentezleri 'Konvansiyonel Malzemeler İçin Aerojel Takviyesi İle Düşük Termal İletkenlik, Düşük

Akustik İletkenlik Ve İyi Mekanik Özelliklere Sahip Süper Yalıtım Keçelerin Geliştirilmesi' başlıklı tez çalışmasında belirtilen şekilde sentezlemesi yapılmıştır.

Yapılan çalışmada hazırlanmış olan numuneler çizelge 3.3'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.3 Çalışma kapsamında hazırlanan kompozit numuneler ve içerikleri

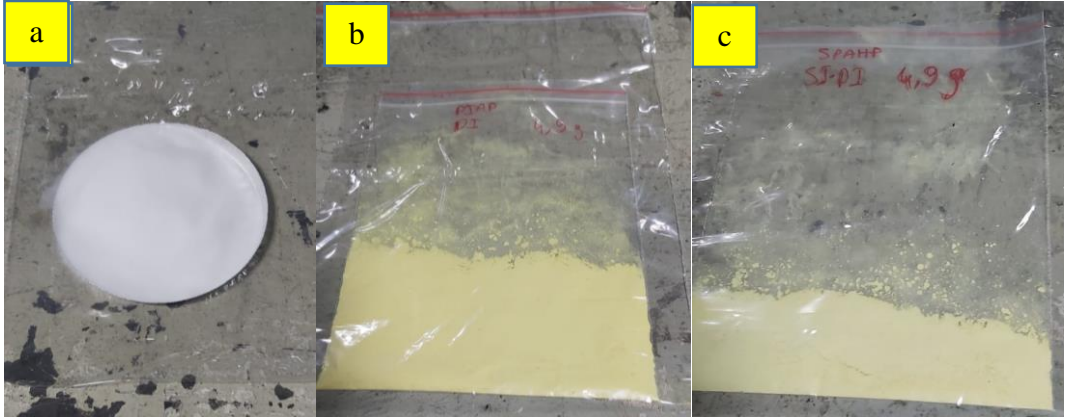
Numune numarası	İçerik
1	Standart Keçe + Standart Tela
2	Standart Keçe + PU film + Standart Tela
3	Standart Keçe + %10 PIA Toz + Standart Tela
4	Standart Keçe + %10 SA Toz + Standart Tela
5	Standart Keçe + %10 PISA Toz + Standart Tela
6	Standart Keçe + %1 PIA Toz Eklenmiş PU Film+ Standart Tela
7	Standart Keçe + %1 SA Toz Eklenmiş PU Film+ Standart Tela
8	Standart Keçe + %1 PISA Toz Eklenmiş PU Film+ Standart Tela
9	Standart Keçe + PIA Tela
10	Standart Keçe + Si Aerojel Tela
11	Standart Keçe + PISA Tela
12	PIA Keçe + PIA Tela
13	SA Keçe + SA Tela
14	PISA Keçe + PISA Tela
15	Standart Keçe + %10 Ticari SA Toz + Standart Tela

Çizelge 3.3.'de belirtilmiş olan numunelerin her birinden 3'er adet numune hazırlanmıştır.

3.2.2. Aerojellerin Toz Formunda Kompozit Yapıya Uygulanması

Aerojellerin sentezlenmesi bölümünde anlatıldığı şekilde sol-jel yöntemi ile sentezlenip 48 saat yaşlandırma işlemine tutulan Si, PI ve PI-Si jeller 40 derecede 100 Bar'da süper kritik kurutma işlemine tabi tutulmuşlardır. İşlem sonrası elde edilen aerojeller öğütücüde öğütülerek toz haline getirilmiştir.

Toz haline getirilmiş olan aerojeller (Şekil 3.1), 6 cm çapında kesilmiş olan tela ile keçe arasına keçe-tela kombinasyonu ağırlığının %10'u oranında konularak formlanmıştır.

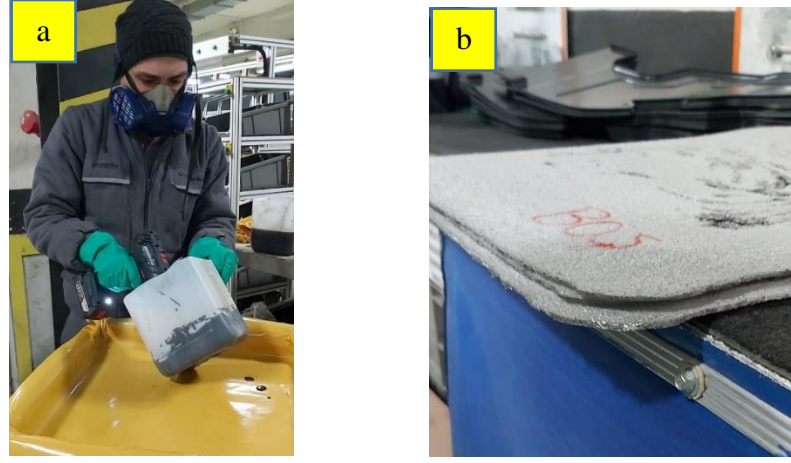


Şekil 3.1. a) Silika aerojel (SA) toz, b) Poliimid aerojel (PIA) toz, c) Polimid-Silika hibrit aerojel (PISA) toz

3.2.3. Aerojellerin Film Formunda Kompozit Yapıya Uygulanması

Sol-jel yöntemi ile sentezlenip 48 saat yaşlandırma işlemine tutulan Si, PI ve PI-Si jeller 40 derecede 100 Bar'da süper kritik işlemine tabi tutulmuşlardır. İşlem sonrası elde edilen aerojeller öğütücüde öğütülerek toz haline getirilmiştir.

Formfleks firması tarafından kullanılmakta olan PU reçine içerisine %1'lik oran ile katılarak sırasıyla SA katkılı PU, PIA katkılı PU ve PISA katkılı PU film tabakaları şekil 3.2 de görüldüğü şekilde elde edilmiştir.

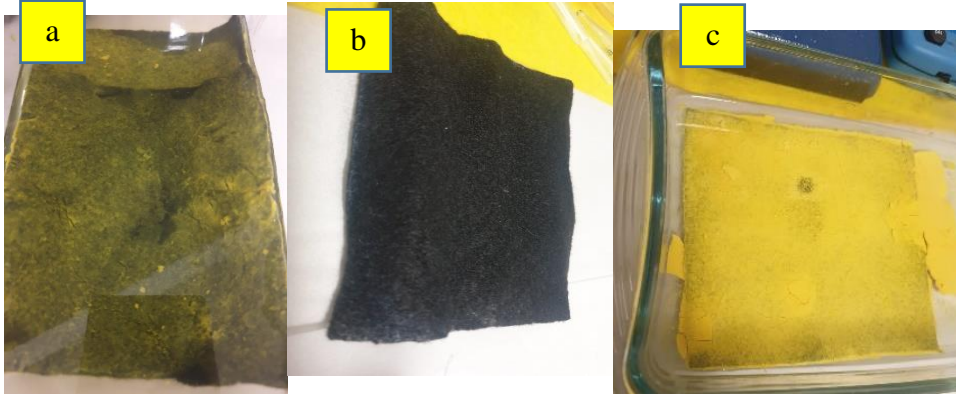


Şekil 3.2. a) Karışımın kalıplara dökülmesi, b) hazırlanan filmlerin görüntüleri

Hazırlanan film numuneleri tela keçe arasına yerleştirilerek formlanmıştır.

3.2.4. Aerojellerin Kaplama Yöntemi İle Kompozit Yapıya Uygulanması

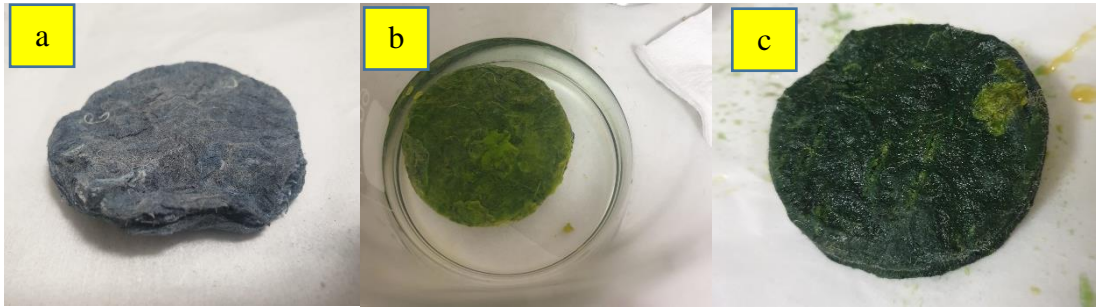
Şekil 3.3'de görüldüğü üzere, Sol-jel metodu ile sentezlenen sol çözeltilisine daldırılan ve jelleşme sonrası 48 saat yaşlandırma işlemine tutulan Si, PI ve PI-Si sol emdirilmiş telalar 40 derecede 100 Bar'da süperkritik işlemine tabi tutulmuşlardır. İşlem sonrası arojel telalar kaplama yapı elde edilmek amacıyla keçe üzerine konarak preste formlanmıştır.



Şekil 3.3. Telaya aerjel uygulamaları (a) PIA, (b) SA, (c)PISA

3.2.5. Aerjellerin Daldırma Yöntemi İle Kompozit Yapıya Uygulanması

Sol-jel metodu ile sentezlenen karışıma daldırılan ve jelleşme sonrası 48 saat yaşlandırma işlemine tutulan Si, PI ve PI-Si sol solüsyonu emdirilmiş telalar ve keçeler 40 derecede 100 Bar'da süperkritik işlemine tabi tutulmuşlardır. İşlem sonrası üst üste konarak formlanmıştır.



Şekil 3.4. Keçeye Aerjel uygulamaları, (a) SA, (b) PISA, (c) PIA

3.2.6. Süperkritik Kurutma İşlemi

Aerjel toz, tela ve keçe hazırlanmasının son adımı olan süper kritik kurutma işlemi Superex Aero-1000 (Şekil 3.5) ile gerçekleştirilmiştir



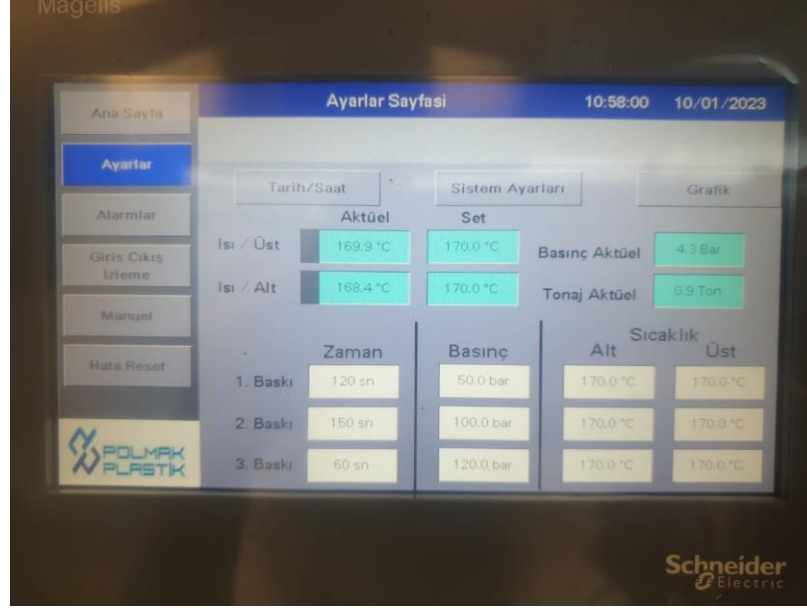
Şekil 3.5. Superex Aero-1000 Süperkritik kurutma sistemi makinası

3.2.7. Isıl Pres İle Form Verme

Hazırlanan tela keçe kombinasyonları kompozit malzeme haline getirilmesi işlemi Bursa Teknoloji Koordinasyon Arge Merkezi'nde Şekil 3.6'da görülen POLMAK-PLM30T cihazında 170 °C'de gerçekleştirilmiştir. 3 aşamalı uygulanan basınç işleminde 1. Aşamada 50 bar, 2. Aşamada 100 bar, 3. Aşamada 150 bar basınç uygulanmıştır. (Şekil 3.7.)



Şekil 3.6. POLMAK-PLM30T – Bursa Teknoloji Koordinasyon Arge Merkezi Termoset-Termoplastik retim hattı



Şekil 3.7. Isıl pres işlemleri parametreleri



Şekil 3.8. Formlanmış numuneler

3.2.9. Aerojel Aktarılmış Keçe Malzemelerin Termal İletkenlik Ölçümü

Aerojel katkılı, sol emdirilerek aerojel haline getirilmiş, PU film içerisine katılmış ve katkı içermeyen tela keçe kombinasyonları ile hazırlanan numunelerin termal iletkenlik ölçümleri Uludağ Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Laboratuvarı'nda ALAMBETA cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Alambeta cihazı

3.2.10. FT-IR Analizi

Hazırlanmış olan kompozit yapılarda bulunan aerojellerin bağ yapısı ve bağlanma bölgelerinin belirlenmesi amacıyla FT-IR analizi yapılmıştır. Analizde dalga boyu aralığı 400-4000 nmdir. Analizler Bursa Teknoloji Koordinasyon ve Ar-Ge Merkezi'nde bulunan SHİMADZU IRTracer-100 cihazında gerçekleştirilmiştir.

3.2.11. SEM Analizi

Hazırlanmış olan kompozit yapılarda bulunan aerojellerin morfolojik özelliklerini tespiti amacıyla SEM analizi yapılmıştır. Analiz farklı büyütme ve çözünme aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Analizler Bursa Teknoloji Koordinasyon ve Ar-Ge Merkezi'nde bulunan ZEİSS/GEMİNİ 300 cihazında gerçekleştirilmiştir.

3.2.12. TGA Analizi

Monolitik ve hibrit aerojellerin termal izolasyon performanslarının tespiti için termal olarak meydana gelen kütle kaybı ölçülerek termogravimetri testi (TGA) yapılmıştır. TGA Analizi için Bursa Teknoloji Koordinasyon ve Ar-Ge Merkezi'nde bulunan TA markasının SDT-Q600 model cihazı kullanılmıştır.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde aerojel katkılı kompozit yapıların SEM, TGA, FT-IR ölçüm sonuçları ile termal ve ses yalıtım sonuçlarına yer verilmiştir.

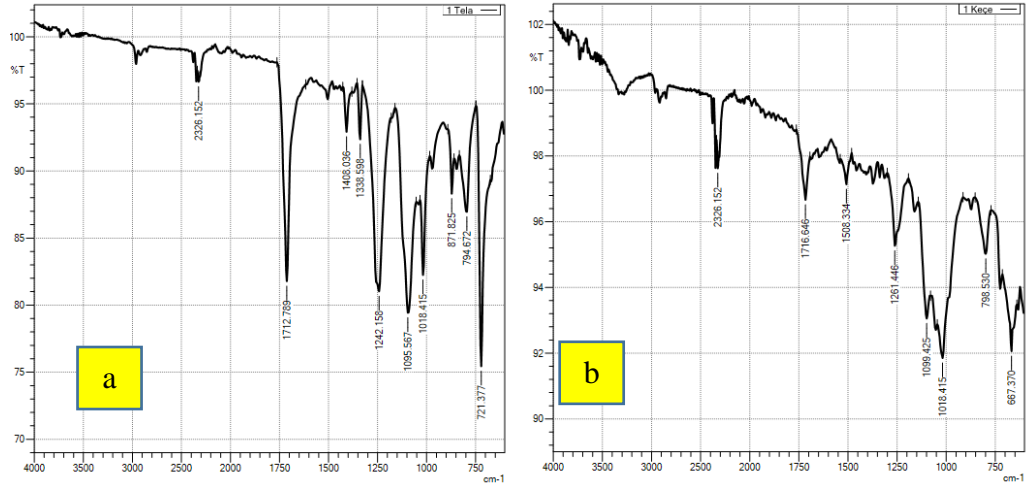
Ayrıca analiz sonuçlarına göre aerojel katkılı olmayan tela-keçe kompozit yapıları ile aerojel katkılı tela-keçe kompozit yapıların performansları karşılaştırılmıştır.

4.1. Aerojelsiz Tela-Keçe Kompozit yapının incelenmesi

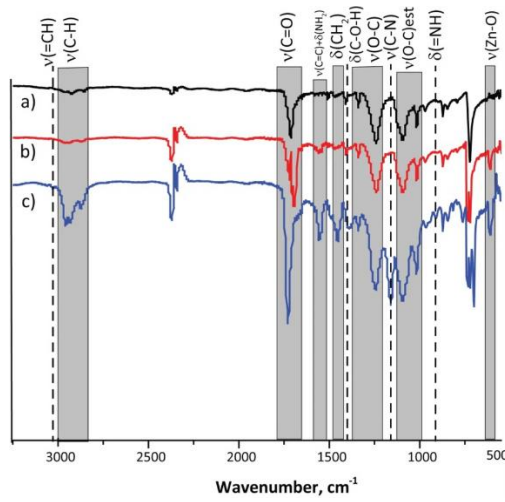
Aerojel katkısız kompozit malzemenin FT-IR (Şekil 4.1.(a)) ve SEM (Şekil 4.1.(b)) analizleri yapılmış ses yutum ve termal iletkenlik ölçümleri alınmıştır. SEM analizlerinde altın kaplama yapılmadan görüntü alınmıştır. Bu sonuçlar toz, kaplama ve daldırma yöntemiyle hazırlanan kompozit yapıların karşılaştırılmasında kullanılmak üzere elde edilmiştir. FT-IR diyagramları incelendiğinde telaya ait diyagramın Şekil 4.2’de görülen polyester FT-IR diyagramıyla örtüştüğü görülebilir.

İşlenmemiş polyesterde ester, alkol, anhidrit ve aromatik halkaların varlığı görülür. Alkil zincirlerinden (C–H) bağları, 1710 cm^{-1} dalga boyundaki bant, asitten gelen karbonil grubu $\nu(\text{C}=\text{O})$ 'nın esneme titreşimiyle ilişkili olduğundan 2924 ve 2848 cm^{-1} deki absorpsiyon bantları vs için karakteristiktir. 1460 cm^{-1} deki düşük yoğunluklu bant, $\delta(\text{CH}_2)$ titreşimlerine karşılık gelir, 1338 ve 1239 cm^{-1} de iki bant—asitten de $\nu(\text{O}-\text{C})$ ' ye ve esterden 1093 ve 1012 cm^{-1} deki iki tepe noktası $\nu(\text{O}-\text{C})$ 'ye, 700 cm^{-1} deki tepe noktası benzen halkalarındaki C–H bükülme ve halka buruşma titreşimlerine yorumlanır. Bu, alkol ve anhidritin polyesterde kalıntı reaktanlar olarak kalmasının bir nedenidir. Bu sonuçlara göre karboksil, ester, anhidrit ve alkol grupları polyester kumaşın saf olmadığını göstermektedir. (Pasichnyk, M., ve diğerleri, 2022)

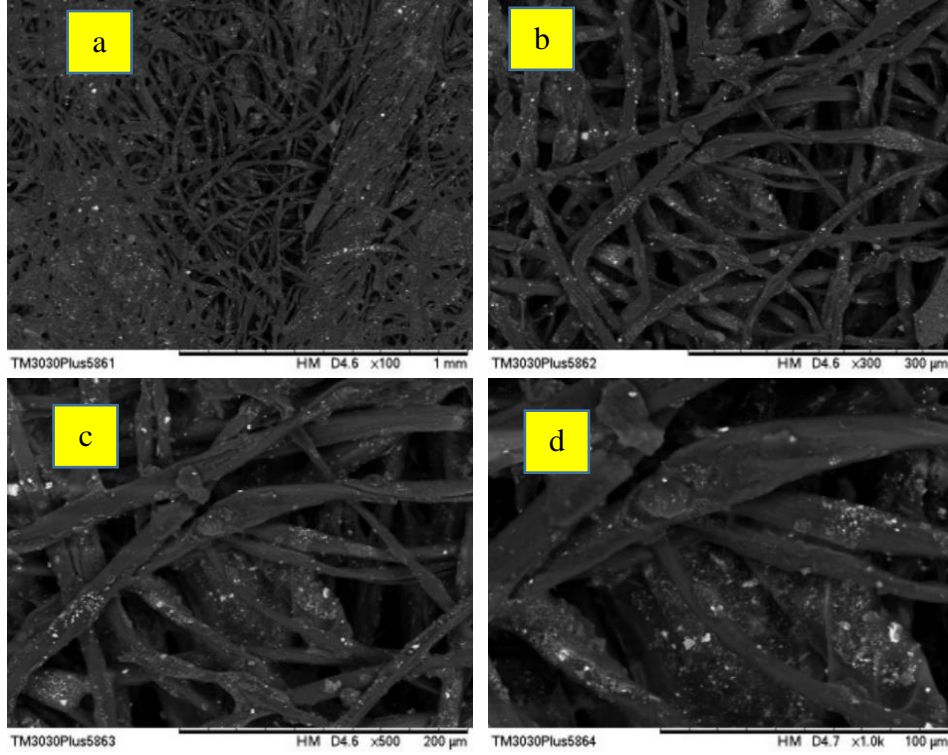
Bu da şekil 4.1.’deki FT-IR görüntülerinde detaylı olarak görülebilmektedir.



Şekil 4.1 Aerojelsiz Tela ve Keçe kompozit malzeme FT-IR diyagramları (a) Tela yüzü (b) Keçe yüzü



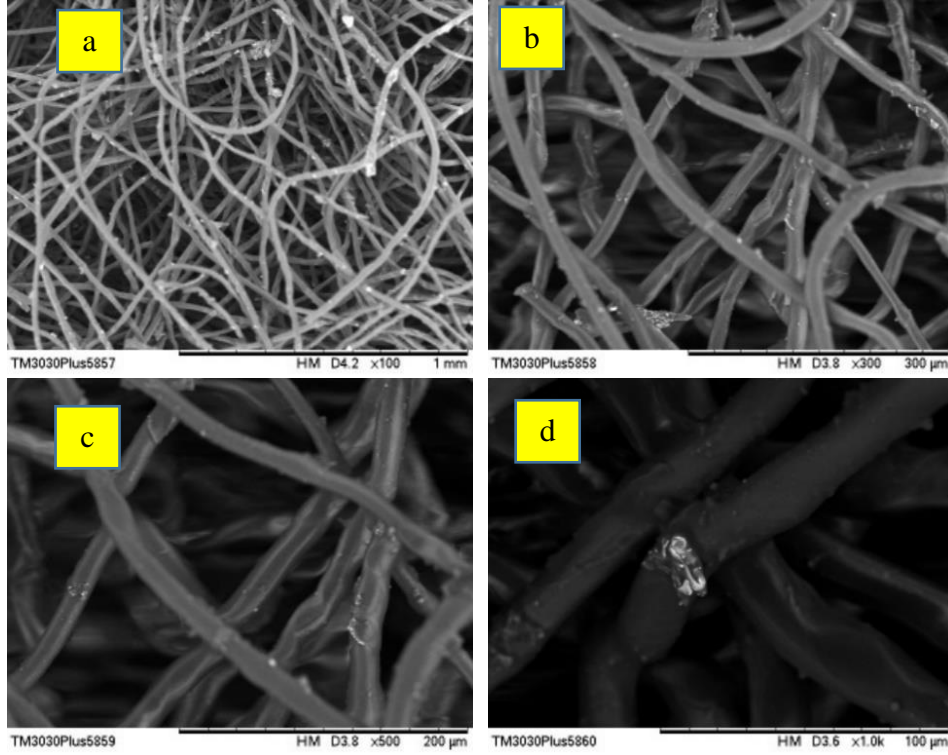
Şekil 4.2. (a) polyester, (b) takviyeli polyester, (c) kaplı polyesterin Fourier dönüşümü kızılötesi spektrumları (FT-IR). (Pasichnyk, M., ve diğerleri, 2022)



Şekil4.3. Aerojel içermeyen keçeeye ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 µm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 µm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 µm çözünme aralığı (d)

Geri dönüştürülmüş keçe malzemesinin SEM görüntüsünde (Şekil 4.3), düzensiz şekilli liflere ve ağ benzeri bir yapıya sahip oldukça gözenekli bir yüzey gözlemlenmektedir. Lifler, malzeme boyunca karmaşık bir açık alanlar ağı oluşturarak iç içe geçmiş gibi olduğunu görmekteyiz. Yüzeyin bazı alanları liflerin daha homojen bir dağılımı ile daha pürüzsüz görünür durumda iken, diğer alanlar daha pürüzlü ve dokulu görünmektedir. Genel olarak, SEM görüntüsü, geri dönüştürülmüş keçe malzemesinin yüksek derecede gözenekliliğe sahip karmaşık, heterojen bir malzeme olduğunu göstermektedir.

Polyester telanın SEM görüntüsünde (Şekil 4.4), hafif pürüzlü bir dokuya ve rastgele bir lif dağılımına sahip bir yüzey göstermektedir. Lifler, ara sıra eğilmeler ve bükülmeler ile nispeten ince ve düz görünür. Tela, üç boyutlu bir yapıya sahiptir. Bazı alanlar daha kompakt ve sıkı bir şekilde paketlenmiş görünürken, diğerleri daha gevşek, daha açık bir yapıya sahiptir.



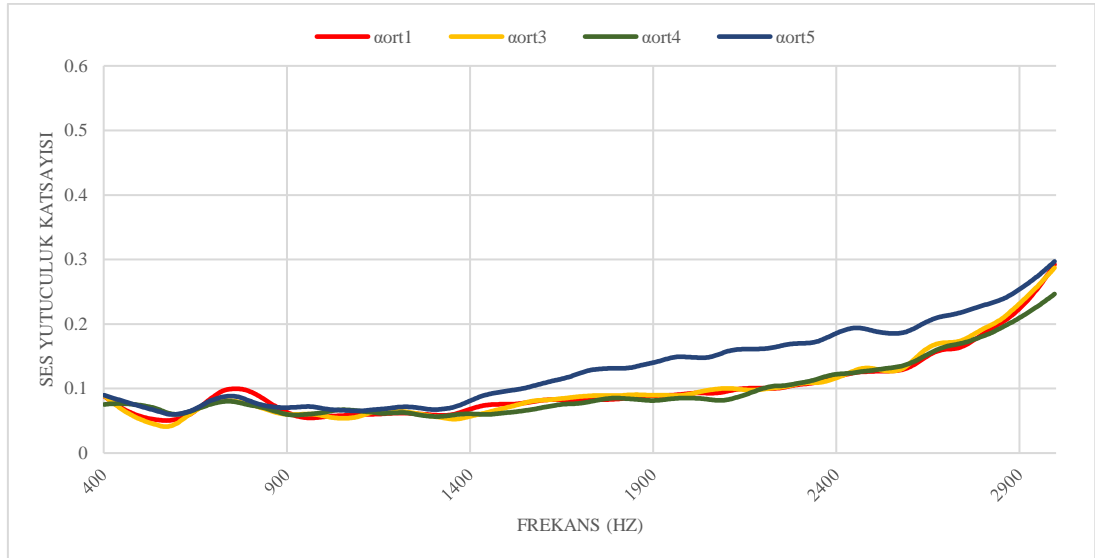
Şekil4.4. Aerojel içermeyen telaya ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 μm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 μm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 μm çözünme aralığı (d)

4.2. Toz Formunda Uygulama

Aerojellerin toz formunda uygulandığı tela keçe kompozit yapılarının bölüm 4.1’de incelenen aerojel içermeyen yapılar ile karşılaştırılması sonucunda Şekil 4.5.’de görüldüğü gibi ses yutum katsayıları değerlendirildiğinde PISA tozun 1400 – 3000 Hz arasında diğer yapılara göre daha iyi performans gösterdiği görülmektedir. Bir malzemenin yüzeyindeki mikroskobik düzensizlikler, yüksek frekanslı ses dalgalarını dağıtabilir ve emebilir, bu da bu frekanslarda ses emiliminin artmasına neden olur. Bunun nedeni, yüksek frekanslı ses dalgalarının dalga boylarının bu mikroskobik düzensizliklerin boyutunda olması, yani onlar tarafından etkili bir şekilde soğurulabilmesidir. Burada PISA yapıda gözenek boyutunun SA ve PIA yapılardan farklı yapıda olduğu ve bunun soğurulmada etkili olduğu düşünülmektedir. Özellikle silikanın varlığı ile mikroskobik düzensizliklerin oluşmasına etkisi olduğu düşünülmektedir. Ancak kompozit yapılara uygulanacak ısıl pres işlemi sırasında farklı parametreler ve

farklı sıkıştırma oranı uygulanması sonucunda elde edilecek farklı kalınlıktaki yapılarda ve aerojel granül boyutunun farklı uygulamaları sonucunda gözenekli yapının daha fazla artması nedeniyle performansların değişebileceği düşünülmektedir. (B. Turan, 2022; B.Sharma ve diğerleri, 2022),

Düşük, orta ve yüksek frekanslarda, enerji kayıplarını artıran sürtünme kayıplarının artması nedeniyle, test edilen numunelerin kalınlığının artmasıyla dokunmamış numunelerin ses emme katsayıları iyileşebileceği düşünülmektedir (Seddeq, H. S., ve diğerleri, 2013).

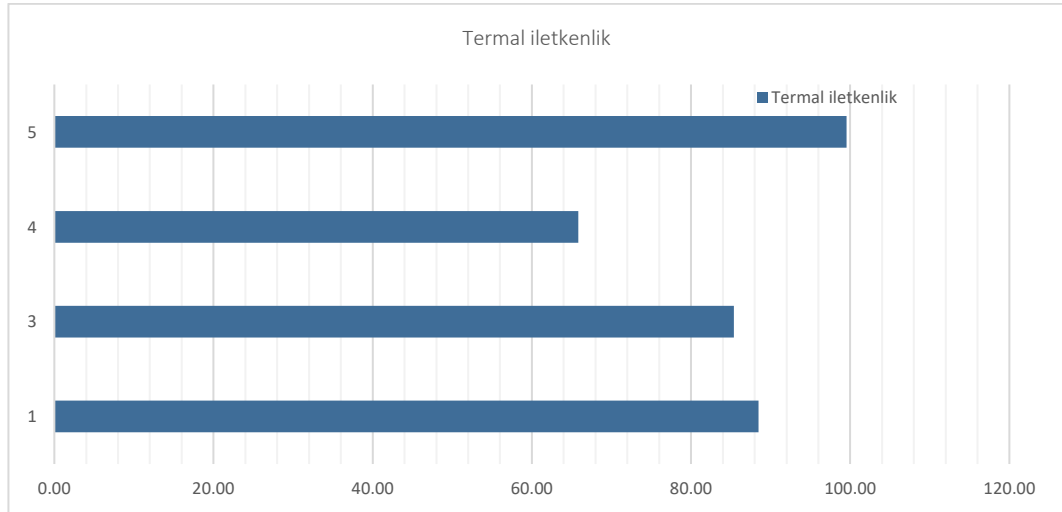


Şekil 4.5 Keçe tela kompozit yapı ve %10 Aerojel ile formlanmış yapıların ses yutuculuk katsayılarının karşılaştırılması (αort1: Standart Keçe + Standart Tela, αort3 : Standart Keçe + %10 PIA Toz + Standart Tela, αort4 : Standart Keçe + %10 SA Toz + Standart Tela, αort5 : Standart Keçe + %10 PISA Toz + Standart Tela)

Termal iletkenlik performanslarına bakıldığında ise SA toz içeren yapının diğer yapılara göre en iyi değere sahip olduğu görülmüştür. Parçacıklar ve yoğunluk arasındaki bağlantı, katı iletkenliği belirler. Poliimidin petek benzeri üç boyutlu gözenekli ağ yapısının daha yoğun ve gözenek boyutunun küçüldüğü ayrıca silikanın poliimid hücreleri üzerine eşit şekilde dağılmış bir görüntü oluşturduğu görülmektedir. Mikronun altındaki hücreler/gözenekler için gaz halindeki termal iletkenlik çok azalır. Gaz fazı küçük hücreler/gözenekler içinde tutulur, yani gaz MFP'lerine (atmosfer basıncında ve oda

sıcaklığında hava için 66 nm) benzer boyutlarda bir boşluk içinde tutulur, bu da gazın termal iletkenliğini azaltır, Knudsen etkisi olarak bilinen bir etki. Katı termal iletkenlik, polimer iskeletinin biridir. Aerojel tozu, üç boyutlu bir yapı oluşturan, birbirine bağlı nano boyutlu parçacıklardan oluşan bir ağdan oluşan oldukça gözenekli bir malzemedir. Bu benzersiz yapı, aerojel tozuna çok düşük bir termal iletkenlik de dahil olmak üzere olağanüstü termal özelliklerini verir. Ancak burada PISA hibrit toz yapıda görülen termal iletkenlik artışının sıkıştırılma veya yüksek sıcaklıklara maruz kalınca, gözenek yapısının çökmüş olabileceği veya daha az düzenli hale gelmiş olabileceği, bunun da termal iletkenlikte bir artışa yol açtığı düşünülmektedir. Buna ek olarak keçede bulunan epoksinin sıcaklığın etkisiyle eriyerek aerojel yapı üzerindeki küçük boyutlu gözenekleri doldurarak burada gaz fazının oluşmasını engellediği de düşünülebilir. (Lu, X., ve diğerleri, 1995; Karabulut, C., 2022; B. Merillas ve diğerleri, 2022).

Buna ek olarak özellikle keçe yapılarında kullanılan geri dönüşüm tekstil atıklarının her bölgede aynı olmayacağı, bunun da keçe yapısındaki gözenekliliği ve yoğunluğu etkileyebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durum partiler ve yapıların farklı bölümlerinde farklı performanslar görülmesine sebep olabilir.

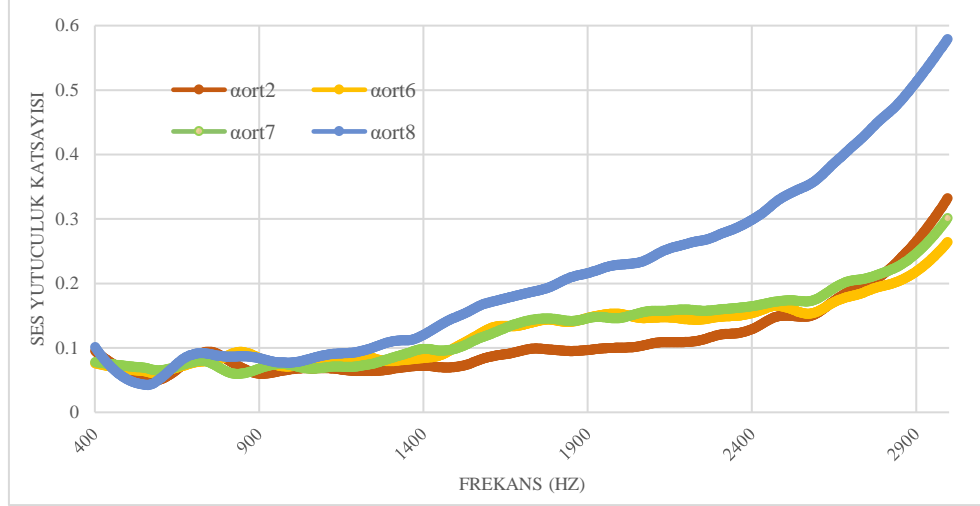


Şekil 4.6. Keçe tela kompozit yapı ile %10 Aerojel ile formlanmış yapıların termal iletkenliklerinin karşılaştırılması (1: Standart Keçe + Standart Tela, 3 : Standart Keçe + %10 PIA Toz + Standart Tela, 4 : Standart Keçe + %10 SA Toz + Standart Tela, 5 : Standart Keçe + %10 PISA Toz + Standart Tela)

4.3. Film Formunda Uygulama

Film formunda uygulamaların ses yutuculuk performansları incelendiğinde (Şekil 4.7.) PISA katkılı PU film içeren numunenin performansının daha iyi olduğu görülmektedir. Burada PISA yapıda gözenek boyutunun SA ve PIA yapılardan farklı yapıda olduğu ve bunun soğurulmada etkili olduğu düşünülmektedir. Özellikle silikanın varlığı ile mikroskobik düzensizliklerin oluşmasına etkisi olduğu düşünülmektedir. PU köpüğe aerjel eklendiğinde, malzemenin ses emme özelliklerini iyileştirebilen genel gözenekliliğini artırabilir. Aerjel, ses dalgalarını yansıtan ve soğuran bir ses bariyeri görevi görebilirken, PU köpük, ses enerjisini dağıtan ve ses iletimini azaltan bir ses emici görevi görebiliyor olduğu düşünülmektedir. (Lu, X., ve diğerleri, 1995; Karabulut, C., 2022; B. Merillas ve diğerleri, 2022; Liu, T., ve diğerleri, 2019; Cho, J., ve diğerleri, 2019)

Ses emilimindeki spesifik gelişme, PU köpüğe eklenen aerjel tipine ve miktarına bağlı olduğu görülmektedir. Genel olarak, karışımdaki aerjel miktarını artırmak, daha iyi ses emme performansına yol açabileceği, ancak yoğunluk, güç ve termal iletkenlik gibi diğer özellikleri de etkileyebileceği düşünülmektedir. Ancak burada unutulmaması gereken, bu numunenin preslenmeden kaynaklı olarak diğerlerinden ortalama 0.5 mm daha kalın olduğudur. Kalınlığın tüm numunelerde benzer olması durumunda, benzer bir davranış görülebileceği düşünülmektedir. Özellikle kalınlıktan bağımsız olarak aerjel katkılı PU içeren numunelerin 1000-2500 Hz bandında aerjel katkısız PU film içeren yapıya göre ses yutum katsayısının daha iyi olduğu görülebilmektedir. (Lu, X., ve diğerleri, 1995; Karabulut, C., 2022; B. Merillas ve diğerleri, 2022; Liu, T., ve diğerleri, 2019; Cho, J., ve diğerleri, 2019)



Şekil 4.7. Keçe PU film tela kompozit yapı ve %1 Aerojel katkılı PU filmler ile formlanmış yapıların ses yutuculuk katsayılarının karşılaştırılması. (α_{ort2} : Standart Keçe + PU film + Standart Tela, α_{ort6} : Standart Keçe + %1 PIA Toz Eklenmiş PU Film+ Standart Tela, α_{ort7} : Standart Keçe + %1 SA Toz Eklenmiş PU Film+ Standart Tela, α_{ort8} : Standart Keçe + %1 PISA Toz Eklenmiş PU Film+ Standart Tela)

Şekil 4.8’de ki Termal iletkenlik performansları incelendiğinde ise en iyi performansın PISA yapıda olduğu görülmektedir. Aerojel, PU köpük ile karıştırıldığında, ortaya çıkan malzemenin termal iletkenliğini önemli ölçüde azaltabilir. Aerojel, düşük yoğunluklu ve mükemmel yalıtım özelliklerine sahip oldukça gözenekli bir malzemedir, PU köpük ise iyi yalıtım özelliklerine sahip hafif bir malzemedir.

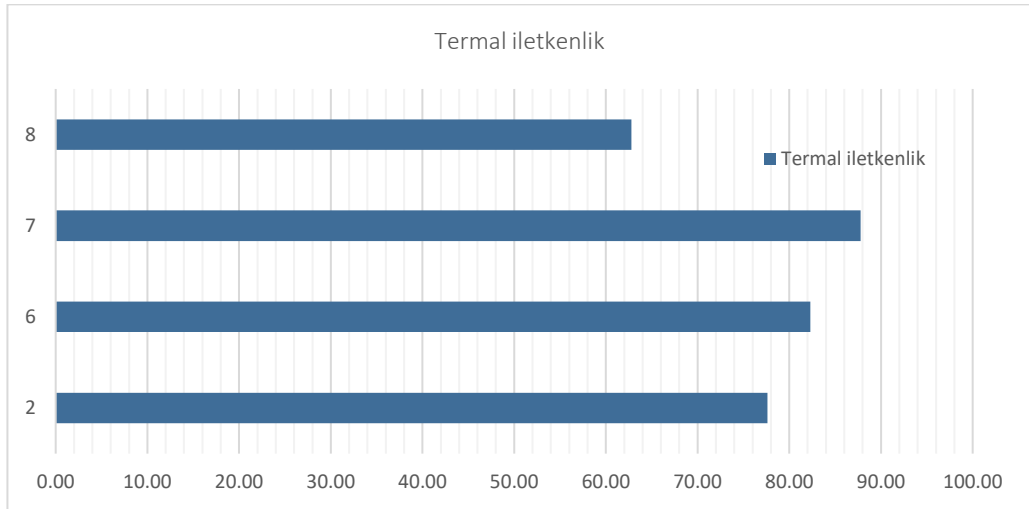
PU köpüğe aerojel eklenmesi, malzemenin geçebilecek ısı miktarını azaltarak yalıtım performansını artırabilir. Ortaya çıkan malzemenin termal iletkenliği, kullanılan aerojel miktarına ve türüne bağlı olarak azaltılabilir. (Lu, X., ve diğerleri, 1995; Karabulut, C., 2022; B. Merillas ve diğerleri, 2022; Liu, T., ve diğerleri, 2019; Cho, J., ve diğerleri, 2019)

Ses yutum performansını incelerken yukarıda ses emilimindeki spesifik gelişme, PU köpüğe eklenen aerojel tipine ve miktarına bağlı olduğunu ve genel olarak, karışımdaki aerojel miktarını artırmak, daha iyi ses emme performansına yol açabileceği, ancak yoğunluk, güç ve termal iletkenlik gibi diğer özellikleri de etkileyebileceği şeklinde yorumlamıştık. Burada %1’lik SA ve PIA yapıların PU köpük ile karışımında her ne kadar ses yutum özelliklerinde iyileşme gözlemlenmiş olsa da termal iletkenlik

performansını düşürdüğü görülmektedir. (Lu, X., ve diğerleri, 1995; Karabulut, C., 2022; B. Merillas ve diğerleri, 2022; Liu, T., ve diğerleri, 2019; Cho, J., ve diğerleri, 2019)

Yine termal iletkenlik sonuçları incelendiğinde PISA - PU film yapısında olmasının yine özellikle silikanın varlığı ile mikroskobik düzensizliklerin oluşmasına etkisi olduğu düşünülmektedir. Silikanın hidrofilik yapısı ve poliimid varlığı ile oluşan bu yapının hidrofilik özellik nedeniyle bünyesine PU köpük alması neticesinde bu mikro gözenekli yapının daha fazla korunduğu ve hem yansıtıcı düşünülmektedir. (Lu, X., ve diğerleri, 1995; Karabulut, C., 2022; B. Merillas ve diğerleri, 2022; Liu, T., ve diğerleri, 2019; Cho, J., ve diğerleri, 2019)

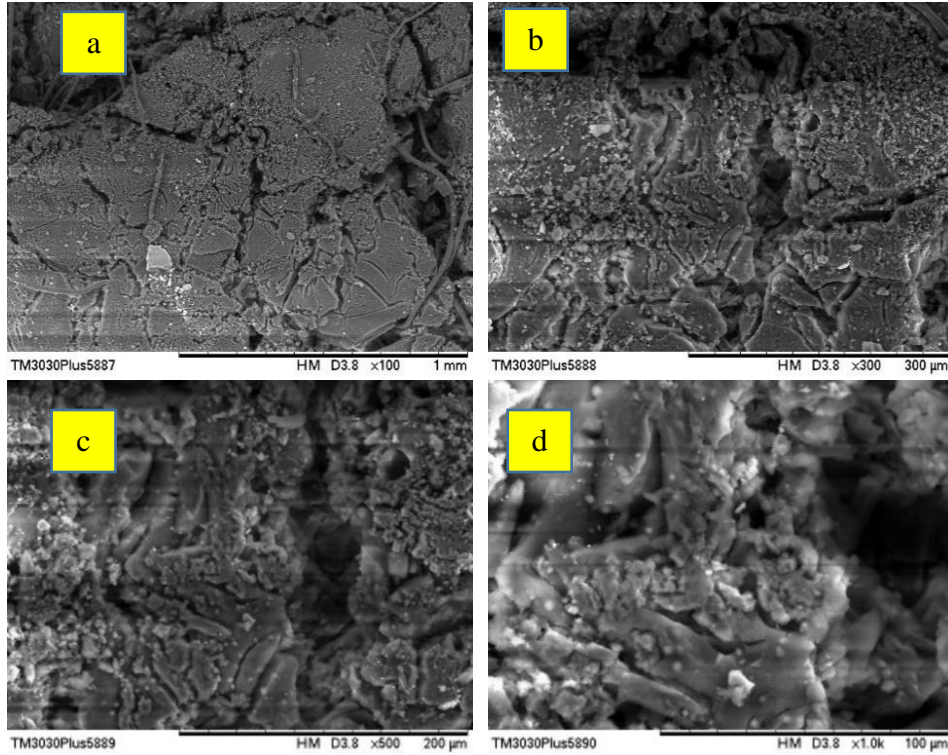
Genel olarak, PU köpüğe arojel eklenmesi, termal iletkenlikte önemli bir azalmaya yol açarak, elde edilen malzemeyi yalıtım uygulamaları için mükemmel bir seçim haline getirebilir. (Lu, X., ve diğerleri, 1995; Karabulut, C., 2022; B. Merillas ve diğerleri, 2022; Liu, T., ve diğerleri, 2019; Cho, J., ve diğerleri, 2019)



Şekil 4.8. Keçe PU film tela kompozit yapı ve %1 Arojel katkılı PU filmler ile formlanmış yapıların termal iletkenliklerinin karşılaştırılması. (2: Standart Keçe + PU film + Standart Tela, 6 : Standart Keçe + %1 PIA Toz Eklenmiş PU Film+ Standart Tela, 7 : Standart Keçe + %1 SA Toz Eklenmiş PU Film+ Standart Tela, 8 : Standart Keçe + %1 PISA Toz Eklenmiş PU Film+ Standart Tela)

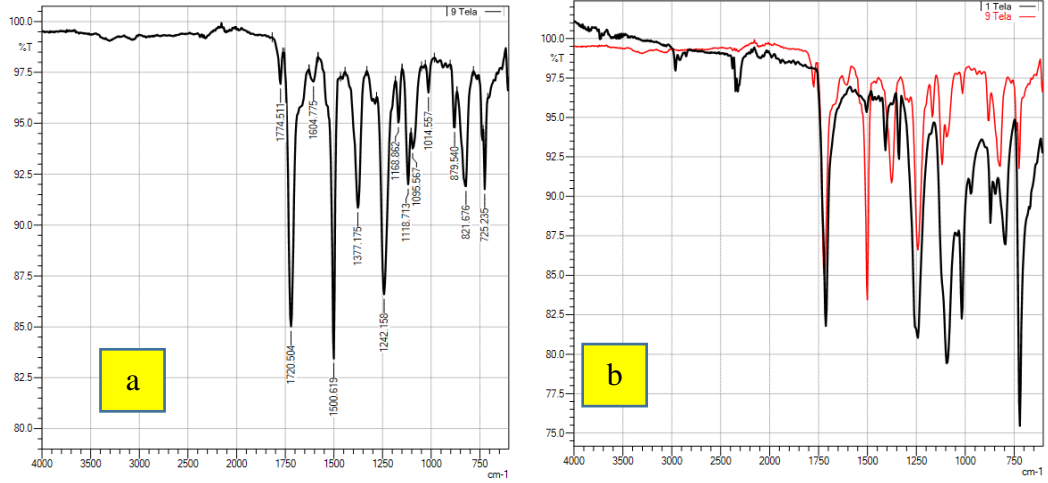
4.4. Kaplama Formunda Uygulama

PIA katkılı tela ile keçenin kaplanarak formlanması işlemi sonucunda elde edilen yapıya ait analiz sonuçları incelendiğinde; Şekil 4.9.de görülen SEM görüntülerinde yapıdaki gözeneklilik görülebilmektedir. PIA'in sentezlenmesi sırasında sol fazından jel fazına geçişin çok hızlı olması sebebiyle tela yapısı içerisinde yoğunluğun daha yüksek olduğu görülmektedir. PIA açık gözenekli yapısının varlığı Şekil 4.9'de görülebilmektedir.



Şekil 4.9. PIA içeren telaya ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 µm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 µm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 µm çözünme aralığı (d)

Alınmış olan SEM görüntülerinde farklı büyütme ve çözünme aralıklarında poliimid aerojellerin paketlenmiş kümeleri ile karşılaşılmıştır. Keçe kumaş ile oluşturulmuş olan yapı SEM cihazında daha yüksek derecelerde büyütme ve yaklaşıma izin vermemiştir. Bu nedenle gözenekli yapının varlığı görüntülenememiştir. (Süleyman Köytepe, 2007; Carolina Simon Herrero ve diğerleri, 2019; Shahriar Ghaffari Mosanenzadeh ve diğerleri, 2020; Emrah Çakmakçı, 2013).

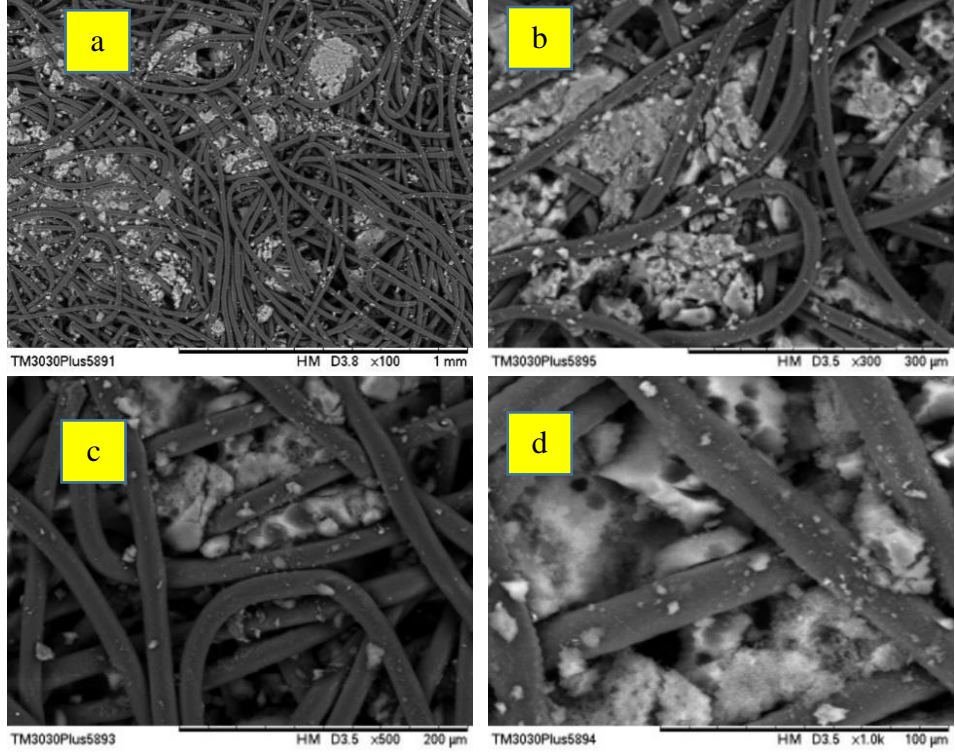


Şekil 4.10. PIA içeren telaya ait FT-IR diyagramı (a), ve aerojel içermeyen telanın FT-IR diyagramlarının karşılaştırılması (b)

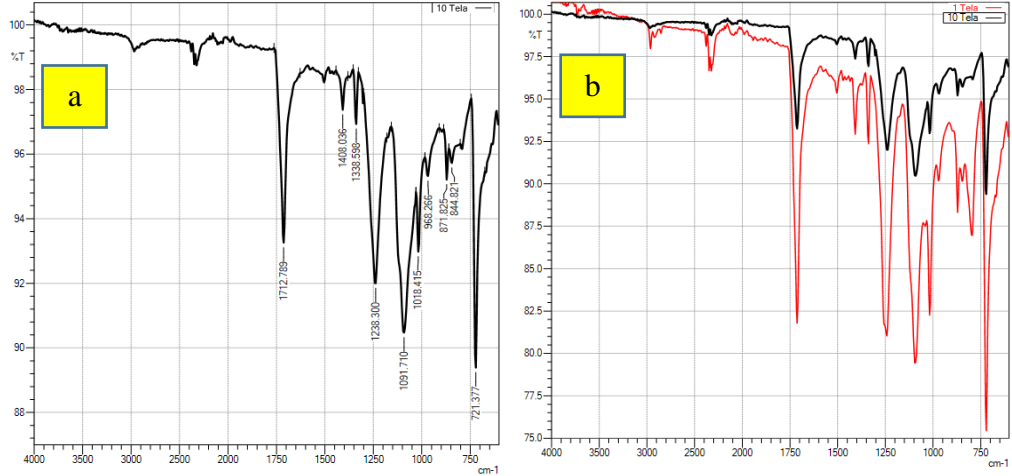
Tipik bir PI'da IR absorpsiyonu piklerinin, C=O karboksilik asit $1760-1690\text{ cm}^{-1}$, C=O Keton 1715 cm^{-1} , C=C Aromatik $1700-1500\text{ cm}^{-1}$, C—N Aromatik $1335-1250\text{ cm}^{-1}$ arasında olması beklenir. (Maurer, M. L., Tooker, A. C., & Felix, S. H., 2014). Bu değerler numunelerin FT-IR diyagramlarındaki tepe noktalarıyla uyumludur.

FT-IR diyagramları Şekil 4.10. incelendiğinde PI tela'nın diyagramında piklerin varlığı görülmektedir.

SA katkılı tela ile keçenin kaplanarak formlanması işlemi sonucunda elde edilen yapıya ait analiz sonuçları incelendiğinde; Şekil 4.11.de görülen SEM görüntülerinde yapıdaki gözeneklilik görülebilmektedir. SA'nın sentezlenmesi sırasında sol fazından jel fazına geçişin PI'in jelleşmesine göre çok yavaş olması sebebiyle yapı içerisinde daha az miktarda görülmektedir. Bölgesel açıdan bakıldığında hücresel aerojel yapıların varlığı net bir biçimde görülebilmektedir.



Şekil 4.11. Si aerojel içeren telaya ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 μm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 μm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 μm çözünme aralığı (d)

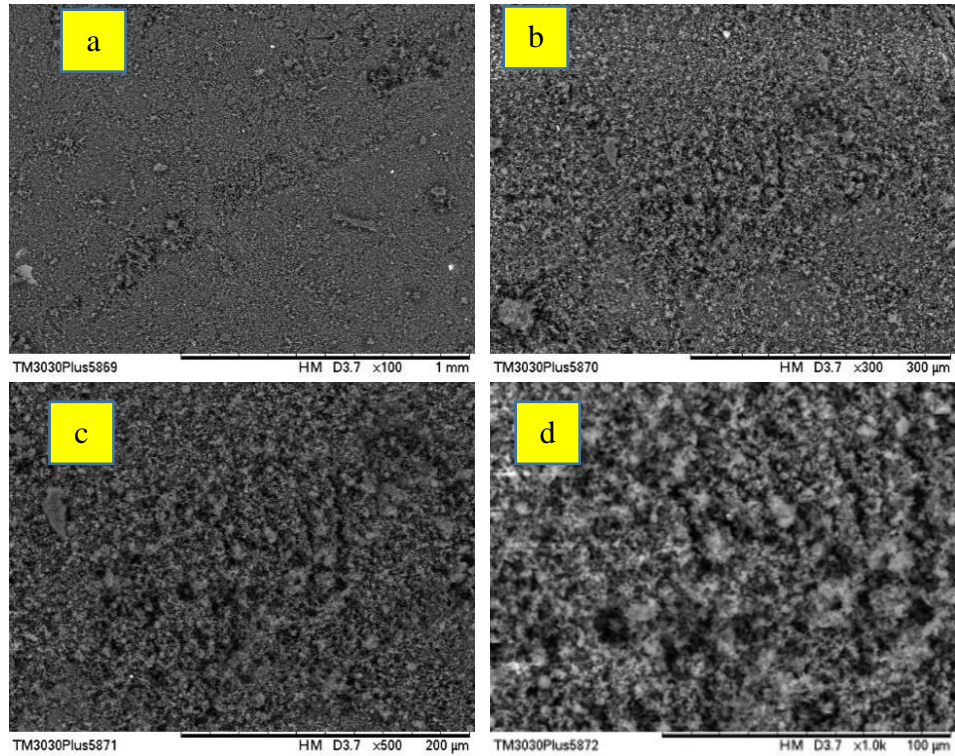


Şekil 4.12. SA içeren telaya ait FT-IR diyagramı (a), ve aerojel içermeyen telanın FT-IR diyagramlarının karşılaştırılması (b)

Şekil 4.12'te bulunan FT-IR diyagramlarının incelenmesinde 968 cm^{-1} seviyede gelen yeni tepe noktası ile $800\text{-}1250 \text{ cm}^{-1}$ arası gözlemlenmesi beklenen Si-O titreşimlerinin varlığını ifade ettiği düşünülmektedir.

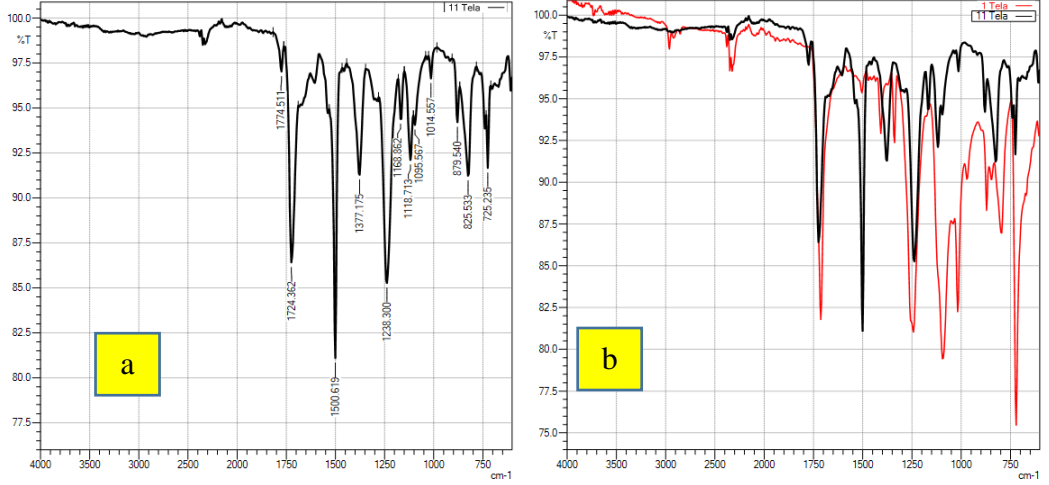
Tüm absorpsiyon tepe noktaları, dalga sayısı değerleri ile etiketlenmiştir. Polyester bileşen spektrumunda ester bağının karbonil grubunun C=O simetrik gerilme titreşimlerinden dolayı 1720 cm^{-1} 'de bir absorpsiyon bandı ve benzen halkasının C-H ve C-C titreşimlerinden kaynaklanan $850, 793$ ve 720 cm^{-1} 'deki ve Polyester elyafların C-OH ve C-O-C titreşimine ait $1370, 1338, 1240$ ve 1095 cm^{-1} 'deki soğurma bantları gözlemlendi. (Twaffiek, S., & Elhadad, S., 2020) Bu değerler numunelerin FT-IR diyagramlarındaki tepe noktalarıyla uyumludur.

PISA katkılı tela ile keçenin kaplanarak formlanmasında PI'nın hızlı jelleşmesi nedeniyle tela içerisinde ve yüzeyinde PISA'nın daha yoğun olarak bulunmasına sebep olmuştur. Aerojel yapı telanın yüzeyini tam olarak kaplamıştır. Şekil 4.13'de tela yüzeyindeki gözenekli yapının varlığı net olarak görülebilmektedir.



Şekil4.13. PISA içeren telaya ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 µm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 µm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 µm çözünme aralığı (d)

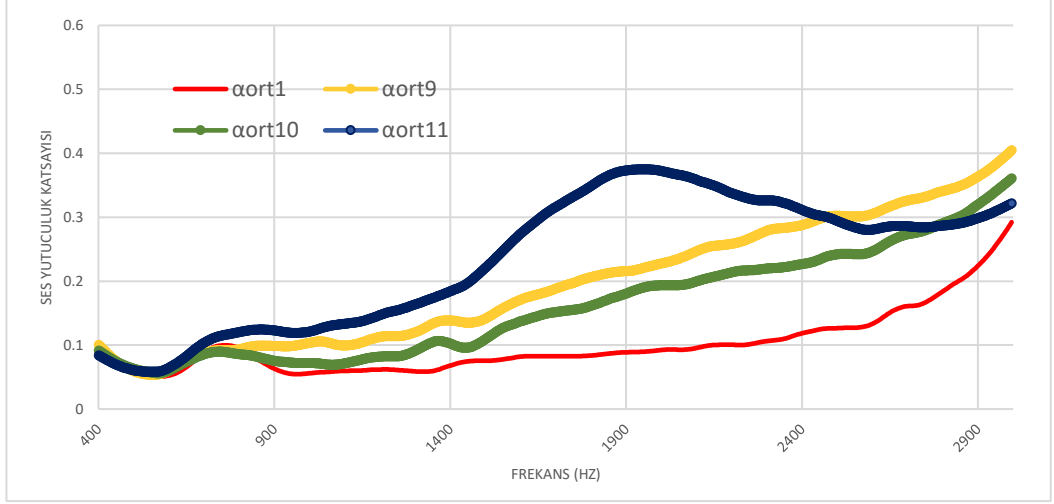
Silikanın, poliimidin petek benzeri üç boyutlu gözenekli ağ yapısının daha yoğun olduğu bir görüntü oluşturduğu görülmektedir. Ancak silika-poliimid hibrit kompozit yapılar ve farklı başlangıç maddeleri ile sentezlenmiş yapılarla uyumu karşılaştırıldığında benzerlik görülmektedir (Shuai Wu ve arkadaşları, 2016; Peng Yan ve arkadaşları, 2014; Wei Fan ve arkadaşları, 2019; Xinhai Zhang ve arkadaşları, 2020; Karabulut, C., 2022).



Şekil 4.14. PISA içeren tela'ya ait FT-IR diyagramı (a), ve aerogel içermeyen tela'nın FT-IR diyagramlarının karşılaştırılması (b)

Şekil 4.14'te bulunan FT-IR diyagramlarının incelenmesinde 1095 ve 1168 cm^{-1} seviyelerinde gelen yeni tepe noktaları ile 800-1250 cm^{-1} arası gözlemlenmesi beklenen Si-O titreşimlerinin varlığını ifade ettiği düşünülmektedir. 1500 cm^{-1} seviyesinde gelen C=C Aromatik bağ tepe noktası aynı şekilde PIA tela FT-IR diyagramında da görülebilmektedir.

Aerogel tela kaplamalı yapıların ses yutuculuk katsayılarının karşılaştırılması (Şekil 4.15) incelendiğinde tela formunda aerogel yapılarının aerogel içermeyen yapıya göre daha iyi performans gösterdiği görülebilir.

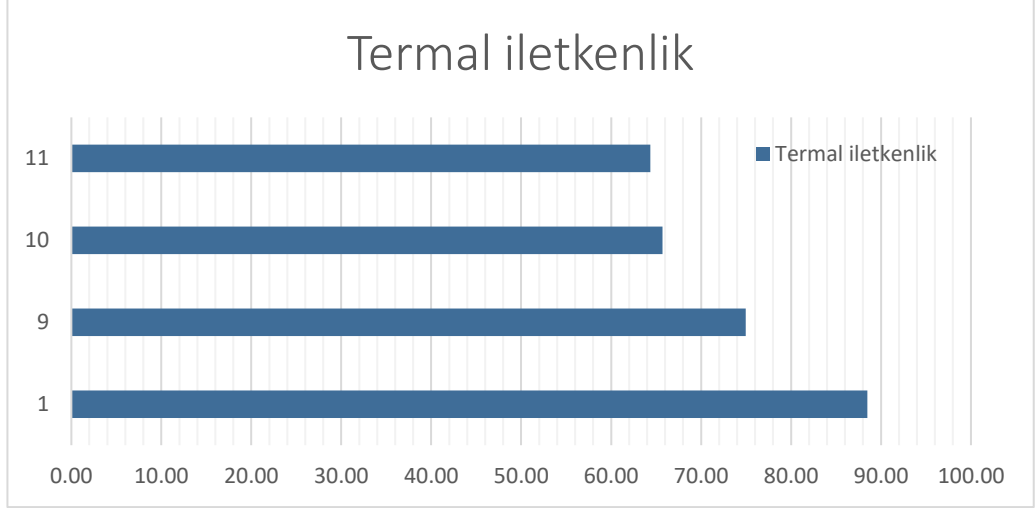


Şekil 4.15. Aerojel içermeyen keçe tela kompozit yapı ve Aerojel katkılı tela ile formlanmış yapıların ses yutuculuk katsayılarının karşılaştırılması. (α_{ort1} : Standart Keçe + Standart Tela, α_{ort9} : Standart Keçe + PIA Tela, α_{ort10} : Standart Keçe + SA Tela, α_{ort11} : Standart Keçe + PISA Tela)

Toz formunda uygulama bölümünde bir malzemenin yüzeyindeki mikroskobik düzensizliklerin, yüksek frekanslı ses dalgalarını dağıtabileceği ve emebileceği, bunun da bu frekanslarda ses emiliminin artmasına sebep olabileceği belirtilmişti. Bunun nedeni, yüksek frekanslı ses dalgalarının dalga boylarının bu mikroskobik düzensizliklerin boyutunda olması, yani onlar tarafından etkili bir şekilde soğurulabilmesidir. Ancak kompozit yapılara uygulanacak ısıl pres işlemi sırasında farklı parametreler ve farklı sıkıştırma oranı uygulanması sonucunda elde edilecek farklı kalınlıktaki yapılarda gözeneklilikte meydana gelecek değişim nedeniyle, performansların etkilenebileceği düşünülmektedir (B. Turan, 2022; B.Sharma ve diğerleri, 2022).

Düşük, orta ve yüksek frekanslarda, enerji kayıplarını artıran sürtünme kayıplarının artması nedeniyle, test edilen numunelerin kalınlığının artmasıyla dokunmamış numunelerin ses emme katsayılarının iyileşebileceği düşünülmektedir (Seddeq, H. S., ve diğerleri, 2013).

Aerojel tela kaplamalı yapıların termal iletkenliklerinin karşılaştırılması (Şekil 4.16) incelendiğinde tela formunda aerojel yapılarının aerojel içermeyen yapıya göre daha iyi performans gösterdiği görülebilir.

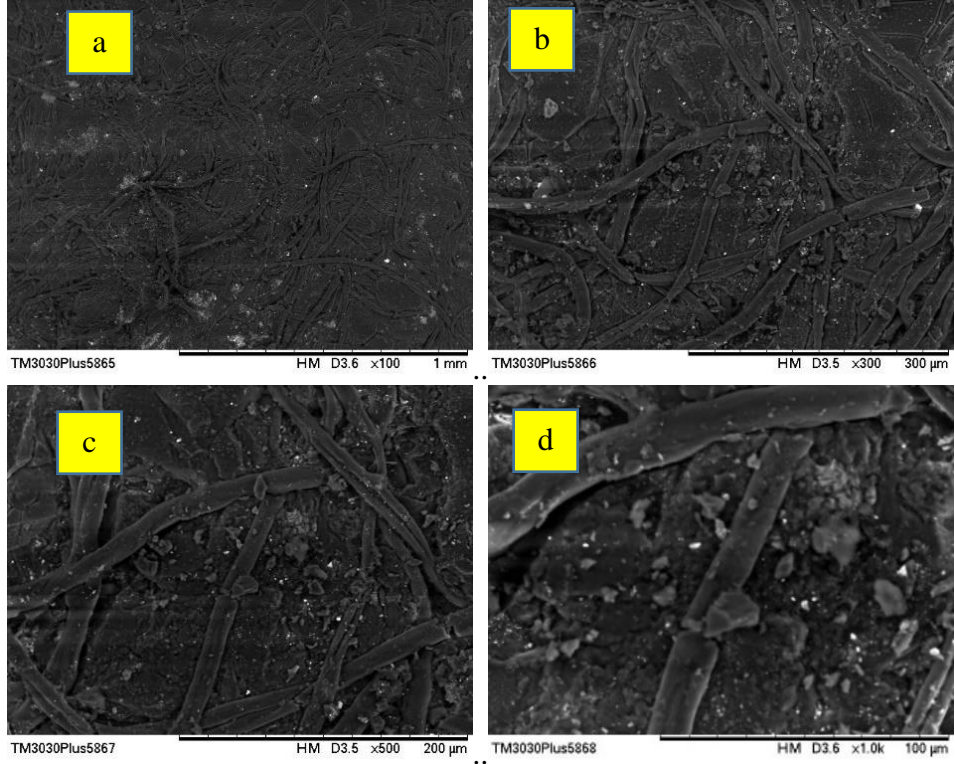


Şekil 4.16. Aerojel katkısız keçe tela kompozit yapı ve Aerojel katkılı tela ile formlanmış yapıların termal iletkenliklerinin karşılaştırılması. (1 : Standart Keçe + Standart Tela, 9 : Standart Keçe + PIA Tela, 10 : Standart Keçe + SA Tela, 11 : Standart Keçe + PISA Tela)

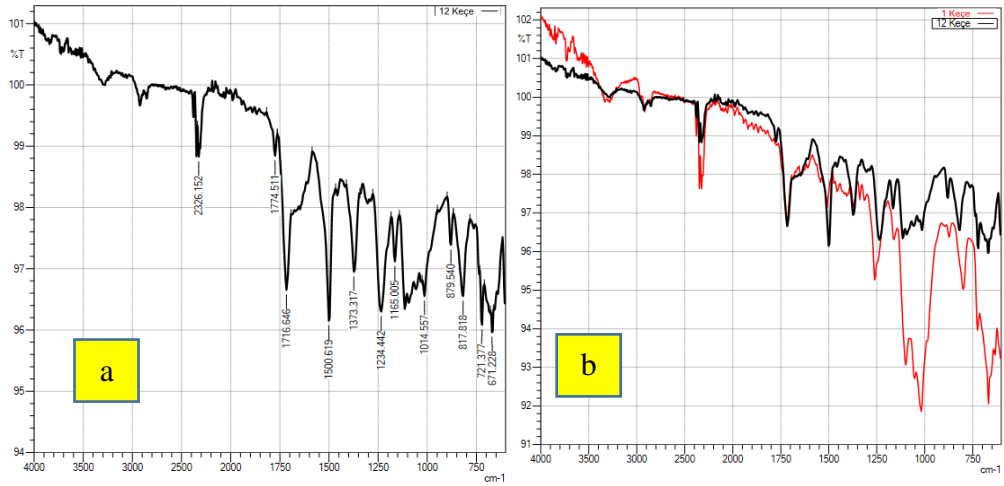
Hem termal hem de akustik anlamda daha iyi performansa sahip olan tela kaplamaların yüzeyde oluşan gözenekli katman ile azaltılan iletimin keçe formundaki aradaki boşluklarla daha da düşürdüğü düşünülmektedir. Tela formunun kalınlığının keçe forma göre daha ince olması sebebiyle daldırma sonrası yapı içerisinde kalan arojelilerin ısı pres işlemi ile sıkıştırılmasında gözenekli yapının çok fazla bozulmamasının etken olabileceği düşünülmektedir. En önemlisi, yeterince yüksek silika arojel içeren kompozitler, düşük hacimli bir büzülme sergiler ve yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra yüksek yüzey alanını korur. Böylece gözenekli yapı korunur. Açık gözenekli yapının akustik olarak yüzey alanıyla birlikte ortak malzeme özelliklerinin etkisi de dikkate alınmaktadır. (Kantor, Z., ve diğerleri, 2022), (Dong, W. , ve diğerleri, 2009).

4.5. Daldırma Formunda Uygulama

PIA daldırılmalı keçe formunun SEM görüntüleri Şekil 4.17’de görülmektedir. Keçe formu içerisinde PI Aerojel yapının hiç boşluksuz tam olarak oluşmuş olduğu ve ısı pres işlemi ile açık gözenekli yapının kaybolmuş olduğu düşünülmektedir. Burada PI tamamen hücresel yapılar halinde görülmektedir.



Şekil4.17. PIA içeren keçeye ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 µm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 µm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 µm çözünme aralığı (d)



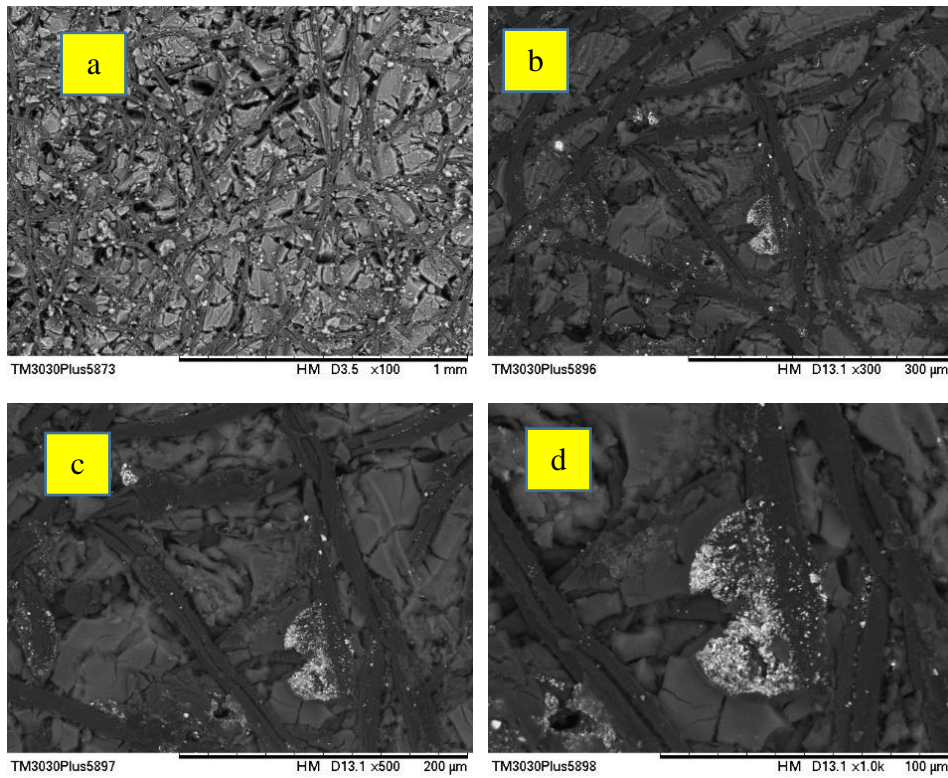
Şekil 4.18. PIA içeren keçeye ait FT-IR diyagramı (a), ve aerjel içermeyen keçenin FT-IR diyagramlarının karşılaştırılması (b)

Tipik bir PI'da IR absorpsiyonu piklerinin şu değerler arasında olması beklenir;

- C=O karboksilik asit 1760-1690 cm^{-1} ,

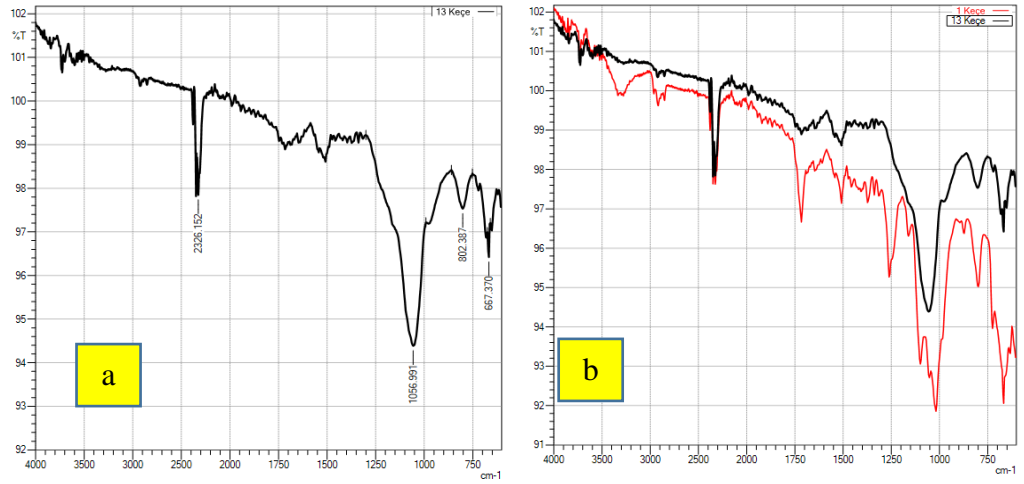
- C=O Keton 1715 cm^{-1} ,
- C=C Aromatik $1700\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$,
- C—N Aromatik $1335\text{-}1250\text{ cm}^{-1}$ (Maurer, M. L., Tooker, A. C., & Felix, S. H., 2014).

FT-IR diyagramları Şekil 4.18. incelendiğinde PIA keçenin diyagramında belirtilen piklerin varlığı görülmektedir.



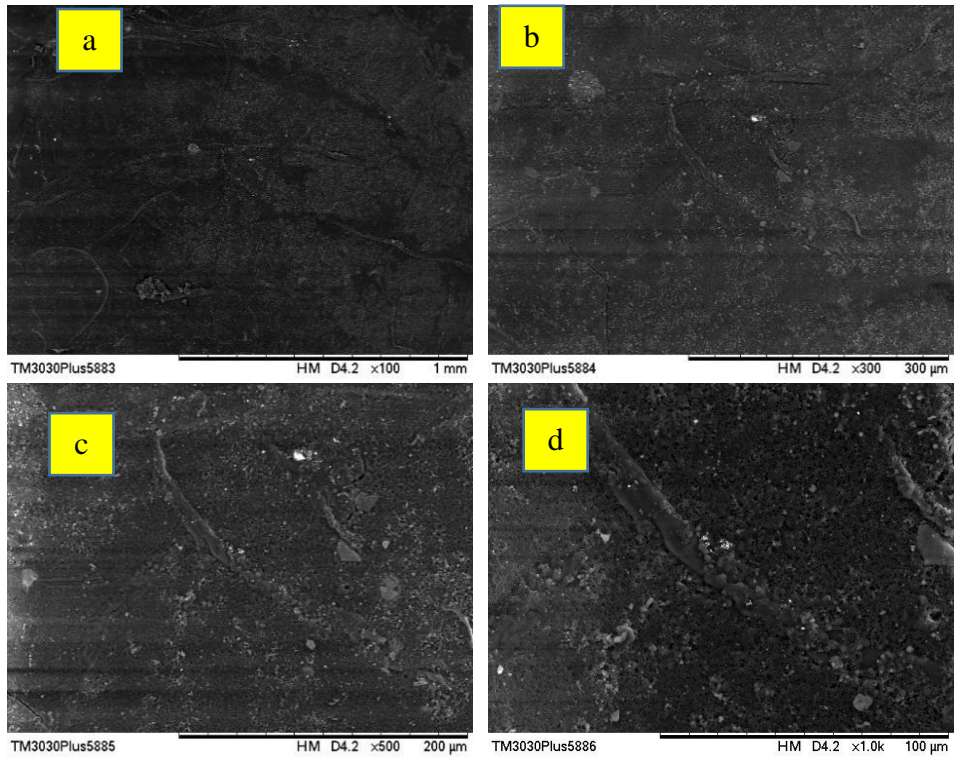
Şekil4.19. SA içeren keçeğe ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 µm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 µm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 µm çözünme aralığı (d)

SA daldırmalı keçe formunun SEM görüntüleri şekil 4.19'de görülmektedir. Keçe formu içerisinde Si aerogel yapınının PIA içeren keçe forma göre daha parçalı bir yapıya sahip olduğu görülebilir.



Şekil 4.20. SA içeren keçeye ait FT-IR diyagramı (a), ve aerogel içermeyen keçenin FT-IR diyagramlarının karşılaştırılması (b)

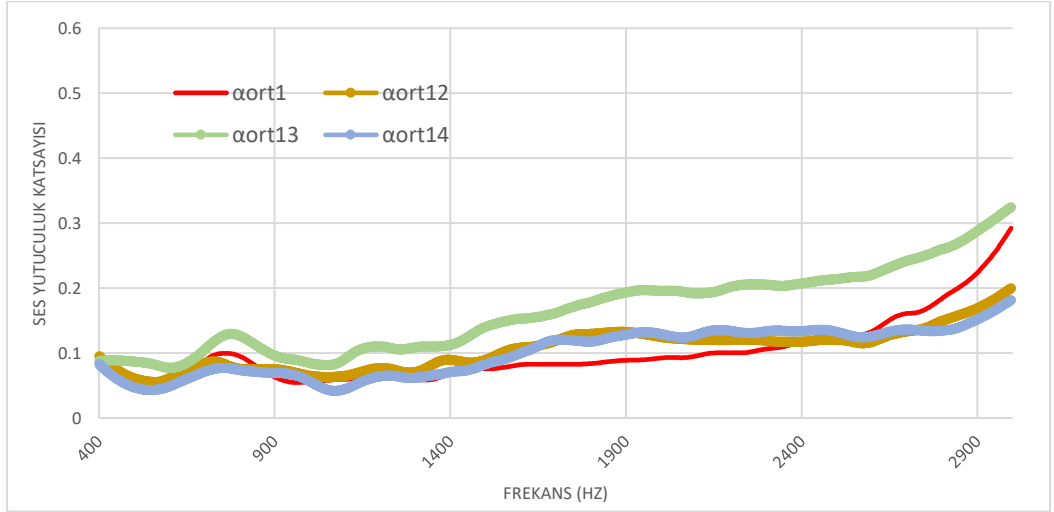
FT-IR diyagramları incelendiğinde ise 800-1250 arası gözlemlenmesi beklenen Si-O titreşimlerinin varlığını ifade ettiği düşünülmektedir.



Şekil4.21. PISA içeren keçeye ait SEM görüntüleri, 100 kat büyütme-1 mm çözünme aralığı (a), 300 kat büyütme-300 µm çözünme aralığı (b), 500 kat büyütme-200 µm çözünme aralığı (c), 1000 kat büyütme-100 µm çözünme aralığı (d)

PISA içeren keçeye ait SEM görüntüleri incelendiğinde yüzeydeki açık gözenek yapısı görülebilmektedir.

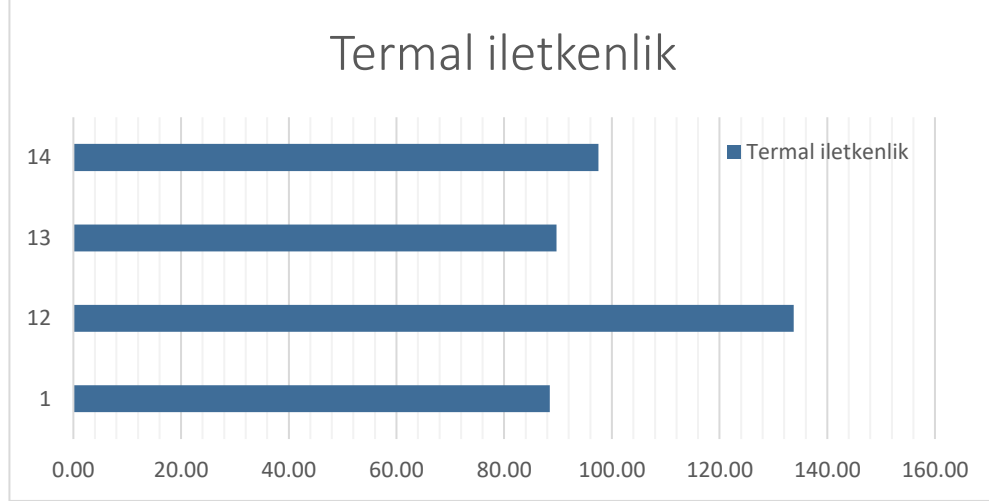
Her üç numuneye ait empedans ölçüm sonuçlarının karşılaştırılmasında SA içeren keçe ve SA içeren Tela kombinasyonu ile hazırlanan kompozit yapının daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. PI içeren yapıların 2400 Hz üzerinde düşüş gösterdiği görülmektedir. Ancak 1400-2400 Hz bandında Aerojel içeren yapıların Ses yutuculuk katsayılarının daha yüksek olduğu grafikte (Şekil 4.22) görülmektedir.



Şekil 4.22. Aerojel içermeyen keçe tela kompozit yapı ve Aerojel katkılı tela keçe formlanmış yapıların ses yutuculuk katsayılarının karşılaştırılması. (αort1: Standart Keçe + Standart Tela, αort12 : PIA Keçe + PIA Tela, αort13 : SA Keçe + SA Tela, αort14 : PISA Keçe + PISA Tela)

Toz formunda uygulama bölümünde bir malzemenin yüzeyindeki mikroskobik düzensizliklerin, yüksek frekanslı ses dalgalarını dağıtabileceği ve emebileceği, bunun da bu frekanslarda ses emiliminin artmasına sebep olabileceği belirtilmişti. Bunun nedeni, yüksek frekanslı ses dalgalarının dalga boylarının bu mikroskobik düzensizliklerin boyutunda olması, yani onlar tarafından etkili bir şekilde soğurulabilmesidir. Ancak kompozit yapılara uygulanacak ısıl pres işlemi sırasında farklı parametreler ve farklı

sıkıştırma oranı uygulanması sonucunda elde edilecek farklı kalınlıktaki yapılarda gözeneklilikte meydana gelecek değişim nedeniyle, performansların etkilenebileceği düşünülmektedir. (B. Turan, 2022; B.Sharma ve diğerleri, 2022),



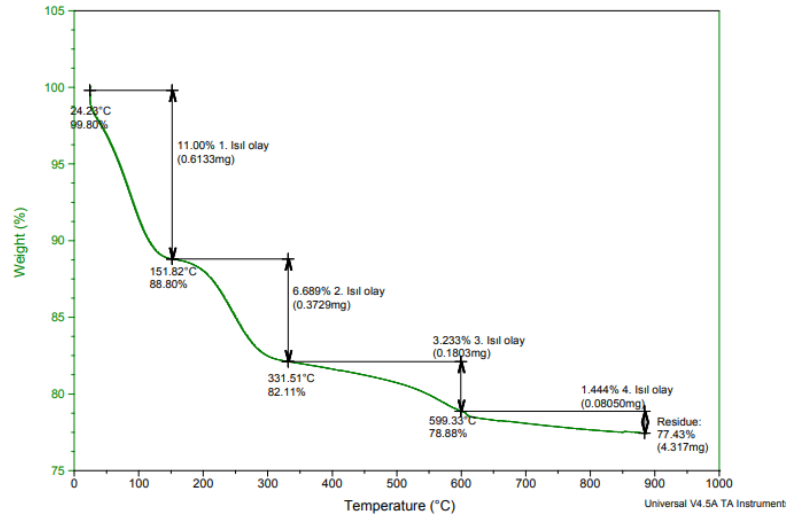
Şekil 4.23. Aerojel katkısız keçe tela kompozit yapı ve Aerojel katkılı tela keçe formlanmış yapıların termal iletkenliklerinin karşılaştırılması. (1: Standart Keçe + Standart Tela, 12 : PIA Keçe + PIA Tela, 13 : SA Keçe + SA Tela, 14 : PISA Keçe + PISA Tela)

Şekil 4.23'teki termal iletkenlik değerleri incelendiğinde ise hem keçe hem de tela formu aerojel uygulanmasında performansların aerojel içermeyen kompozit yapıya göre daha olumsuz bir sonuç verdiği görülmektedir. Parçacıklar ve yoğunluk arasındaki bağlantı, katı iletkenliği belirler. Mikronun altındaki hücreler/gözenekler için gaz halindeki termal iletkenlik çok azdır. Burada hem keçe hem de tela yüzeylere sol çözeltilisine daldırılarak elde edilmiş olan yapılarda dokunmamış yüzey içerisindeki oransal miktarın kontrolünün zor olması nedeniyle yapı içerisindeki aerojel miktarının, yapının kendi ağırlığı kadar bir oranda olması ve keçe iç yapısı içerisinde konumlanan yapıların özellikle PIA olanda gözenekli yapının oluşmasını zorlaştırması olduğu düşünülmektedir. Ayrıca yapının sol ile dolu olması nedeniyle hem yaşlandırmada hem de süper kritik aşamalarında işlemlerin etkinliği de incelenmelidir.

4.6. Sentezlenmiş Olan Aerojel Yapıların TGA Grafiklerinin incelenmesi

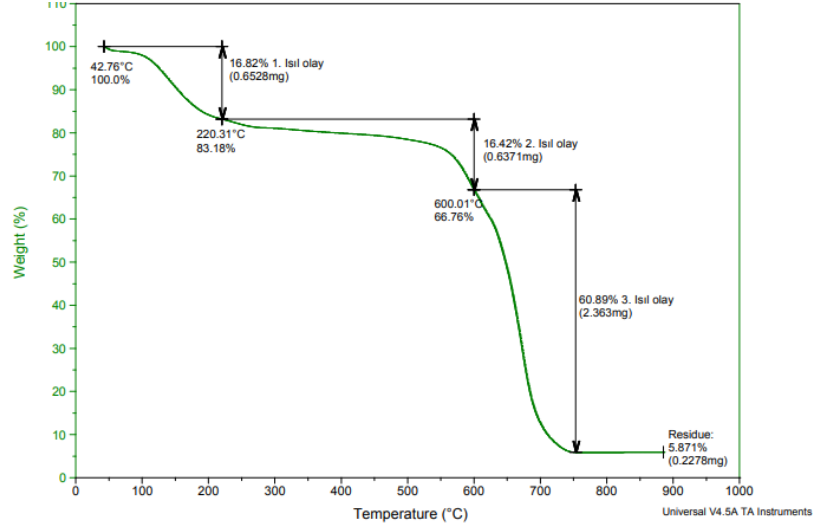
Sentezlenmiş olan aerojellerin proje kapsamında gerçekleştirilmiş olan TGA grafiklerinin incelenmesi bu bölümde gerçekleştirilecektir.

SA yapıların TGA grafiği Şekil 4.24'te görülmektedir. 0-900 °C aralığında gerçekleştirilen analizde yapıda kalıntı olarak kalan çözücülerin varlığı ve bunların buharlaşmaları 151°C'ye kadar düşüşün gerçekleşmesine sebep olmuştur. 599°C'ye kadar Si-CH₃ (331°C'ye kadar) ve metil gruplarının (331°C'den sonra) oksidasyonunun gerçekleştiği görülebilmektedir. 599°C itibariyle kristalizasyonun gerçekleştiği görülebilir.



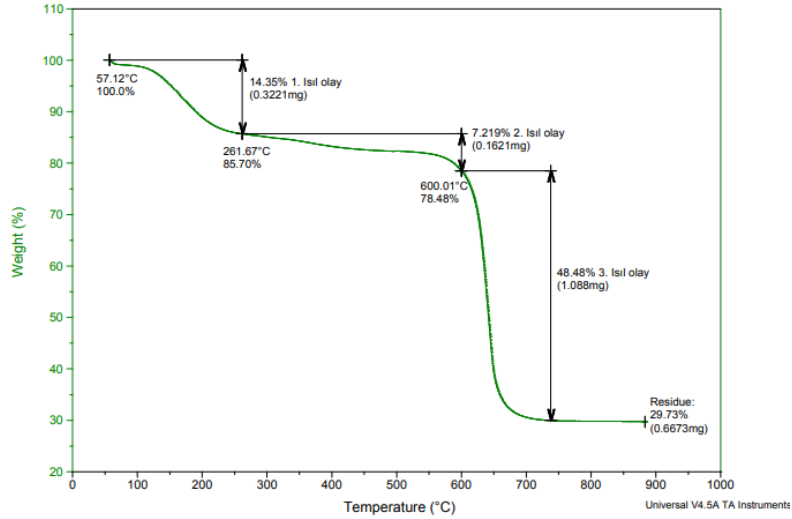
Şekil 4.24. SA'ya ait TGA analiz grafiği

PIA yapıların TGA grafiği Şekil 4.25'te görülmektedir. Literatürde yapılan incelemelerde Poliimidin sıcaklığın etkisi ile yapı ve gözenek kaybına uğradığıdır. TGA analizinde de 220 °C'ye kadar gerçekleşen 1. Isıl olay sonucunda %16,82'lik bir kayıp görülmektedir. 220 – 600 °C arasında gerçekleşen 2. Isıl olayda ise kütle kaybının aynı stabilitede devam etmekte olduğu görülmektedir. 600 °C üzeri ise ani ve yoğun bir kütle düşünden bahsedilebilir. Bunun da yapıdaki termal bozulmadan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4.25. PI'ya ait TGA analiz grafiği

PISA yapıların TGA grafiği Şekil 4.26'da görülmektedir. Hem PIA hem de SA TGA grafiklerinde hem de bu grafikte yapıların 600 °C ye kadar ana yapının korunduğu görülmektedir. Ancak PI'in sıcaklıkla birlikte gözenek yapısını kaybettiği ancak hibrit yapıda bu yapının Si tarafından tutulduğu literatürde de bahsedilmektedir. Böylece gerçekleşen analiz grafiğinin de bu yorumlarla uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 4.26. PISA'ya ait TGA analiz grafiği

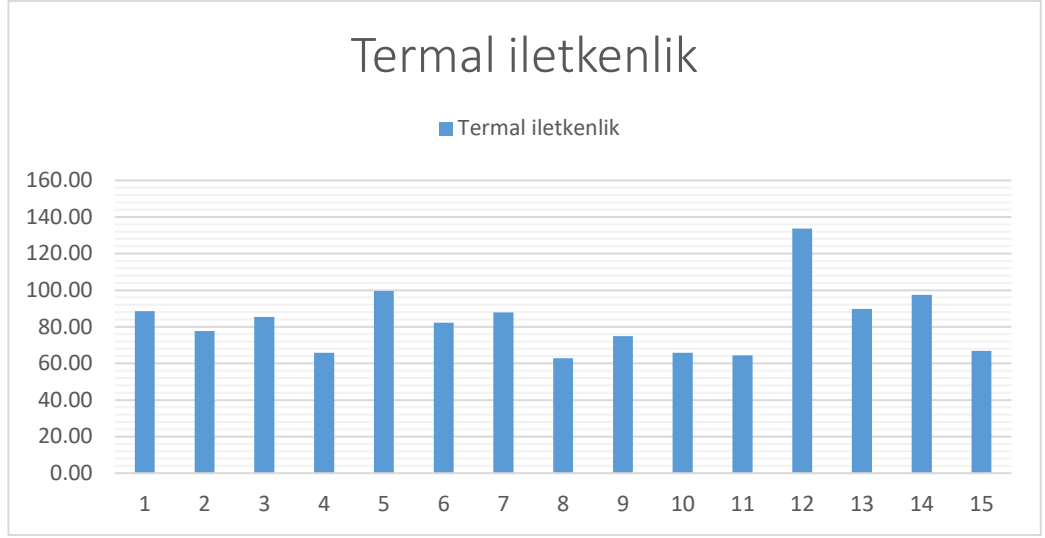
4.7. Tüm numunelerin termal ve ses iletim değerlerinin karşılaştırılması

Bölüm 3.2.1. de belirtilmiş olan numunelerin test sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 4.1’de görülmektedir.

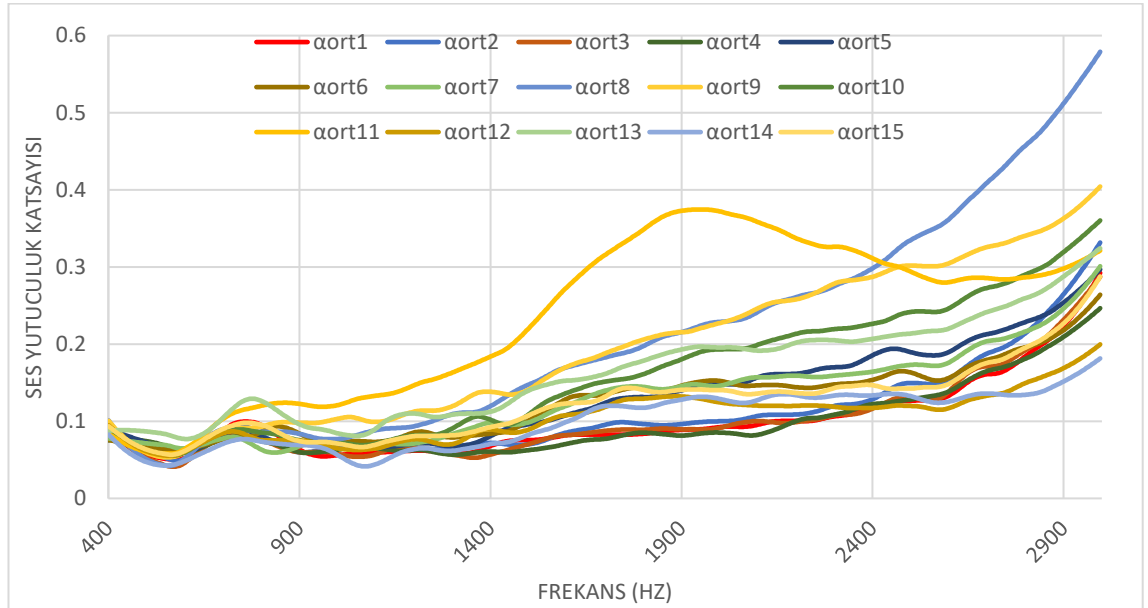
Çizelgede belirtilmiş olan λ_{ort} termal iletkenlik, a_{ort} termal yayılma, b_{ort} termal yutma, h_{ort} numune kalınlığı, p_{ort} en yüksek ısı akım yoğunluğu oranı (q_{1max}/q_s), q_{ort} en yüksek ısı akım yoğunluğu ($q_1 \text{ max}$) değerlerini ifade etmektedir.

Çizelge 4.1. Termal ölçüm sonuçları tablosu

Numune	λ_{ort}	a_{ort}	b_{ort}	r_{ort}	h_{ort}	p_{ort}	q_{ort}
1 - Standart Keçe + Standart Tela	88.50	0.42	250.33	15.83	1.45	1.55	0.406
2 - Standart Keçe + PU film + Standart Tela	77.63	0.13	164.28	17.43	1.35	1.46	0.360
3 - Standart Keçe + %10 PIA Toz + Standart Tela	85.38	0.14	250.25	15.93	1.36	1.75	0.467
4 - Standart Keçe + %10 SA Toz + Standart Tela	65.85	0.18	174.00	22.45	1.47	1.35	0.267
5 - Standart Keçe + %10 PISA Toz + Standart Tela	99.55	0.64	404.00	15.63	1.56	1.30	0.349
6 - Standart Keçe + %1 PIA Toz Eklenmiş PU Film+ Standart Tela	82.30	0.09	283.25	19.03	1.56	2.12	0.469
7 - Standart Keçe + %1 SA Toz Eklenmiş PU Film+ Standart Tela	87.78	0.18	230.67	19.48	1.69	1.52	0.346
8 - Standart Keçe + %1 PISA Toz Eklenmiş PU Film+ Standart Tela	62.80	0.15	135.20	39.48	2.44	2.93	0.343
9- Standart Keçe + PIA Tela	74.98	0.17	185.00	31.75	2.34	2.53	0.343
10- Standart Keçe + SA Tela	65.73	0.19	152.25	37.80	2.48	3.00	0.348
11 - Standart Keçe + PISA Tela	64.35	0.17	159.25	35.70	2.30	3.03	0.380
12 - PIA Keçe + PIA Tela	133.75	0.17	359.75	18.80	2.51	2.08	0.456
13 - SA Keçe + PIA Tela	89.75	0.18	214.00	27.78	2.42	2.58	0.408
14 - PISA Keçe + PISA Tela	97.53	0.18	304.25	26.53	2.58	2.29	0.421
15 - Standart Keçe + %10 Ticari SA Toz + Standart Tela	66.90	0.08	243.33	24.95	1.68	2.42	0.437



Şekil 4.27. Numunelerin termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.28. Numunelerin ses yutuculuk katsayılarının karşılaştırılması

Yapılmış olan çalışmalarda arojellerin dokunmamış yüzeylere ya kaplama ya da yapının üretimi sırasında elyafa yapılan keçeleştirme işlemi sırasında oransal olarak partiküllerin verilmesi şeklinde en iyi sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir. (Zhou, L ve diğerleri, 2022), (Sun, W., ve diğerleri 2022), (Madushika, J. W. A., & Lanarolle, W. D. G., 2022), (Mazrouei-Sebdani, Z., ve diğerleri, 2021).

Ayrıca literatür araştırmalarında, uygulamada kullanılacak olan arojel partikül büyüklükleri, uygulanma şekilleri, oranları ve yapı içerisindeki dağılımlarının da yapılacak olan uygulamaya bağlı olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Bunun dışında bir diğer önemli nokta da arojel ile yapılmış olan çalışmalarda belirtildiği gibi, arojelin miktarının fazla olmasının yapının performansını her zaman arttırmadığıdır. Burada yukarıda belirtilen parametrelerin de etkisi olmaktadır.

Termal (şekil 4.27) ve empedans (şekil 4.28) performansları karşılaştırıldığında en iyi sonucu veren numunelerin Standart Keçe + %10 SA Toz + Standart Tela, Standart Keçe + %1 PISA Toz Eklenmiş PU Film+ Standart Tela, Standart Keçe + PIA Tela, Standart Keçe + SA Tela ve Standart Keçe + PISA Tela numuneler olduğu diyagramlardan anlaşılmaktadır. Özellikle silikanın varlığının mikroskobik düzensizliklerin oluşmasına etkisi olduğu düşünölmektedir. PU köpüğe arojel eklendiğinde, malzemenin ses emme özelliklerini iyileştirebilen genel gözenekliliği artırabilir. Arojel, ses dalgalarını yansıtan ve soğuran bir ses bariyeri görevi görebilirken, PU köpüğün, ses enerjisini dağıtan ve ses iletimini azaltan bir ses emici görevi gördüğü düşünölmektedir. Hem termal hem de akustik anlamda daha iyi performansa sahip olan tela kaplamaların yüzeyde oluşan gözenekli katman ile azaltılan iletimin keçe formundaki aradaki boşluklarla daha da düşürdüğü düşünölmektedir. Tela formunun kalınlığının keçe forma göre daha ince olması sebebiyle daldırma sonrası yapı içerisinde kalan arojellerin ısıl pres işlemi ile sıkıştırılmasında gözenekli yapının çok fazla bozulmamasının etken olabileceği düşünölmektedir. En önemlisi, yeterince yüksek silika arojel içeren kompozitler, düşük hacimli bir büzölme sergiler ve yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra yüksek yüzey alanını korur. Böylece gözenekli yapı korunur. Açık gözenekli yapının akustik olarak yüzey alanıyla birlikte ortak malzeme özelliklerinde etkisi de dikkate alınmaktadır. (Kantor, Z., ve diğerleri, 2022), (Dong, W. , ve diğerleri, 2009).

Ancak yine de belirtildiği üzere partikül büyüklüğü, numune kalınlığı ve yapı içerisindeki homojen dağılımlarının sonuçları etkileyebileceği düşünölmektedir.

Ayrıca geri dönüşüm keçe olması yani tekstil kırıntılarından kazanılan keçe formunun kullanılması nedeniyle yapının her yerinde aynı içerik yapısına sahip olmadığı da göz önünde bulundurulmalıdır. Hidrofobik ve hidrofilik farklı elyaf tiplerinin farklı yoğunluklarının da daldırma yöntemlerinde sol solüsyonunun bünyeye katılmasını etkileyebileceği öngörülebilir. Bu çalışmada kullanılan numunelerde keçenin her bölgede aynı özelliklere sahip olduğu yani homojen bir yapıya sahip olduğu varsayılarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

DSC/TGA grafiklerinin akustik ve termal iletkenlik sonuçlarının incelenmesi sırasında dikkate alınması gerekmektedir. Si'nin yapıdaki varlığının gözenek boyutlarını ısıtma işlemde tutması sonucunda silika içeren yapıların performanslarının diğer yapılara göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. (Kantor, Z., ve diğerleri, 2022), (Dong, W. , ve diğerleri, 2009).

5. SONUÇ

Aerojellerin ultra yüksek gözenekli yapısı, termal ve akustik iletkenliklerinin düşük olması sebebiyle son yıllarda oldukça fazla araştırma alanı bulmaktadır. Özellikle çevreci sürdürülebilir yaklaşımlarla otomotiv endüstrisinde hem fosil yakıtlı hem de elektrikli araçlarda yakıt tüketimini azaltmak ve kullanıcı konforunun artırılabilmesi amacıyla hafif ve termal ve akustik yalıtımla önem kazanmıştır. Bu aynı zamanda hafif malzemelerin de kullanımını gerektirmektedir.

Bu tez çalışması 5200114 proje numaralı ‘Aerojel İçeren Formlamaya Uygun Hibrit Kompozit Yapıların Geliştirilmesi, Termal ve Akustik Özelliklerinin Araştırılması’ başlıklı projenin Tübitak-1505 Üniversite-Sanayi İşbirliği Destek Programı kapsamında gerçekleştirilmiştir. Hem otomotive hem de havacılık ve savunma sanayi sistemlerinde kullanılmakta olan NVH sistemi içerisindeki iç trim yapıların akustik ve termal özelliklerine aerojel yapıların etkisinin incelenmesi gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında Tela Keçe ve Tela PU Keçe şeklinde üretilmekte olan yapılara 4 farklı uygulama şeklinde monolit ve hibrit yapıların uygulanarak yapıya olan etkileri incelenmiştir.

Çalışmada 3 aerojel yapı kullanılmıştır.

- Silika Aerojel (SA)
- Poliimid Aerojel (PIA)
- Silika-Polimid Hibrit Aerojel (PISA)

Hazırlanmış olan aerojel yapılara 500-4000 nm dalga boyu aralığında FT-IR analizi yapılmış ve karakteristik yapıları incelenmiştir. Farklı çözünürlük boyutlarında SEM görüntüleri ile sol solüsyonuna daldırma metodu ile yapıya kazandırılan aerojel formların yüzey özelliklerine bakılmıştır. Kütle kaybı ve ısıl davranışlarının incelenmesi 0-1000 °C arasında gerçekleştirilen TGA analizleri ile sağlanmıştır.

Bu çalışmada, inorganik, organik ve hibrit aerjel yapıların farklı şekillerde otomotiv trim malzemelerine aktarımı incelenmiştir.

Yapılmış olan çalışmada literatürdeki verilerle uyumlu olarak gözenekliliğin termal ve akustik özellikleri artırıcı sonuçları gözlemlenmiştir. Ancak özellikle keçe yapılarda iç yapıda kalan aerjellerin performansı arttırmadığı da gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin yapının arasında kalmaları nedeniyle daha sıkı bir yapı oluşması ve gözenekli yapının yeteri kadar oluşmaması olduğu düşünülmektedir. Keçe gibi kalın ve yoğun yapılarda iç kısımlardaki yaşlandırma ve süperkritik gibi işlemlerin verimliliği de araştırılmalıdır.

Yapı içerisine üretim esnasında aerjellerin dahil edilmesinin performansını daha çok arttırabileceği ve ürün kalınlıklarının artması ile açık gözenek varlığının daha da arttırabileceği de hem çalışmada yapılan farklı uygulamalarda hem de yapılmış olan daha önceki çalışmalarda düşünülmektedir. Zira bu çalışmada meydana getirilen numuneler süperkritik işlemleri sonrasında ısıl işlemle preslenmişlerdir. Tekstil yüzeyinin hacminin küçülmesi ile yapıların içerisindeki gözenekli yapıların sıkışmış oldukları sonucuna da ulaşılabilir.

Tela yüzeylerin daldırma işlemi sonucunda aerjel yapıya kavuşturulmasında ise telanın zaten keçeye göre ince olan yapısının ısıl presleme sırasında çok fazla etkilenmediği ve gözenekli yapının keçe formlara göre daha çok korunduğu düşünülmektedir.

Yapılan çalışmada ayrıca silika içeriğinin monolit ve hibrit aerjel yapılarda gözenek yapısı ve miktarının korunmasında rol oynadığı da görülmektedir. Daha önce yapılmış olan çalışmalarda da belirtildiği gibi gözenekli yapının termal ve akustik performansının yükselmesini sağlayan açık gözenekli yapıların korunmasında Silika'nın miktarsal olarak varlığı önemlidir.

Otomotivde özellikle ihtiyaç olan ince, hafif, termal ve akustik özellikleri iyi kompozit yapıların elde edilmesi için alınmış olan sonuçların umut verici olduğu ve geliştirilmeye açık olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aegerter, M. A., Leventis, N., & Koebel, M. M. (Eds.). (2011). *Aerogels handbook. Springer Science & Business Media.*
- Anonim, (2011). *Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Kılavuzu*, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, 105 s.
- Anonim, (2022). *Çevresel Gürültü Kontrol Yönetmeliği*, Resmî Gazete, Tarihi: 30.11.2022 Sayı: 32029, Ankara
- Ayten, A. İ., Taşdelen, M. A., & Ekici, B. (2020). An experimental investigation on ballistic efficiency of silica-based crosslinked aerogels in aramid fabric. *Ceramics International*, 46(17), 26724-26730.
- Azam, F., Ahmad, F., Ulker, Z., Zafar, M. S., Ahmad, S., Rasheed, A., ... & Erkey, C. (2022). The Role and Applications of Aerogels in Textiles. *Advances in Materials Science & Engineering.*
- Barrios, E., Fox, D., Sip, Y. L., Catarata, R., Calderon, J. E., Azim, N., ... & Zhai, L. Nanomaterials in advanced, high-performance aerogel composites: A review, *Polymers (Basel)*. 11 (2019) 726.
- Bilgiç E. ve Sadikhov E., Gürültü ve Titreşim, 1994, *TÜBİTAK Ulusal Metroloji enstitüsü*, Gebze
- Bozoglu, D., Deligoz, H., Ulutas, K., Yakut, S., & Deger, D. (2019). Structural and dielectrical characterization of low-k polyurethane composite films with silica aerogel. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 130, 46-57.
- Cai, Z., Henriquez, V. C., & Lucklum, F. (2022). Experimental study of open to closed pore ratio on acoustic absorption of porous materials. In *24th International Congress on Acoustics.*
- Cho, J., Jang, H. G., Kim, S. Y., & Yang, B. (2019). Flexible and coatable insulating silica aerogel/polyurethane composites via soft segment control. *Composites Science and Technology*, 171, 244-251.
- Dinçer, S., Acaralı, N. B., Uzun, İ. N., & Deniz, S. (2007). Özel Ayırma İşlemlerinde İkinci Bir Seçenek: Süperkritik Akışkan Süreçleri. *Sigma Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi*, 25(2).
- Dong, W., Faltens, T., Pantell, M., Simon, D., Thompson, T., & Dong, W. (2009). *Acoustic Properties of Organic/Inorganic Composite Aerogels.* *MRS Proceedings*, 1188.
- Estaji, S., Paydayesh, A., Mousavi, S. R., Khonakdar, H. A., & Abiyati, M. M. (2021). Polycarbonate/poly (methyl methacrylate)/silica aerogel blend composites for advanced

transparent thermal insulations: Mechanical, thermal, and optical studies. *Polymer Composites*, 42(10), 5323-5334.

Fricke, J., & Tillotson, T. (1997). Aerogels: production, characterization, and applications. *Thin solid films*, 297(1-2), 212-223.

Hansen, C. H., Doolan, C. J., & Hansen, K. L. (2017). Fundamentals of acoustics and frequency analysis. *Wind Farm Noise: Measurement, Assessment*.

Kantor, Z., Wu, T., Zeng, Z., Gaan, S., Lehner, S., Jovic, M., ... & Zhao, S. (2022). Heterogeneous silica-polyimide aerogel-in-aerogel nanocomposites. *Chemical Engineering Journal*, 443, 136401.

Karabulut, C. (2022). *Konvansiyonel malzemeler için aerogel takviyesi ile düşük termal iletkenlik, düşük akustik iletkenlik ve iyi mekanik özelliklere sahip süper yalıtım keçelerin geliştirilmesi* (Master's thesis, Bursa Uludağ Üniversitesi).

Kawaoka, S., Oya, N., & Sugiura, K. (2020). Preparation and Characterization of Silica-Fiber/Aerogel Composite Heat Insulations. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 43(1), 228-234.

Kistler, S. S. (1931). Coherent expanded aerogels and jellies. *Nature*, 127(3211), 741-741.

Küçükali Öztürk, M., Uygun Nergis, B., Candan, C. (2010). Akustik özellikleri geliştirilmiş örme kumaş tasarımı, *TMMOB Tekstil Mühendisleri Odası Tekstil ve Mühendis Dergisi*, yıl 17 sayı 78,

Liu, Q., Yan, K., Chen, J., Xia, M., Li, M., Liu, K., ... & Xie, Y. (2021). Recent advances in novel aerogels through the hybrid aggregation of inorganic nanomaterials and polymeric fibers for thermal insulation. *Aggregate*, 2(2), e30.

Liu, H., & Zhao, X. (2022). Thermal conductivity analysis of high porosity structures with open and closed pores. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 183, 122089.

Lu, X., Caps, R., Fricke, J., Alviso, C. T., & Pekala, R. W. (1995). *Correlation between structure and thermal conductivity of organic aerogels*. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 188(3), 226–234.

Madushika, J. W. A., & Lanarolle, W. D. G. (2022). A review on novel approaches to enhance sound absorbing performance using textile fibers. *The Journal of The Textile Institute*, 113(2), 341-348.

Maurer, M. L., Tooker, A. C., & Felix, S. H. (2014). *Characterization of polyimide via FTIR analysis* (No. LLNL-TR-659320). Lawrence Livermore National Lab.(LLNL), Livermore, CA (United States).

- Mazrouei-Sebdani, Z., Begum, H., Schoenwald, S., Horoshenkov, K. V., & Malfait, W. J. (2021). A review on silica aerogel-based materials for acoustic applications. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 562, 120770.
- Mekonnen, B. T., Ding, W., Liu, H., Guo, S., Pang, X., Ding, Z., & Seid, M. H. (2021). Preparation of aerogel and its application progress in coatings: a mini overview. *Journal of Leather Science and Engineering*, 3(1), 1-16.
- Merillas, B., Vareda, J. P., Martín-de León, J., Rodríguez-Pérez, M. Á., & Durães, L. (2022). Thermal conductivity of nanoporous materials: where is the limit?. *Polymers*, 14(13), 2556.
- Montes, S., & Maleki, H. (2020). Aerogels and their applications. In *Colloidal Metal Oxide Nanoparticles* (pp. 337-399). Elsevier.
- Morfey, C. L. (2000). Dictionary of acoustics. *Academic press*.
- Mukhopadhyay, S. K., & Partridge, J. F. (1999). Automotive textiles. *Textile progress*, 29(1-2), 1-125.
- Nandanwar, A., Kiran, M.C. and Varadarajulu, K.Ch. (2017) Influence of Density on Sound Absorption Coefficient of Fibre Board. *Open Journal of Acoustics*, 7, 1-9. 71001
- Oh, M., Shin, K., Kim, K., & Shin, J. (2019). Influence of noise exposure on cardiocerebrovascular disease in Korea. *Science of the Total Environment*, 651, 1867-1876.
- Padhye, R., & Nayak, R. (Eds.). (2016). Acoustic textiles. Singapore: *Springer*.
- Pasichnyk, M., Gaálová, J., Minarik, P., Václavíková, M., & Melnyk, I. (2022). Development of polyester filters with polymer nanocomposite active layer for effective dye filtration. *Scientific reports*, 12(1), 1-12.
- Reiser, J. T., Ryan, J. V., & Wall, N. A. (2019). Sol–gel synthesis and characterization of gels with compositions relevant to hydrated glass alteration layers. *ACS omega*, 4(15), 16257-16269.
- Rosace, G., Guido, E., Colleoni, C., & Barigozzi, G. (2016). Influence of textile structure and silica based finishing on thermal insulation properties of cotton fabrics. *International Journal of Polymer Science*, 2016.
- Seddeq, H. S., Aly, N. M., Marwa A, A., & Elshakankery, M. H. (2013). Investigation on sound absorption properties for recycled fibrous materials. *Journal of Industrial Textiles*, 43(1), 56-73.
- Sun, W., Pan, B., Song, X., Xiao, H., Zhou, J., & Sui, D. (2022). A novel sound absorber design of nanofibrous composite porous material. *Materials & Design*, 214, 110418.

Turan B. (2022), Duyum ve İşitme Duyusu, açıkders ders notları, Ankara üniversitesi, <https://acikders.ankara.edu.tr/mod/resource/view.php?id=55738&forceview=1>

Twaffiek, S., & Elhadad, S. (2020). Surface Modification of Blended Fabrics by Silica Nanoparticles to Improve Their Printability. *Egyptian Journal of Chemistry*, 63(9), 3271-3287.

Venkataraman, M., Mishra, R., Jasikova, D., Kotresh, T. M., & Militky, J. (2015). Thermodynamics of aerogel-treated nonwoven fabrics at subzero temperatures. *Journal of Industrial Textiles*, 45(3), 387-404.

Wang, X., Li, B., Gerada, D., Huang, K., Stone, I., Worrall, S., & Yan, Y. (2022). A critical review on thermal management technologies for motors in electric cars. *Applied Thermal Engineering*, 201, 117758.

Xu, L., Liu, Y., Xin, B., & Zhou, Y. (2022). Preparation and Properties of Functional Fabric Coating Based on SiO₂-aerogel/Polyurethane. *Fibers and Polymers*, 1-11.

Xie, D., Li, G., Feng, Y., Li, S., Hu, X., Liu, Y., & Cao, L. (2022). Design of test method for noise emitted by light-duty vehicles in real driving conditions. *Applied Acoustics*, 185, 108376.

Xiong, X., Yang, T., Mishra, R., Kanai, H., & Militky, J. (2018). Thermal and compression characteristics of aerogel-encapsulated textiles. *Journal of Industrial Textiles*, 47(8), 1998-2013.

Yang, W. J., Wei, C. X., Yuen, A. C. Y., Lin, B., Yeoh, G. H., Lu, H. D., & Yang, W. (2022). Fire-retarded nanocomposite aerogels for multifunctional applications: A review. *Composites Part B: Engineering*, 109866.

Zhang, W., & Xu, J. (2022). Advanced lightweight materials for Automobiles: A review. *Materials & Design*, 110994.

Zhou, L., Zhu, J., Zhao, Y., & Ma, H. (2022). A molecular dynamics study on thermal conductivity enhancement mechanism of nanofluids—Effect of nanoparticle aggregation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 183, 122124.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İSTİKBAL GÜNDOĞDU
Doğum Yeri ve Tarihi : BURSA - 1977
Yabancı Dil : İNGİLİZCE - KORECE

Eğitim Durumu
Lise : BURSA ÇELEBİ MEHMET LİSESİ
Lisans : ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ
Yüksek Lisans : ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ

Çalıştığı Kurum/Kurumlar :

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

Yayımları :