

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KUŞ TÜYÜ MATERYALİNDEN BİYOKOMPOZİT
YAPILARIN GELİŞTİRİLMESİ**

**Hazırlayan
Zübeyde ARABACILAR**

**Danışman
Prof. Dr. Nazım PAŞAYEV**

Yüksek Lisans Tezi

**Eylül 2021
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KUŞ TÜYÜ MATERYALİNDEN BİYOKOMPOZİT
YAPILARIN GELİŞTİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Zübeyde ARABACILAR**

**Danışman
Prof. Dr. Nazım PAŞAYEV**

**Bu çalışma Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-
2020-9746 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Eylül 2021
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Zübeyde Arabacılar



“Kuş Tüyü Materyalinden Biyokompozit Yapıların Geliştirilmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Zübeyde ARABACILAR

İmza

Danışman

Prof. Dr. Nazım PAŞAYEV

İmza

Tekstil Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Kadir BİLİŞİK

İmza

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresi boyunca emeğini benden esirgemeyen, her türlü yardımı ve fedakârlığı göstererek bugünlere gelmemi sağlayan sevgili hocam Prof. Dr. Nazım PAŞAYEV'e teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışması süresince beni aydınlatan gerek bilgisiyle gerek yardımlarıyla her zaman destek olan Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma Merkezi Uzmanı Öğr. Gör. Mehmet ÇADIR'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında bana her türlü motivasyonu sağlayıp yardımcı olan sevgili arkadaşlarım Proje Asistanı Ayşegül ERDEM'e ve Proje Asistanı Cansu İNANIR'a teşekkür ederim.

Tez çalışmasında sağlamış olduğu imkanlar, bilgi ve yardımseverliğinden dolayı Gıda Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Mustafa ÇAM ve yüksek lisans öğrencisi Tuğçe ÖZCANLI'ya teşekkür ederim.

Bunun yanında çalışmalarım süresince desteklerini her zaman hissettiğim, maddi ve manevi olarak sabırla yanımda olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Zübeyde ARABACILAR

Eylül 2021, KAYSERİ

KUŞ TÜYÜ MATERYALİNDEN BİYOKOMPOZİT YAPILARIN GELİŞTİRİLMESİ

Zübeyde ARABACILAR

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2021
Danışman: Prof. Dr. Nazım PAŞAYEV

ÖZET

Tez çalışmasında, atık durumunda olan tavuk tüylerinden üretilmiş liflerin takviye malzemesi olarak kullanılması ile PVA esaslı biyolojik olarak bozunabilir kompozit yapılar üretilmiş ve elde edilen yapıların özellikleri araştırılmıştır. Çalışmanın ilk aşaması tavuk tüylerinin sanayide kullanılabilir hale getirilmesi için yıkama, dezenfeksiyon ve koku giderilme sürecini kapsamaktadır. Bu amaçla farklı yıkama programları denenmiş ve yıkama sonucu tüylerin doğal özelliklerini korumaya ve yıkama sonrasında tüyler üzerinde kalan karakteristik kokunun giderilmesine imkan sağlayan yıkama programı geliştirilmiştir. Yıkanmış ve kurutulmuş tüylerden kompozit üretiminde kullanmak amacıyla özel makine yardımı ile tavuk tüyü lifleri üretilmiştir. PVA'nın suda çözeltisine üretilmiş liflerin takviye malzemesi olarak ilave edilmesiyle kompozit yapılar üretilmiştir. Kompozit yapıların üretiminde liyofilizasyon yöntemi uygulanmıştır. Üretim faktörlerini dikkate alarak Design Exper 11 programı ile deney planı tasarlanmış, kompozit numuneleri deney planı üzere üretilmiştir. Üretilen yapıların özellikleri uygun standartlar üzere test edilmiş, elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Kompozit numunelerin üretim faktörlerinden matris madde, takviye malzemesi ve çapraz bağlayıcı miktarlarının numunelerin yapısal, mekanik, termik ve akustik özelliklerine etkileri ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yıkama, Koku, Tavuk Tüyü Lifi, Gözenekli Yapı, Biyolojik Bozunabilir Kompozit

DEVELOPMENT OF BIOCOMPOSITE STRUCTURES FROM FEATHER MATERIAL

Zübeyde ARABACILAR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, September 2021

Supervisor: Prof. Dr. Nazım PAŞAYEV

ABSTRACT

In the thesis study, PVA-based biodegradable composite structures were produced by using fibers produced from waste chicken feathers as reinforcement material and the properties of the obtained structures were investigated. The first stage of the study covers the washing, disinfection and deodorization process to make chicken feathers usable in industry. For this purpose, different washing programs have been tried and a washing program has been developed that allows to preserve the natural characteristics of the feathers as a result of washing and to remove the characteristic odor remaining on the feathers after washing. Chicken feather fibers were produced with the help of a special machine in order to use in the production of composites from washed and dried feathers. Composite structures were produced by adding fibers produced to the water solution of PVA as reinforcement material. The lyophilization method was applied in the production of composite structures. The experimental plan was designed with the Design Expert 11 program, taking into account the production factors, and the composite samples were produced according to the experimental plan. The properties of the produced structures were tested according to the appropriate standards, and the results were interpreted. The effects of the amount of matrix material, reinforcement material and crosslinker, which are the production factors of the composite samples, on the structural, mechanical, thermal and acoustic properties of the samples were revealed.

Keywords: Washing, Odour, Chicken Feather, Porosity, Biodegradable Composite

İÇİNDEKİLER

KUŞ TÜYÜ MATERYALİNDEN BİYOKOMPOZİT YAPILARIN ÜRETİLMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	İİ
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	İİİ
KABUL VE ONAY	İV
ÖNSÖZ	V
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	Vİİ
İÇİNDEKİLER	Vİİİ
KISALTMALAR	Xİİ
TABLolar LİSTESİ.....	Xİİİ
ŞEKİLLER LİSTESİ	XİV
GİRİŞ	1

1.BÖLÜM

BİYOLOJİK BOZUNABİLİR KOMPOZİT

1.1. Kompozitler, Sınıflandırılması ve Üretim Yöntemleri.....	3
1.1.1. Kompozitler.....	3
1.1.2. Kompozitlerin Sınıflandırılması.....	4
1.1.2.1. Matris Malzemesinin Türüne Göre Kompozitler.....	4
1.1.2.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler.....	4
1.1.2.1.2. Metal Matrisli Kompozitler.....	5
1.1.2.1.3. Seramik Matrisli Kompozitler.....	6
1.1.2.2. Takviye Malzemesinin Şekline Göre Kompozitler.....	6
1.1.2.2.1. Elyaf Takviyeli Kompozitler.....	6
1.1.2.2.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler.....	7
1.1.2.2.3. Tabakalı Kompozitler.....	7
1.1.2.2.4. Karma (Hibrit) Kompozitler.....	7
1.1.3. Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	7
1.1.3.1. El Yatırma Yöntemi.....	8
1.1.3.2. Püskürtme Yöntemi.....	9

1.1.3.3. Filament Sarma Yöntemi.....	9
1.1.3.4. Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi.....	10
1.1.3.5. Profil Çekme Yöntemi.....	10
1.1.3.6. Sıkıştırarak Kalıplama Yöntemi.....	11
1.1.3.7. Vakum Torbalama Yöntemi.....	11
1.1.3.8. Otoklav Yöntemi.....	12
1.2. Biyolojik Bozunabilir Kompozitler.....	13
1.2.1. Biyolojik Bozunabilir Kompozit Üretiminde Kullanılan Malzemeler...	14
1.2.1.1. Doğal Bozunabilir Malzemeler.....	14
1.2.1.2. Sentetik Bozunabilir Malzemeler.....	15
1.3. Tavuk Tüyü.....	16
1.3.1. Tavuk Tüyünden Elde Edilen Materyaller.....	17
1.3.2. Tavuk Tüyünden Kompozit Üretimi ile İlgili Çalışmalar.....	19
1.4. PVA Kullanımıyla Kompozit Üretimi.....	21
1.4.1. Polivinil Alkol.....	21
1.4.2. PVA Kullanımıyla Üretilen Kompozitler.....	23

2.BÖLÜM

MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Tavuk Tüylerinin Lif Üretimine Hazırlanması.....	26
2.1.1. Yaklaşım.....	26
2.1.2. Malzeme.....	27
2.1.3. Yöntem.....	28
2.1.3.1. Kullanılan Cihaz ve Aletler.....	28
2.1.3.2. Tüylerin Yıkanması Şartlarının Belirlenmesi.....	28
2.1.3.3. Tavuk Tüylerinde Koku Analizi.....	32
2.1.3.2.1. Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS)	32
2.1.3.2.2. Tüylerin GC-MS Analizine Hazırlanması.....	34
2.1.3.4. Yıkanmış Tüylerin FTIR Analizi.....	35
2.1.3.5. Tavuk Tüylerinden Elde Edilen Materyallerin Yapısal Analizi	35
2.1.3.6. Tavuk Tüyü Liflerinin Mekanik Analizi.....	36
2.2. Tavuk Tüylerinin Lif ve Sap Kısımının Ayrıştırılması.....	36
2.2.1. Malzeme.....	36

2.2.2. Yöntem.....	36
2.2.2.1. Tavuk Tüylerinin Yıkanması ve Kurutulması.....	36
2.2.2.2. Tavuk Tüylerinin Lif ve Sap Kısımına Ayrıştırılması.....	37
2.3. Tavuk Tüyü Liflerinden Kompozit Üretimi.....	37
2.3.1. Yaklaşım.....	37
2.3.2. Malzeme.....	38
2.3.3. Yöntem.....	39
2.3.3.1. Kompozit Üretiminde Kullanılan Cihaz ve Aletler.....	39
2.3.3.2. Kompozit Yapıların Üretilmesi.....	40
2.3.3.3. Çözeltinin Hazırlanması.....	40
2.3.3.4. Kompozitin Şekillendirilmesi.....	42
2.3.3.5. Çok Faktörlü Deney Planlanması.....	42
2.4. Üretilmiş Numunelerin Özelliklerinin Test Edilmesi.....	44
2.4.1. Kalınlık-Ağırlık-Yoğunluk Testleri.....	44
2.4.2. Üretilmiş Kompozit Numunelerinin Yapısal Analizi.....	45
2.4.3. Mekanik Analiz Testi.....	46
2.4.4. Termogravimetrik Analiz (TGA).....	46
2.4.5. FTIR Analizi.....	47
2.4.6. Isı Geçirgenlik Testi.....	48
2.4.7. Hava Geçirgenlik Testi.....	48
2.4.8. Akustik Özellikleri Testi.....	49

3.BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Tavuk Tüylerinin Lif Üretimine Hazırlanması ile İlgili Bulgular.....	52
3.1.1. Tüylerin Yıkanması ile İlgili Bulgular.....	52
3.1.2. Yıkanmış Tüylerin FTIR Analizi.....	55
3.1.3. Farklı Yöntemlerle Yıkanmış Tüylerin SEM Analizi.....	56
3.1.4. Yıkanmış Tüylerin Mekanik Analizi.....	58
3.2. TT Materyallerinden Üretilen Biyokompozit Yapılara Ait Bulgular.....	59
3.2.1. TT Liflerinden Biyokompozit Numunelerinin Üretimi.....	60
3.2.2. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Yoğunluk Analizi.....	60
3.2.3. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Yapısal Analiz Testleri.....	64

3.2.4. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Mekanik Analizi.....	69
3.2.5. Termogravimetrik Analiz (TGA).....	76
3.2.6. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin FTIR Analizi.....	83
3.2.7. Üretilmiş Numunelerin Isıl Parametrelerinin Analizi.....	84
3.2.8. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Hava Geçirgenliği Analizi.....	91
3.2.9. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Akustik Analizi.....	92

4.BÖLÜM

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

4.1. Tavuk Tüylerinin Lif Üretimine Hazırlanması.....	110
4.1.1. Tüylerin Yıkanması ile İlgili Sonuçlar.....	110
4.1.2. Farklı Yöntemlerle Yıkanmış Tüylerin FTIR Analizi Sonuçları.....	113
4.1.3. Farklı Yöntemlerle Yıkanmış Tüylerin SEM Analiz Sonuçları.....	114
4.1.4. Yıkanmış Tüylerin Mekanik Analiz Sonuçları.....	115
4.2. TT Materyallerinden Üretilen Biyokompozit Yapılara Ait Sonuçlar.....	115
4.2.1. Tavuk Tüyü Liflerinden Biyokompozit Numunelerinin Üretimi.....	116
4.2.2. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Yoğunluk Analizi Sonuçları...	116
4.2.3. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Yapısal Analiz Sonuçları.....	116
4.2.4. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Mekanik Analiz Sonuçları.....	117
4.2.5. Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları.....	119
4.2.6. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin FTIR Analizi Sonuçları.....	122
4.2.7. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Isıl Analiz Sonuçları.....	123
4.2.8. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Hava Geçirgenliği Sonuçları...	124
4.2.9. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Akustik Ölçüm Sonuçları.....	124

5.BÖLÜM

GENEL SONUÇLAR

KAYNAKLAR.....	127
ÖZGEÇMİŞ.....	135

KISALTMALAR ve SİMGELER

<u>Sembol</u>	<u>Anlamı</u>
PMK	Polimer Matris Kompozit
MMK	Metal Matris Kompozit
SMK	Seramik Matris Kompozit
TMB	Tekstil Mühendisliği Bölümü
BBK	Biyolojik Bozunabilir Kompozit
µm	Mikrometre
TTL	Tavuk Tüyü Lifi
TTM	Tavuk Tüyü Materyalleri
gr	gram
PLA	Polilaktik Asit
YYPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
PVA	Polivinil Alkol
GC-MS	Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
YAM	Yüzey Aktif Madde
NaClO	Sodyum Hipoklorit
Pd	Paladyum
Au	Altın
mbar	milibar
TAUM	Teknoloji Araştırma Uygulama Merkezi
FTIR	Fourier Dönüşümlü Infrared Spektrofotometre
TGA	Termogravimetrik Analiz

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1.	Polivinil alkol hidroliz dereceleri	22
Tablo 2.1.	Rudolf firmasına ait olan yıkama maddesinin özellikleri	27
Tablo 2.2.	Yıkama yöntemlerinin kodlanması	29
Tablo 2.3.	Kimyasal kullanımı ile yıkama için reçete içeriği	30
Tablo 2.4.	Kullanılan kimyasallara ait bazı özellikler	38
Tablo 2.5.	Yönetilebilen faktörler	43
Tablo 2.6.	4 Faktörlü kompozisyon deney planı	43
Tablo 2.7.	4 Faktörlü kompozisyon deney planı naturel değerleriyle	44
Tablo 3.1.	Y1 Kodlu yıkamaya ait GC-MS bileşenleri	52
Tablo 3.2.	Y2 Kodlu yıkama ait GC-MS Bileşenleri	53
Tablo 3.3.	Y3 Kodlu yıkamaya ait GC-MS bileşenleri	53
Tablo 3.4.	Y4 Kodlu yıkamaya ait GC-MS analizleri	54
Tablo 3.5.	Y5 Kodlu yıkamaya ait GC-MS bileşenleri	54
Tablo 3.6.	Y6 Kodlu yıkamaya ait GC-MS bileşenleri	55
Tablo 3.7.	Y7 Kodlu yıkamaya ait GC-MS bileşenleri	55
Tablo 3.8.	Yıkanmış tüylerin çekme sonuçları	59
Tablo 3.9.	Üretilmiş kompozit yapıların yoğunluklarının hesaplanması	61
Tablo 3.10.	Numunelerin yoğunluk göstergeleri varyans analizi	62
Tablo 3.11.	Üretilmiş numunelerin çekme testi sonuçları	69
Tablo 3.12.	Kopma mukavemeti ANOVA tablosu	70
Tablo 3.13.	Kopma uzaması ANOVA tablosu	71
Tablo 3.14.	Kopma gerginliği ANOVA tablosu	73
Tablo 3.15.	Elastikiyet modülü ANOVA tablosu	74
Tablo 3.16.	Üretilmiş numunelerin ısı geçirgenliği ölçüm sonuçları	85
Tablo 3.17.	Üretilmiş numunelerin ısıl direnci	86
Tablo 3.18.	Üretilmiş numunelerin ısı geçirgenliğine ait ANOVA tablosu	87
Tablo 3.19.	Üretilmiş numunelerin hava geçirgenliği sonucu	91
Tablo 3.20.	Üretilmiş numunelerin hava geçirgenliğine ait ANOVA tablosu	92

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Matris ve takviye elemanı	3
Şekil 1.2.	Matris malzemesinin türüne göre sınıflandırma	4
Şekil 1.3.	Takviye malzemesinin şekline göre sınıflandırma	6
Şekil 1.4.	El yatırma yöntemi (a), püskürtme yöntemi (b)	8
Şekil 1.5.	Filament sarma yöntemi ile kompozit üretimi	9
Şekil 1.6.	Reçine transfer kalıplama yöntemi	10
Şekil 1.7.	Profil çekme yöntemi	11
Şekil 1.8.	Sıkıştırarak kalıplama işlem basamakları	11
Şekil 1.9.	Vakum torbalama yöntemi	12
Şekil 1.10.	Otoklav yöntemi genel şeması.....	13
Şekil 1.11.	Doğal bozunabilir malzemeler	15
Şekil 1.12.	Sentetik bozunabilir malzemeler	16
Şekil 1.13.	Tavuk tüylerinin yapısı.....	17
Şekil 1.14.	Tavuk tüyü lifinin(a) ve sapının(b) gözenek yapısı.....	18
Şekil 1.15.	Polivinil alkolün elde edilmesi	21
Şekil 2.1.	TAD piliç şirketinden temin edilen yıkanmamış tavuk tüyleri	27
Şekil 2.2.	Y1 kodlu yıkama işlemi	29
Şekil 2.3.	Y2 kodlu yıkama işleminin yapımı	31
Şekil 2.4.	Y3 kodlu yıkama ve nötrleştirme işlemi	31
Şekil 2.5.	Gaz kromatografisi-kütle spektrometresi cihazı.....	33
Şekil 2.6.	GC-MS analizi için hazırlanmış numuneler	34
Şekil 2.7.	Sem analizi için hazırlanan lif materyali (a) ve çekme testi (b ve c).....	35
Şekil 2.8.	Tüylerin yıkanması (a) ve kurutulması (b).....	37
Şekil 2.9.	a) ayrıştırma makinesi, b) tavuk tüylerinden ayrıştırılmış lifler, c) tavuk tüylerinden ayrıştırılmış sap materyali	38
Şekil 2.10.	Kompozit üretimi için ekipmanlar.....	39
Şekil 2.11.	Liyofilizatör cihazı	40
Şekil 2.12.	PVA/su karışımı	41
Şekil 2.13.	Çözeltilerin kalıba dökülmesi (solda) ve dondurulmuş numune (sağda)	42
Şekil 2.14.	Kalınlık ölçer (solda) ve elektronik hassas terazi (sağda)	45
Şekil 2.15.	Kompozitlerin Sem ölçümü için hazırlanması	45
Şekil 2.16.	Numunelerin kesilmesi için hazırlanan düzenek	46
Şekil 2.17.	Kompozit numunelerinin çekme testi.....	47

Şekil 2.18.	TGA cihazı (a), FTIR cihazı (b), ısı geçirgenliği ölçüm cihazı (d)	47
Şekil 2.19.	Kompozitlerin hava geçirgenliği ölçümü	48
Şekil 2.20.	BSWA TECH markalı empedans tüpü cihazı	49
Şekil 2.21.	Ölçümü yapılacak numunelerin tüplere yerleştirilmesi	49
Şekil 2.22.	Ses yutma katsayısı ölçümü	50
Şekil 2.23.	Ses iletim kaybı ölçümü	51
Şekil 3.1.	Farklı yöntemlerle yıkanmış tüylerin FTIR spektrumları	56
Şekil 3.2.	Y1 Kodlu yıkamaya ait SEM görüntüsü	56
Şekil 3.3.	Y2 Kodlu yıkamaya ait SEM görüntüsü	57
Şekil 3.4.	Y3 Kodlu yıkamaya ait SEM görüntüsü	57
Şekil 3.5.	Y4 Kodlu yıkamaya ait SEM görüntüsü	57
Şekil 3.6.	Y5 Kodlu yıkamaya ait SEM görüntüsü	58
Şekil 3.7.	Y6 Kodlu yıkamaya ait SEM görüntüsü	58
Şekil 3.8.	Y7 Kodlu yıkamaya ait SEM görüntüsü	58
Şekil 3.9.	Tavuk tüyü liflerinden üretilmiş biyokompozit yapılar	61
Şekil 3.10.	Numune parametrelerinin numune yoğunluğuna etkileri	62
Şekil 3.11.	Numune yoğunluğunun tepki yüzeyi	63
Şekil 3.12.	Numunelerin yoğunluk optimizasyonu	63
Şekil 3.13.	L1 kodlu numune kesitlerinden alınan SEM görüntüsü	64
Şekil 3.14.	L2 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü	64
Şekil 3.15.	L3 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü	64
Şekil 3.16.	L4 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü	65
Şekil 3.17.	L5 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü	65
Şekil 3.18.	L6 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü	65
Şekil 3.19.	L7 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü	66
Şekil 3.20.	L8 kodlu numunenin kesitinden alınan SEM görüntüsü	66
Şekil 3.21.	L9 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü	66
Şekil 3.22.	L10 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü	67
Şekil 3.23.	L11 kodlu numunenin kesitinden alınan SEM görüntüsü	67
Şekil 3.24.	L12 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü	67
Şekil 3.25.	L13 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü	68
Şekil 3.26.	L14 kodlu numunenin kesitinden alınan SEM görüntüsü	68
Şekil 3.27.	L15 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü	68

Şekil 3.28.	L16 kodlu numune kesitinden alınarak elde edilen SEM görüntüsü	69
Şekil 3.29.	L0 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü.....	69
Şekil 3.30.	Numune üretim parametrelerinin numune mukavemetine etkileri	70
Şekil 3.31.	Kopma mukavemetinin tepki yüzeyi	71
Şekil 3.32.	Numune parametrelerinin numune kopma uzamasına etkileri	72
Şekil 3.33.	Numune kopma uzamasının tepki yüzeyi.....	72
Şekil 3.34.	Numune parametrelerinin numune kopma gerginliğine etkileri.....	73
Şekil 3.35.	Numune kopma uzamasının tepki yüzeyi	74
Şekil 3.36.	Numune parametrelerinin numune elastikiyet modülüne etkileri.....	75
Şekil 3.37.	Numune elastikiyet modülünün tepki yüzeyi	75
Şekil 3.38.	PVA ve Sitrik asit karışımından üretilmiş yapının TG ve DTG eğrileri ...	76
Şekil 3.39.	Üretilmiş kompozit numunelerinin TG eğrileri	77
Şekil 3.40.	Üretilmiş kompozit numunelerinin DTG eğrileri	77
Şekil 3.41.	L1-L4 kodlu kompozitlerin toplu TG eğrileri.....	78
Şekil 3.42.	L5-L8 kodlu kompozitlerin toplu TG eğrileri.....	79
Şekil 3.43.	L9-L12 kodlu kompozitlerin toplu TG eğrileri.....	79
Şekil 3.44.	L13-L16 kodlu kompozitlerin toplu TG eğrileri.....	80
Şekil 3.45.	L1-L4 kodlu kompozitlerin toplu DTG eğrileri.....	80
Şekil 3.46.	L5-L8 kodlu kompozitlerin toplu DTG eğrileri.....	81
Şekil 3.47.	L9-L12 kodlu kompozitlerin toplu DTG eğrileri.....	81
Şekil 3.48.	L13-L16 kodlu kompozitlerin toplu DTG eğrileri.....	82
Şekil 3.49.	Üretilmiş biyokompozit numunelerinin FTIR eğrileri.....	83
Şekil 3.50.	Üretilmiş numunelerin FTIR eğrileri	84
Şekil 3.51.	Numunelerin sıcaklığa bağlı ısı direnç değişim eğrileri	86
Şekil 3.52.	Numune parametrelerinin 0°C’de numunenin ısı direncine etkileri.....	88
Şekil 3.53.	Numunelerin 0°C’de ısı direncinin tepki yüzeyi	89
Şekil 3.54.	Numune parametrelerinin 10°C’de numunenin ısı direncine etkileri.....	89
Şekil 3.55.	Numunelerin 0°C’de ısı direncinin tepki yüzeyi	90
Şekil 3.56.	Numune parametrelerinin 20°C’de numunenin ısı direncine etkileri.....	90
Şekil 3.57.	Numunelerin 20°C’de ısı direncinin tepki yüzeyi	91
Şekil 3.58.	L1 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi.....	92
Şekil 3.59.	L1 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi	93
Şekil 3.60.	L2 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi.....	93

Şekil 3.61.	L2 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi	94
Şekil 3.62.	L3 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi	94
Şekil 3.63.	L3 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi	95
Şekil 3.64.	L4 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi	95
Şekil 3.65.	L4 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi	96
Şekil 3.66.	L5 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi	96
Şekil 3.67.	L5 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi	97
Şekil 3.68.	L6 kodlu numuneye ait ses emilim katsayısı eğrisi	97
Şekil 3.69.	L6 kodlu numuneye ait ses iletim kaybı eğrisi	98
Şekil 3.70.	L7 kodlu numuneye ait ses emilim katsayısı eğrisi	98
Şekil 3.71.	L7 kodlu numuneye ait ses iletim kaybı eğrisi	99
Şekil 3.72.	L8 kodlu numuneye ait ses emilim katsayısı eğrisi	99
Şekil 3.73.	L8 kodlu numuneye ait ses iletim kaybı eğrisi	100
Şekil 3.74.	L9 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi	100
Şekil 3.75.	L9 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi	101
Şekil 3.76.	L10 kodlu numuneye ait ses emilim katsayısı eğrisi	101
Şekil 3.77.	L10 kodlu numuneye ait ses iletim kaybı eğrisi	102
Şekil 3.78.	L11 kodlu numuneye ait ses emilim katsayısı eğrisi	102
Şekil 3.79.	L11 kodlu numuneye ait ses iletim kaybı eğrisi	103
Şekil 3.80.	L12 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi	103
Şekil 3.81.	L12 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi	104
Şekil 3.82.	L13 kodlu numuneye ait ses emilim katsayısı eğrisi	104
Şekil 3.83.	L13 kodlu numuneye ait ses iletim kaybı eğrisi	105
Şekil 3.84.	L14 kodlu numuneye ait ses emilim katsayısı eğrisi	105
Şekil 3.85.	L14 kodlu numuneye ait ses iletim kaybı eğrisi	106
Şekil 3.86.	L15 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi	106
Şekil 3.87.	L15 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi	107
Şekil 3.88.	L16 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi	107
Şekil 3.89.	L16 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi	108
Şekil 3.90.	L0 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi	108
Şekil 3.91.	L0 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi	109

GİRİŞ

Binlerce yıl öncesinde inşaat işlerinde kullanmak için toprağı samanla takviye ederek kerpiç üretimi ile başlayan kompozit süreci günümüzde hayatımızın hemen her yerinde vazgeçilmez bir kullanım alanına sahip olmuştur. Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte artan talepler ve ihtiyaçlar kompozit malzemelerin kullanımını yaygınlaştırmış, hayatımızı kolaylaştırması, maliyetlerin düşük olması, tekrarlanabilir ve çoklu üretilebilir olmaları kompozit sektörünün gittikçe gelişmesine neden olmuştur. Nitekim küresel anlamda istikrarlı büyüme sergileyen kompozit sektörü gerek yüksek katma değerli ürünleriyle önemini korumaktadır. Tüm bu olumlu yönlerin yanı sıra kompozit malzemelerin kullanım süreci sonrasında ortaya çıkan çevresel atık yükü artmış, geri dönüştürülmesi açısından değerlendirildiğinde buna pek imkan tanınmadığı görülmüştür. Son zamanlarda kompozit yapıların üretiminde kullanmak için çevresel atık yükünü azaltabilecek, doğa ile uyumlu yeni malzeme arayışları ortaya çıkmış, doğada çözülebilir malzemeler kompozit uygulamalarında yerini almaya başlamıştır. Bu doğrultuda atık maddelerden yararlanılması ise meseleye farklı bir boyut kazandırmıştır. Bu atık maddelerden biri de tavuk eti üretiminde yan ürün olarak ortaya çıkan ve önemli kısmı atık durumunda olan tavuk tüyleridir.

Dünyada her yıl ortalama 15 mln.ton ve 2017 TUİK verilerine göre Türkiye’de 100 bin ton civarında tavuk tüyü beyaz et üretimi sonrasında ortaya çıkmaktadır ve her geçen gün bu miktar ciddi oranda artış göstermektedir (Yetilmezsoy, 2018). Tavuk tüylerinin bir kısmı sanayide çeşitli uygulamalarda kullanılsa da çoğunluğu atık durumundadır. Çeşitli yollarla bertaraf edilmesi (yakma, gömme vs.) çevre kirliliğine sebep olurken içerdiği patojenik maddeler hem insan sağlığını hem de bulunduğu ortamdaki canlıları olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple tavuk tüylerinin sanayide uygun alanlara kazandırılması insan ve diğer canlıların sağlığına tehlike oluşturmaktan çıkarak çevresel yükü azaltmada etkili olacaktır. Tavuk tüylerinin sanayide kullanılabilir olması aynı

zamanda ekonomik açıdan da katkı sağlayacak ve yeni kullanım alanları ortaya çıkacaktır.

Tavuk tüyleri sanayide hangi yöntemle değerlendirilse değerlendirilsin bütün durumlarda tüylerin yıkanmasını talep etmektedir. Bu yıkama işlemi tüyler üzerinde bulunan kir, toz vs. maddelerin uzaklaştırılmasını, dezenfeksiyon işleminin yanı sıra tüyler üzerinde kokuya sebep olduğu düşünülen maddelerin giderilmesini gerektirmektedir. Tüylerin temizlenme sürecinin yanında kokuyla ilgili birçok çalışma yapılsa da problem tam olarak çözülememiştir. Bu durum ise tavuk tüylerinin sanayiye kazandırılması açısından düşünüldüğünde önem arz etmektedir. Çalışma kapsamında tavuk tüylerinin etkili temizlenmesi programı geliştirilmiş, bu program üzere gerçekleştirilmiş yıkama ve dezenfekte işlemleri sonucu doğal özelliklerinin korunduğu ve yıkama sonrasında üzerinde koku kalmayan tüyler elde edilmiştir.

Çalışma kapsamında tavuk tüyünden üretilmiş liflerle takviye edilmiş PVA esaslı kompozit yapılar üretilerek özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Tez çalışması 5 bölümden oluşmakta olup, bu süreç içerisinde hangi yöntemin ve malzemelerin kullanıldığı görsel ve istatistik analizlerle desteklenmiştir.

Tezin 1. bölümünde çalışmanın literatürde hangi araştırmalara dayandığı hakkında genel bilgi verilmiştir. Tezin ana başlığını oluşturan kompozit yapıların sınıflandırılması, üretim yöntemleri, tavuk tüyü lifleri ve polivinil alkol hakkında bilgi ve çalışmalara yer verilmiştir.

2. bölümde tavuk tüylerinin ön hazırlık işlemi sonucu kokunun uzaklaştırılması ve sonrasında TTL'den kompozit üretim yöntemi sürecinde kullanılan yardımcı malzemeler, makine ve teçhizattan bahsedilmiştir. Deneysel çalışmaların materyal ve yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

3. bölümde deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular yer almıştır.

4. Bölümde elde edilen bulgular yorumlanmış ve 5.bölümde yer almış genel sonuçlarla tez tamamlanmıştır.

Tez çalışması süresince kongre, sempozyumlara yayınlanmış tam metin bildirilerle katılım sağlanmıştır.

Tez çalışması Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2020-9746 nolu proje ile desteklenmiştir.

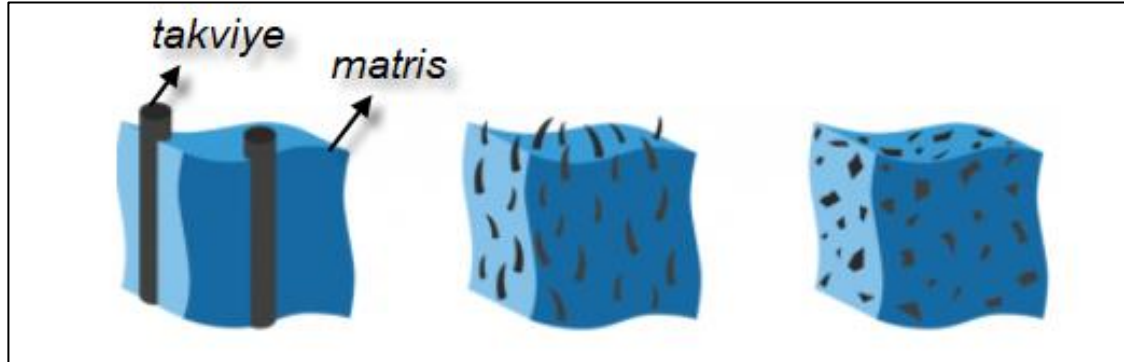
1.BÖLÜM

BİYOLOJİK BOZUNABİLİR KOMPOZİTLER

1.1. Kompozitler, Sınıflandırılması ve Üretim Yöntemleri

1.1.1. Kompozitler

Mühendislik ve diğer uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılan kompozitler; belirli bir amaç doğrultusunda, minimum düzeyde iki farklı malzemenin birbiri içerisinde çözünmeyecek şekilde ve kimyasal reaksiyona girmeden mevcut özelliklerini koruyarak çeşitli yöntemlerle bir araya getirilmesinden meydana gelmektedir. Makro, mikro ve nano boyutta olabilen bu malzemelerden en az bir tanesi dolgu materyali olarak ifade edilen “matris” elemanını, diğeri ise “takviye” elemanını temsil etmektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Matris ve takviye elemanı (Beşergil,2016)

Esnek yapıda olması gereken matris malzeme, kullanılacak takviye malzemesini çevreleyip bir arada tutmakla görevli olup gelen herhangi bir yükü takviye elemanına iletir. Matris malzemesi metal, seramik olabileceği gibi polimer ve biyopolimer de olabilir. Takviye malzemesi yapının dayanımı artırarak güçlendirmek amacıyla kullanılmaktadır ve matris malzemesine oranla çok daha kuvvetli özelliğe sahip olup gelen yüklerin çoğunu taşımaktadır. Takviye malzemeleri olarak partiküller, sürekli

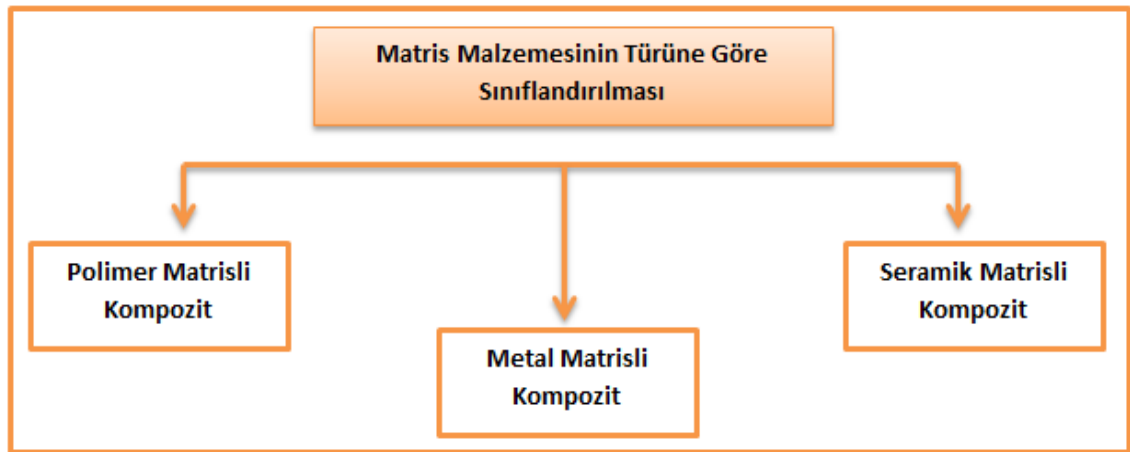
veya kesikli lifler vs. seçilebilmekte ve matris malzemesinin yük dağılımını istenilen oryantasyonda sağlamaktadır. Seçilen bu malzemeler kompozitin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemede etkili olur. Nihayetinde oluşturulmak istenilen kompozit yapı matris ve takviye malzemelerinin özelliklerini taşımasının yanı sıra onların her ikisinden farklı bir veya birkaç özelliğe de sahip olabilirler (Beşergil,2016).

1.1.2. Kompozitlerin Sınıflandırılması

Kompozitler yapısında birden fazla malzeme bulundurması sebebiyle araştırmacılar tarafından farklı şekillerde gruplandırılmıştır. En yaygın olanı kullanılan matris malzemesinin türüne ve takviye malzemesinin şekline göre yapılan sınıflandırmadır (Anonim, 2016).

1.1.2.1. Matris Malzemesinin Türüne Göre Kompozitler

Matris malzemesinin türüne göre kompozitler üç gruba ayrılmaktadır: polimer matrisli kompozitler (PMK), metal matrisli kompozitler (MMK), seramik matrisli kompozitler (SMK) (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Matris malzemesinin türüne göre sınıflandırma (Beşergil, 2016)

1.1.2.1.1. Polimer Matrisli Kompozitler

PMK'ler matris malzemesi olarak polimer bir reçine içerisine uygun takviye malzemesinin eklenmesi ile oluşturulmaktadır. Polimer matrisler doğal ve sentetik polimerler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Doğal polimer matrislere örnek olarak

nişasta, selüloz, kollajen, jelatin vs., sentetik polimer matrislere naylon, polietilen, polipropilen, silikon vs. örnek olarak verilebilir (Bülbül,2020). Büyük ve karmaşık yapıların üretilmesinde sağladığı kolaylık, üretim yöntemi ve ekipmanlar açısından ucuz olması sebebiyle polimer matrisli kompozitler en çok tercih edilen kompozit çeşididir. Gerilme kuvveti, kırılma ve çatlamaya karşı dayanıklılığı, hafifliği, korozyona karşı dirençli olması gibi sağladığı bazı avantajlar sebebiyle PMK'lere olan talep yüksektir. Termal dirençlerinin düşük olmasının yanında termal genleşmelerinin yüksek olması bu gruba ait matrislerle üretilen kompozitlerin dezavantajları arasında yer almaktadır. Polimer reçineler üç grupta incelenmektedir; termoplastikler, termosetler, elastomerler (Beşergil,2016).

Termoplastikler: Normal sıcaklıklarda katı halde olan ve ısıнын etkisi ile yüksek elastik ve ardından kıvamlı sıvı hale geçerek soğutuldukları zaman sertleşen polimer maddelerdir. Bu ısıtma ve soğutma süreçlerinin tekrarlanması polimerin özelliklerini kalıcı olarak değiştirmez. Termoplastiklere örnek olarak; polietilen, polipropilen, polivinil klorür, polistiren vs. verilebilir (Anonim, 2018a).

Termosetler: Isının etkisi olmadan normal sıcaklıklarda sertleşen ve özelliklerini kalıcı olarak değiştiren polimerlerdir. Termoplastiklerden farklı termosetlerin yumuşama ve sertleşme süreçleri tekrarlanmıyor. Bu polimerlere örnek olarak epoksi, poliüretan, silikonlar, polyesterler, vinil esterler verilebilir (Sari ve ark., 2021).

Elastomerler: Elastomerler normal sıcaklıkta uygulanan kuvvet etkisiyle ilk uzunluğuna oranla en az 2 kat uzayabilen ve bu etki kaldırıldığı zaman orijinal haline dönebilen polimerlerdir (Anonim, 2021b). Elastomerlere örnek olarak; doğal ve sentetik kauçuk verilebilir.

1.1.2.1.2. Metal Matrisli Kompozitler

Polimer matrislere oranla daha yüksek sıcaklıklarda çalışılan MMK'ler tek bir bileşen kullanılması ile sağlanamayan yüksek mukavemet ve tokluk, korozyon direnci ve elastiklik modülü gibi özelliklerin kazandırılması için tercih edilmektedir. Matris malzemesi olarak metal veya metal alaşımı kullanılıp takviye malzemesi olarak kesikli veya sürekli lifler, kılcal kristal veya partikül şeklinde SiC, TiC, B₄C ve Al₂O₃ ilave edilmesiyle oluşturulmaktadır (Ahlatcı ve ark., 2003).

1.1.2.1.3. Seramik Matrisli Kompozitler

Seramik malzemeler geniş bir inorganik maddeler grubunu (silika bazlı camlar, kristalin seramik vs.) kapsamaktadır. Bu grup çok yüksek sıcaklıklara dayanıklı, erime noktaları yüksek, atomik hareketliliği düşük, elastiklik modülü yüksektir. Dayanımı bu kadar yüksek olan malzemenin kırılğan olması yüksek sıcaklıklara dayanıklı takviye malzemesi ihtiyacı oluşturmuştur. SMK'lerin kullanımı yüksek sıcaklıklara dayanıklı lifsi takviye malzemesinin kullanımıyla yaygınlaşmıştır. SMK'ler matris elemanın seramik, takviye elemanın sürekli ve kesikli lifler veya diğer seramiklerden oluştuğu kompozitlerdir (Beşergil, 2016).

1.1.2.2. Takviye Malzemesinin Şekline Göre Kompozitler

Kompozitler takviye malzemesine ve onların şekline göre dört gruba ayrılmaktadır. Bu açıdan elyaf takviyeli, parçacık takviyeli, tabakalı ve karma kompozitler seçilmektedir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Takviye malzemesinin şekline göre sınıflandırma (Beşergil, 2016)

1.1.2.2.1. Elyaf Takviyeli Kompozitler

Takviye malzemesi olarak kompozitleri kuvvetlendirmede kullanılan farklı mekanik özelliklere sahip, kesikli ve sürekli lifler kompozitten istenen özelliklere uygun şartlar altında matris malzemesiyle bir araya getirilmektedir. Sürekli lifler düşük yoğunluk

sebebiyle kompozitlerde yüksek performans özelliği göstererek matris malzemesinin mukavemetini, kırılma dayanımını ve sertliğini artırmaktadır. Liflerin belirli bir istikamette yönlendirilmesiyle elde edilen kompozitler belirlenmiş oryantasyonda daha yüksek mukavemete sahip olurlar (Beşergil, 2016).

1.1.2.2.2. Parçacık Takviyeli Kompozitler

Parçacık (tanecik) şeklinde takviye malzemeleri kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmekle birlikte maliyetleri düşürmek için kullanılmaktadır. Kullanılan parçacıklar kompozitin sertliğini artırsa da dayanımını artırmada yeterli değildir. Parçacık takviyeli kompozitlerin performansı partikülün boyutlarından, formundan ve şeklinden, matris içerisinde homojen bir şekilde dağılıp dağılmamasından, hacimsel olarak kompozit içerisindeki oranlarından etkilenmektedir (Kaya ve ark., 2016).

1.1.2.2.3. Tabakalı Kompozitler

Tabakalı kompozitler matris malzemesi içerisine liflerin eklenmesiyle elde edilen birkaç katmanın (tabaka) aynı veya çeşitli yönlerde üst üste koyulmasıyla elde edilmektedir. Bu yapılar laminasyon ya da sandviç şeklinde olabilir. Metallere oranla daha hafif malzeme olan lifler, tabakalar arasında farklı yönelme imkânı sağlayarak kompozitin mekanik özelliklerini iyileştirmekle birlikte ısı ve neme karşı dayanıklı olmasını sağlamaktadır. (Zor, 2018).

1.1.2.2.4. Karma (Hibrit) Kompozitler

Kompozitlere kazandırılmış özelliklerin çeşitliliğini artırmak için birkaç takviye malzemesinin kullanımıyla üretilen kompozitlerdir. Tek bir takviye malzemesinin kullanılmasıyla kompozitte istenen özellikler sağlanamadığı durumlarda takviye malzemelerinin çeşitleri artırılabilir. (Aydın ve ark., 2018).

1.1.3. Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

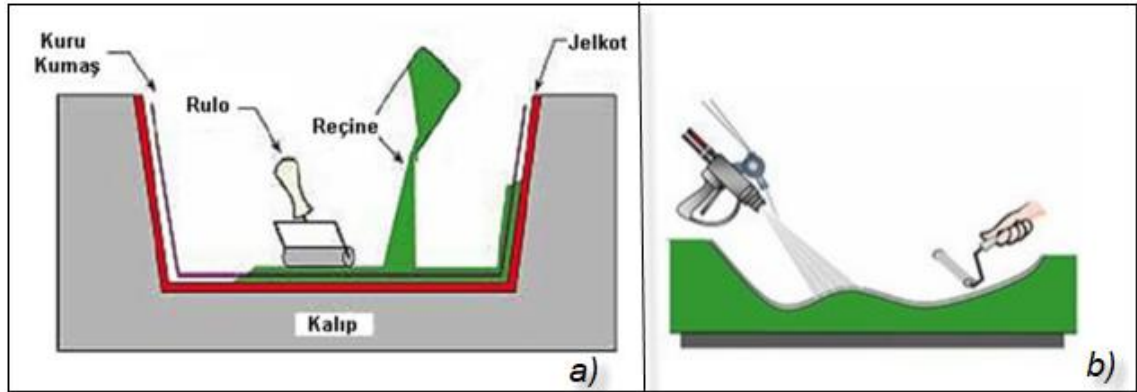
Kompozit üretim yöntemleri oluşturulmak istenen yapının fiziksel ve mekanik özelliklerinin uygun şartlarda kompozite kazandırılması için uygulanan yöntemlerdir.

Bu şartları belirlemede ise; kullanılan takviye ve matris malzemelerinin özellikleri önemlidir. Kompozit üretim yöntemleri sırasıyla aşağıda verilmiştir:

- El yatırma yöntemi
- Püskürtme yöntemi
- Filament sarma yöntemi
- Reçine transfer ile kalıplama, reçine enjeksiyonu
- Profil çekme/pultrüzyon
- Sıkıştırarak kalıplama
- Vakum torbası yöntemi
- Otoklav

1.1.3.1. El Yatırma Yöntemi

Kompozit üretiminde yaygın bir şekilde kullanılan bu basit yöntem maliyeti düşük olmakla birlikte yoğun işçilik istemektedir. Daha çok cam elyaf takviyeli kompozitlerin üretilmesinde kullanılan bu yöntemde; kompozitin dış yüzey kalitesini artırmak için kalıba öncesinde jelkot sürülür. Elyaf ya da kumaşlara bir rulo veya fırça yardımıyla sıvı reçine (epoksi, polyester vs. termoset reçineler) sürülür (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. El yatırma yöntemi (a), püskürtme yöntemi (b)

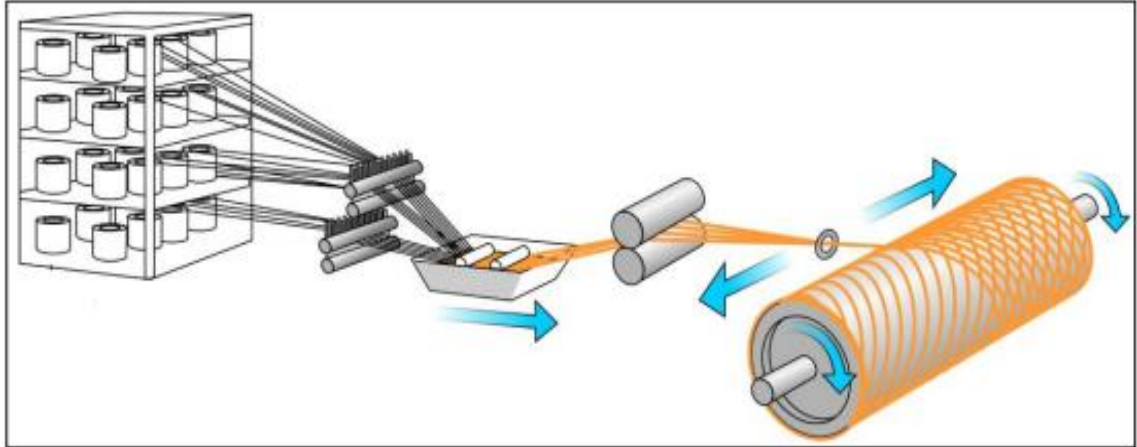
Katman sayısı istenilen düzeyde artırılabilir fakat burada önemli olan bu tabakalar arasında havanın kalmamasıdır. Ardından normal ortam şartlarında veya sıcaklık ortamında uygulanan basıncın etkisiyle şekil verilmek üzere parça, kullanıma hazır hale getirilir (Durgun, 2014).

1.1.3.2. Püskürtme Yöntemi

El yatırma yönteminin gelişmiş hali olarak bilinmektedir. Bu yöntemin el yatırma yönteminden farkı reçine ve takviye malzemesinin püskürtme tabancası ile uygulanmasıdır (Şekil 1.4b). Proses öncesinde yine kalıba jelkot sürülerek donması beklenir. Ardından püskürtme tabancası ile elyaf ve reçine kalıp üzerine püskürtülür. Diğer işlemler el yatırma yönteminde olduğu gibidir. El yatırma yöntemine göre daha az emek harcanması, maliyetinin daha düşük olması, reçine israfının azalması ve zamanın daha verimli kullanılması püskürtme yönteminin avantajları arasında yer almaktadır (Işık, 2008).

1.1.3.3. Filament Sarma Yöntemi

Filament sarma yöntemi özel bir banyoda reçine emdirilmiş sürekli liflerin dönen bir silindir üzerinde farklı yönlerde sarınmasına dayanmaktadır (Şekil 1.5).

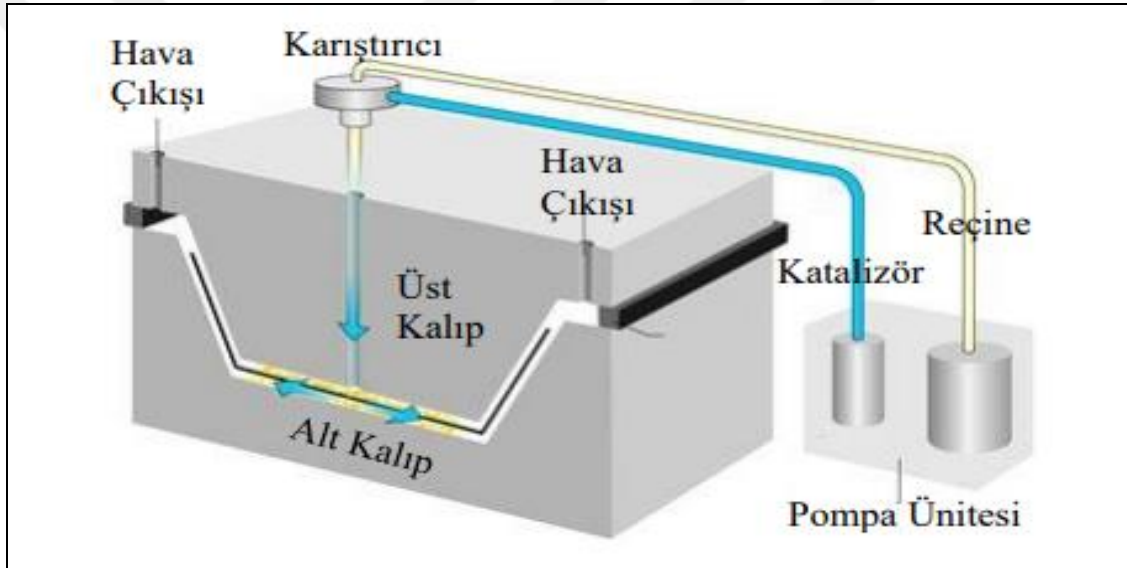


Şekil 1.5. Filament sarma yöntemi ile kompozit üretimi (Bayraktar, 2016)

Yeteri kadar elyaf sarılmasının ardından reçineni kürleşmesi ile malzeme sertleşir ve silindirden ayrılır. Değişik açılarda elyaf sarınması kompozite mekanik olarak farklı özellikler kazandırmaktadır. Bu yöntem otomasyona uygun olmakla birlikte daha çok silindirik veya yuvarlak biçime sahip kompozitlerin üretilmesinde kullanılmaktadır (Daran, 2016).

1.1.3.4. Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi

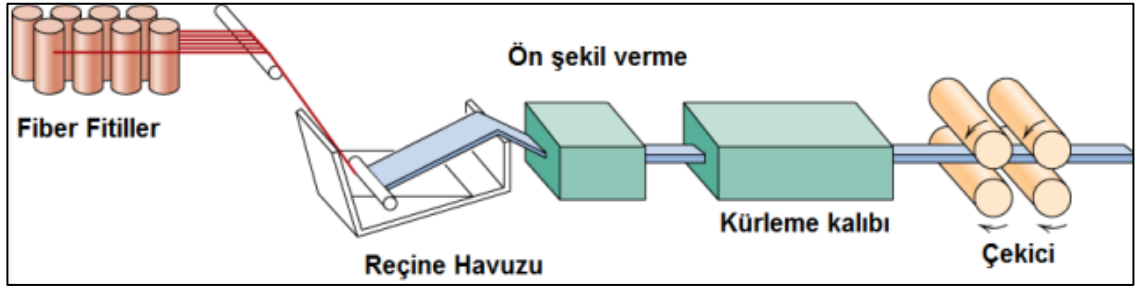
RTM yöntemi elyaf ya da kumaşlarla güçlendirilmiş üretim tekniği olarak bilinmektedir. Dişi ve erkek olarak adlandırılan kalıpların arasına örgülü/örgüsüz kumaşlar yerleştirilir. Ardından kalıplar kapatılarak kumaşlar arasında hava kalmayacak şekilde reçine basınç yardımıyla enjekte edilir (Şekil 1.6). Reçinenin hepsi aktarıldıktan sonra son şeklini alması için kalıp sıcak/soğuk şekilde kürlenerek kompozit işlemi son bulur (Erdal ve ark., 2009). Diğer yöntemler ile kıyaslandığında pahalıdır ve genelde seri üretim amaçlı kullanılmaktadır (Dinkçi, 2020).



Şekil 1.6. Reçine transfer kalıplama yöntemi (Bayraktar, 2016)

1.1.3.5. Profil Çekme Yöntemi

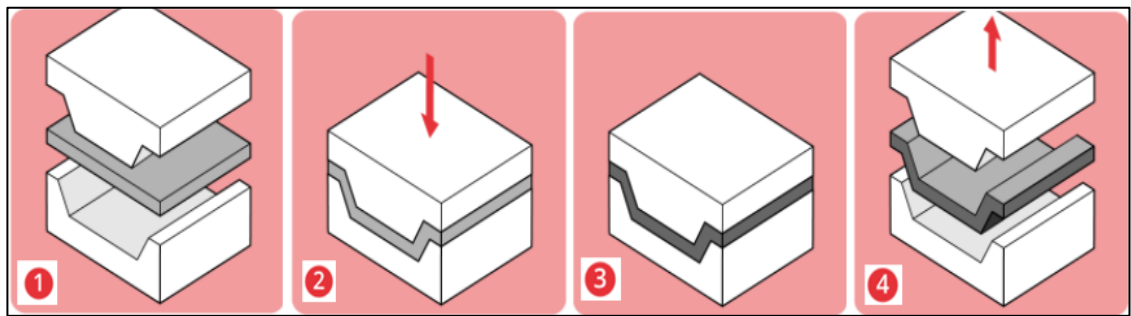
Profil çekme yöntemi, kullanılan sürekli liflerden fitil oluşturulması sonrasında takviye malzemesinin ıslatılması, şekil verilmesi ve kürlenerek katılaşması aşamalarından oluşmaktadır (Şekil 1.7). Bobinlerden gelen lifler kalıplara girmeden önce reçine havuzunda termoset reçinelerle ıslatılır. Kalıptan çıkarılan malzeme sıcak işlem sırasında sıkıştırılarak son şeklini alması sağlanır. Soğutma işlemi hava, su veya cebri konveksiyon ile gerçekleştirilir (Meriç, 2009).



Şekil 1.7. Profil çekme yöntemi (Anonim, 2018b)

1.1.3.6. Sıkıştırarak Kalıplama Yöntemi

Sıkıştırarak kalıplama, yüksek basınçlı preste çoğu zaman sıcaklık uygulanmakla şekil verme işlemidir. Sıkıştırarak kalıplamada kullanılan kalıplar alt ve üst parçalardan oluşmaktadır. Kalıplanmak istenen malzeme alt kalıp üzerine yerleştirilir. Alt kalıp üst kalıpla kapatılır ve presleme başlanır (Şekil 1.8). Malzemenin sertleşmesi beklenir ve pres açılarak hazır hale gelmiş parça kalıptan çıkarılır. Sıkıştırarak kalıplama yöntemi ısıyla sertleşen prepregler¹, fiber takviyeli termoplastik organik tabakalar, levha kalıplama bileşiği gibi kalıplama bileşikleri ve kesilmiş termoplastik bantlar, petek veya polimer köpük gibi bir çekirdek malzemesi içeren sandviç yapılar üretmek için kullanılmaktadır (Carruthers, 2018).



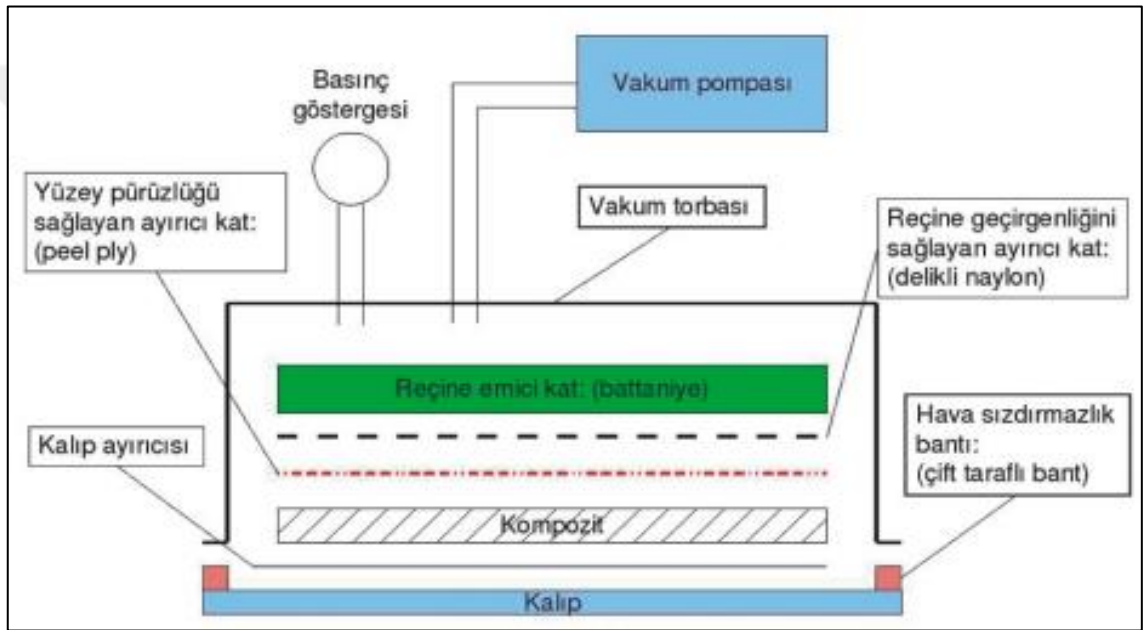
Şekil 1.8. Sıkıştırarak kalıplama işlem basamakları (Carruthers, 2018)

1.1.3.7. Vakum Torbalama Yöntemi

Vakum torbalama yöntemi, temel prensibi elle yatırma yöntemine benzeyen, ancak rulo veya fırça ile yatırma yerine vakum torbası kullanılan ve bu sayede reçinenin yüzey

¹ Önceden reçine emdirilmiş lif takviye malzemeli kompozit yarı ürünleri

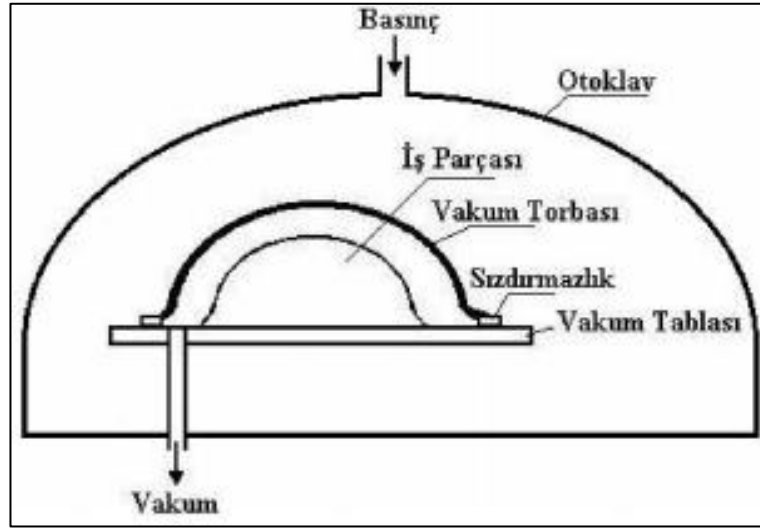
üzerine eşit dağılımını sağlamakla birlikte yüzeye eşit kuvvet uygulanmasını temin eden bir yöntemdir. Yöntem, fazla reçinenin çekilerek lif reçine oranının yüksek olmasını sağlamak amacıyla da kullanılmaktadır (Şekil1.9). Elle yatırma yönteminden kaynaklanan olumsuzlukları kapatarak daha sağlam ve hafif yapılar üretilebilmektedir. Vakum torbalama yöntemiyle katmanlar arasında reçinenin tam olarak dağılmasıyla homojenlik sağlanmakla birlikte katmanlar arasındaki kesme mukavemeti artmaktadır (Turgut ve ark., 2007).



Şekil 1.9. Vakum torbalama yöntemi (Turgut ve ark., 2007)

1.1.3.8. Otoklav Yöntemi

Otoklav vakum torbalama prensibiyle çalışan fakat üretimin basınçlı bir kap içerisinde gerçekleştirilmesiyle vakum torbalamadan ayrılan bir yöntemdir (Şekil 1.10). Üst parçada basınç azot gazıyla gerçekleştirilmekte ve parçanın sertleşmesi fırın içerisinde sıcaklıkla sağlanmaktadır (Anonim, 2021a).



Şekil 1.10. Otoklav yöntemi genel şeması

1.2. Biyolojik Bozunabilir Kompozitler

Günümüzde kullanılan kompozitlerin çoğunluğu petrol kaynaklı malzemeler içermektedir. Bu malzemeler evimizdeki küçük aletlerden başlayıp inşaat malzemeleri, devre kartları, ambalaj, mobilya, denizcilik, otomotiv ve havacılık sektörüne kadar hayatımızın hemen her yerinde kullanım alanı oluşturmaktadır. Petrol bazlı polimerlerle üretilmiş kompozit malzemeler mukavemet-ağırlık oranlarının yüksek, maliyetlerinin daha uygun olmasından dolayı geniş kullanım alanı bulmuşlardır (Chang ve ark., 2020). Diğer taraftan petrol kaynaklı malzemeler içeren kompozitlerin kullanımının yaygınlaşması küresel ve çevresel endişeleri de beraberinde getirmiştir. Malzemelerin zaman içerisinde yıpranması kullanım ömürlerinin bitmesine sebep olmakla birlikte atık yükünün artmasına ve çevre kirliliğine yol açmaktadır (Bharat ve ark., 2016). Geri dönüştürülmesinde zorluk yaşanması, maliyet ve kirlilik gibi gerekçeler kompozit üretiminde kullanılacak çevre ile uyumlu yeni malzeme arayışlarına sebep olmuştur. İyice dilimize girmiş olan “yeni nesil kompozit”, “yeşil kompozit“, “biyokompozit” gibi kavramlarının ortaya çıkması, bu arayışlarla bağlıdır. Son yıllarda araştırmacıların bu konuya olan ilgisinin artması görülmektedir. Hatta 2016 ve 2019 yılları arasında yapılan çalışmalarda biyolojik olarak parçalanabilen ya da parçalanamayan sürdürülebilir doğal kaynaklardan polimer üretiminin %400 oranında arttığı belirtilmektedir (Chang ve ark., 2020).

Tüm bunlar dikkate alındığında biyolojik bozunabilir kompozitler; takviye ve/veya matris malzemesinin en az birinin yenilenebilir kaynaklardan elde edildiği ve kullanım sonrasında tekrar geri dönüştürülebildiği yapılar olarak tanımlanabilir. Matris bağlayıcı maddesinin sürdürülebilir kaynaklarına doğal polimerler (polisakkaritler, hayvansal ve bitkisel proteinler vs.) ve sentetik polimerler (PHA, PLA, Petrokimyasal ürünler PCL gibi) örnek verilebilir. Takviye malzemesinin biyobazlı olduğu kaynaklara; Doğal lifler (selüloz ve protein bazlı lifler) ve yapay lifler (doğal ve sentetik polimerler, inorganik maddeler) örnek verilebilir. Biyo bazlı polimerlerden üretilmiş kompozitler petrol kaynaklı malzemeler içeren kompozitlerle kıyaslandığı zaman hala sınırlı bir kullanım alanına sahiptir. Bunun sebebi biyokompozitlerin yüksek maliyeti, üretim kapasitesinin düşük ölçekli olması ve daha düşük performans özellikleri göstermesindedir (Chang ve ark., 2020).

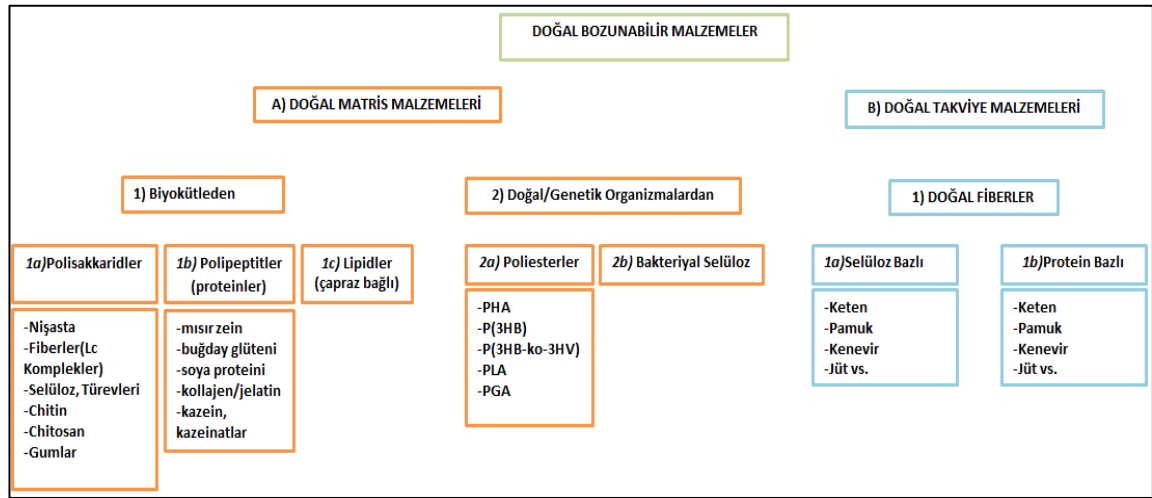
1.2.1. Biyolojik Bozunabilir Kompozit Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Biyolojik olarak bozunabilir kompozit (BBK) üretiminde kullanılan matris ve takviye malzemelerinden birinin veya her ikisinin biyolojik olarak bozunabilir olması şarttır. Bu materyaller doğal ve sentetik esaslı olabilirler.

1.2.1.1. Doğal Bozunabilir Malzemeler

Doğal bozunabilir malzemeler doğal kaynaklardan elde edilen, biyolojik olarak parçalanabilen, malzemenin kendisine kazandırıldığı özelliği tüketim süresince koruyan ve daha sonrasında çevresel faktörlerin (ışık, sıcaklık, nem, su vb.) etkisiyle bakteri, mantar, algler gibi doğal biyosistemlerin metabolik süreçlerine katılarak doğal bir döngü sağlayan malzemelerdir.

Bu doğal bozunabilir malzemeler kompozit üretimi sırasında matris olarak ve/veya takviye malzemesi olacak şekilde seçilebilmektedir. Doğal bozunabilir matris malzemesi olarak biyokütleden ve doğal/genetik organizmalara dayalı malzemeler genellikle polimer formunda kullanılmaktadır. Takviye olarak selüloz ve protein esaslı doğal malzemeler kısa ve sürekli lifler, partikül ve toz formunda kullanılabilen malzemeler (odun atıkları, bitki sapları, ceviz kabukları vs.) Takviye ve matris malzemelerinin doğal kaynaklardan elde edilen örnekleri Şekil 1.11’ de ayrıntılı şekilde verilmektedir.

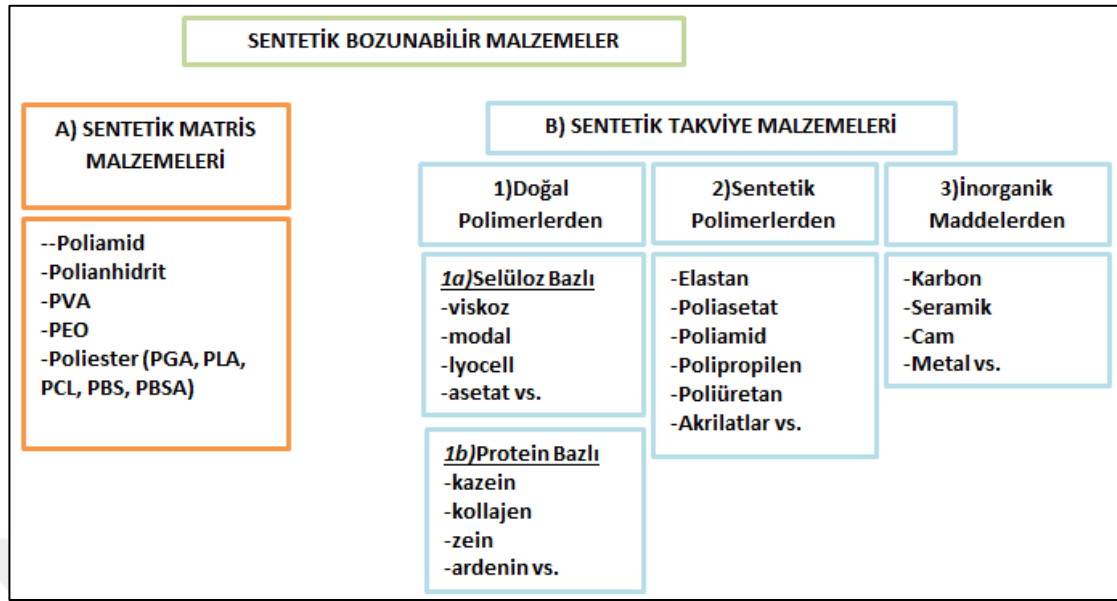


Şekil 1.11. Doğal bozunabilir malzemeler

1.2.1.2. Sentetik Bozunabilir Malzemeler

Yüksek molekül ağırlıklı bileşiklere dayanan biyolojik olarak bozunma yeteneğine sahip sentetik ve doğal polimerlerden, inorganik maddelerden üretilen malzemelerdir. Sentetik malzemeler yüksek mekanik ve termal özelliğe sahiptir fakat havaya karşı inerttir. Çevresel faktörlere karşı etkisiz ve pratikte doğal koşullarda doğada ayrılmazlar. Doğal malzemeler ise biyolojik olarak parçalanabilmesine rağmen zayıf mekanik özellik göstermektedir. Bu sebeple sentetik ve doğal makromoleküllerin modifiye edilmesiyle biyolojik olarak bozunabilen ve geri dönüştürülmeye imkan tanıyan yeni nesil sentetik malzemeler üretilmektedir. Kompozit üretilirken matris ve/veya takviye malzemesi sentetik bozunabilir malzemelerden oluşabilir. Matris malzemesi olarak biyolojik bozunma eğiliminde olan polilaktik asit, poliamid, polivinil alkol vs. malzemeler, takviye malzemesi olarak kısa ve sürekli lifler ya da partikül, toz formunda polimerler kullanılmaktadır. Sentetik olarak üretilen malzemelerin takviye ve matris malzemesine göre sınıflandırılması ve örnekleri Şekil 1.12.de verilmiştir.

Doğal ve sentetik malzemelerden üretilen kompozitler standart ekipmanlar kullanılarak üretilbilirler. Oksijen ve su bariyeri geçişine karşı düşük bariyer özelliği göstermesiyle doğal koşullar altında hızlı ve tam bozunabilme özelliğine sahiptir.



Şekil 1.12. Sentetik bozunabilir malzemeler

Bazı dezavantajları arasında ise yüksek maliyet, büyük ölçekli üretimler için sınırlı fırsat ve çevresel faktörlerin etkisi altındaki çürüme oranını düzenleyememek yer almaktadır. Fakat maliyet denildiği zaman fiyatın dışında kullanım ve geleneksel kompozitlerin bertaraf edilmesi maliyetleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Biyolojik olarak bozunabilen malzemelerin kullanımının yaygınlaşmasıyla maliyetlerin düşeceği diğer kompozitler gibi hayatımızda yer alacağı düşünülmektedir.

1.3. Tavuk Tüyü

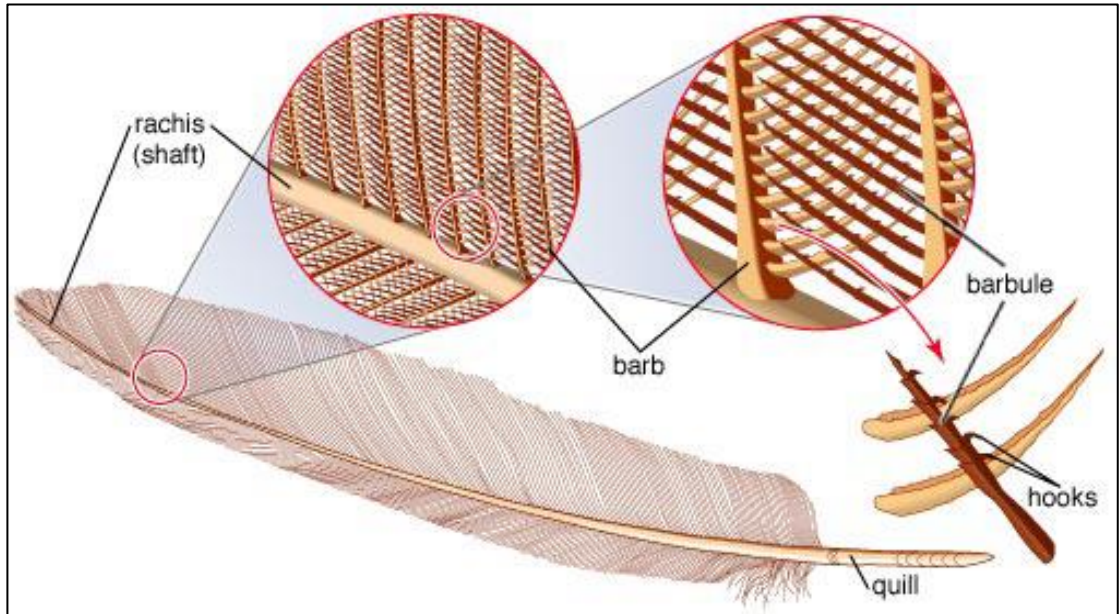
Tez kapsamında takviye malzemesi olarak tavuk tüyleri kullanılmıştır. Tavuk tüyleri tavuk eti üretiminde yan ürün olarak ortaya çıkmakta olup, önemli kısmı atık durumundadır. İlk olarak 1970’li yıllarda çalışılmış ve son yıllarda atılmış tüylerin doğurduğu çevre sorunlarıyla birlikte gündemde yerini almıştır.

Türkiye’de 2017 TUIK verilerine göre yaklaşık 100 bin ton tavuk tüyü beyaz et üretimi sonrasında açığa çıkmaktadır (Yetilmezsoy, 2018). Günümüzde ortaya çıkan tavuk tüylerinin bir kısmı düşük kaliteli protein yemi üretiminde, yalıtım amaçlı panellerin üretiminde, inşaat sektöründe (betona karıştırarak) vs. amaçlarla kullanılmaktadır (Alonso ve ark., 2013). Bununla birlikte tavuk tüylerinin önemli bir kısmı atılmaktadır ki, bu da giderek büyüyen ekolojik problemleri beraberinde getirmektedir. Atık

durumunda olan bu tüylerin sanayide kullanımı henüz mevcut değildir. Et üretimi sırasında ayrıştırılan tavuk tüyleri mevcut haliyle kullanım açısından elverişli değildir. Araştırmacıların bu konuda yaptığı çeşitli çalışmalar laboratuvar ölçeğinde kalarak sanayiye uygulanamamıştır. Erciyes Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Bölümünde geliştirilen tavuk tüylerinden lif üretimi teknolojisi atık durumundaki tüylerin lif ve sap kısmını ayrıştırmayı sağlamış; farklı uygulama alanları oluşturarak sanayiye kazandırılmasının mümkün olduğu ispatlanmıştır (Paşayev, 2017; Paşayev ve ark., 2018; Kocatepe ve ark., 2018).

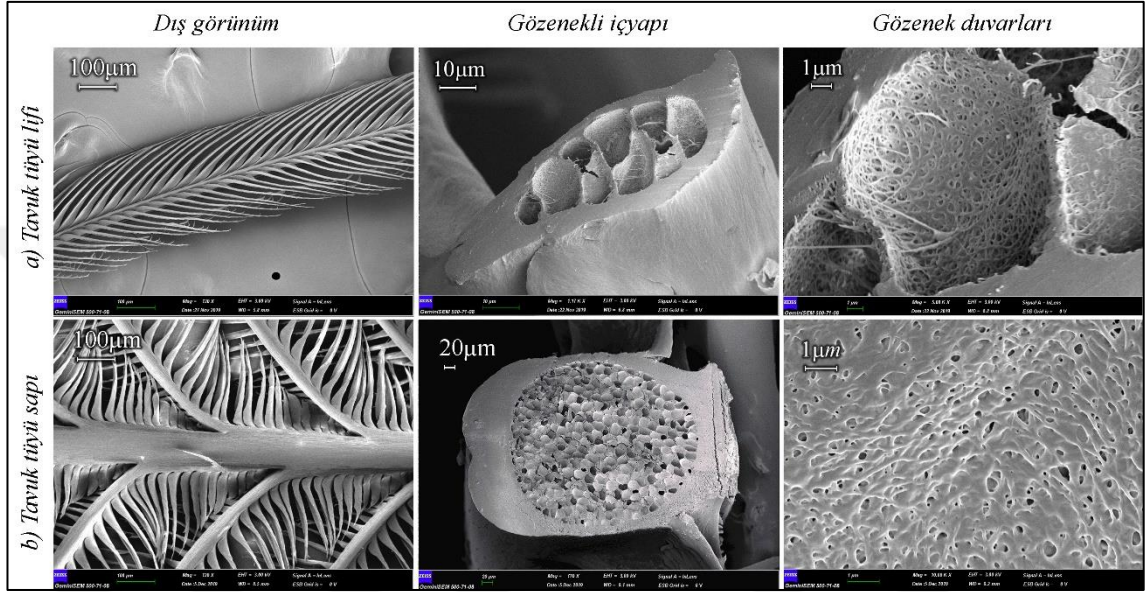
1.3.1. Tavuk Tüyünden Elde Edilen Materyaller

Tavuk tüyleri diğer kuş türlerinde olduğu gibi telekli yapıdadır (Şekil 1.13). Tüyün orta kısmında çubuğu andıran ve tüy sapı (ing: *rachis*) olarak adlandırdığımız sert bir kısım; sapın her iki kenarından dışarıya uzanan lifsi dallar (ing: *barbs*) bulunmaktadır. ERÜ TMB’de geliştirilen teknoloji mekanik kesim yoluyla bu lifsi kısmın saptan ayrılmasını göz önünde bulundurmaktadır. Bu sayede tavuk tüylerinden iki farklı materyal elde edilir: tavuk tüyü lifleri ve tavuk tüyü sap parçaları (Şekil 1.14).



Şekil 1.13. Tavuk tüylerinin yapısı

Tavuk tüyü lifleri dış görünüm açısından telek şekilli bir yapıya sahip olup tüye benzemektedir (Şekil 1.14a ve b). Bu liflerin üzerinde küçücük çengelcikler (ing: *barbules*), onların üzerinde ise dikencikler (ing: *barbices*) bulunmaktadır (Kocatepe, 2015).



Şekil 1.14. Tavuk tüyü lifinin(a) ve sapının(b) gözenek yapısı

Böylesine bir yapı kompozit üretimi için çok uygundur. Tavuk tüyü liflerinin (TTL) çapı 10...50 µm (Mc Kittrick ve ark., 2012) çengellerin çapı 10...30 µm arasında değişmektedir (Zhan ve ark., 2011). Kompozit uygulamalarında kullanılan karbon, aramid, cam lifleri 5...25 µm ve bor lifleri de 100 µm boyutlardadır. Bu sebeple TTL kompozit yapıların üretilmesi için uygun boyutlardadır (Mazumdar, 2002).

Tavuk tüyü liflerinin ve sap kısmının içyapısı mikro gözenekli odacıklar şeklindedir (Şekil 1.14). Bu özellik üretilecek kompozit yapıların ağırlığı açısından önemlidir. Özgül ağırlığı 0,8 g/cm³ olan tüyler, selüloz lifleri (1,5 g/cm³) ve yün lifine (1,3 g/cm³) göre oldukça hafiftir (Reddy ve ark., 2007). Kimyasal yapısını %91 keratin, %1 lipid, %8 su oluşturmaktadır (Arunkumar ve ark., 2013).

Tavuk tüyleri aynı zamanda polipeptit zincirlerinden meydana geldiği için yapısında bulunan aminoasitler 60:40 oranında hidrofob/hidrofil özelliği taşımaktadır (Saravanan, 2012). Böylelikle tavuk tüyleri aynı zamanda hidrofob ve hidrofil özellikler gösterme

eğilimindedir. Tavuk tüylerine ait daha detaylı bilgilere (Kocatepe,2015) çalışmasında yer vermiştir.

1.3.2. Tavuk Tüyünden Kompozit Üretimi ile İlgili Çalışmalar

Çalışmalarda tavuk tüyleri kompozit üretiminde farklı şekillerde (lif, sap, toz, kırılmış, keratin halinde vs.) kullanılmış ve elde edilen kompozitler mekanik, termal, morfolojik ve diğer özellikler açısından incelenmiştir. Araştırmacılar 1.1.3'te verilmiş bilinen üretim yöntemlerinden yararlanmışlardır.

Bir grup araştırmacı tavuk tüyünü takviye malzemesi gibi kullanarak ürettikleri kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Jaya ve arkadaşları takviye malzemesi olarak kullanılan tavuk tüyü liflerini, matris olarak kullandıkları geri dönüştürülmüş yüksek yoğunluklu polietilen (r-YYPE), etilen vinil asetat (EVA) kullanarak kompozit üretmişlerdir (Jaya ve ark., 2018). Üretilmiş kompozitin gerilme ve fiziksel özelliklerinin (su emme ve fırında eskitme) tavuk tüyü lif içeriğinden az da olsa etkilendiği sonucuna varmışlardır.

Verma ve arkadaşları tavuk tüyü ve kauçuk kırıntılarından elde edilen karbon kalıntısını hibrit takviye malzemesi ve epoksiyi matris olacak şekilde kullanarak kompozit üretmişlerdir (Verma ve ark., 2018). Netice olarak kompozitin gerilme, eğilme ve darbe mukavemetlerinin önemli derecede arttığı görülmüştür.

Choudary ve arkadaşları çalışmalarında tavuk tüyünü ve matris olarak polyesterle kullanmışlardır (Choudary ve ark., 2018). Polyester ve tavuk tüyleri arasında güçlü etkileşim olduğu vurgulamış ve bunun sayesinde kompozitlerin elastikiyet modülünde, eğilme ve gerilme mukavemetinde 2,5 kat oranında artış olduğu sonucuna varmışlardır.

Choudary ve arkadaşı bir başka çalışmada tavuk tüyü lifleri ve polipropilen kullanarak ürettikleri kompozitin çekme dayanımı ve eğilme dayanımı sadece polipropilene göre daha üstün fakat darbe dayanımını daha düşük bulmuşlardır (Choudary ve ark., 2019).

Sreenivasan ve arkadaşları tavuk tüyü ile birlikte doğal kauçuku matris olarak kullanmak suretiyle kompozit üretmişler (Sreenivasan, ve ark., 2019). Tavuk tüylerinin eklenmesiyle kompozit yapının mekanik özelliklerinin arttığını gözlemlemişlerdir.

Oluba ve arkadaşları tavuk tüyü elde ettikleri keratinden ve zerdeçal ekstrakte ürünü olan nişastadan kompozit üretmişlerdir (Oluba ve ark., 2021). Üretilmiş kompozitin gerilme mukavemeti ve yüzey pürüzsüzlüğü gibi özelliklerinin iyileştiği gözlemlenmiştir.

Farhad ve arkadaşları doymamış polyester ve tavuk tüyü kullanarak ürettikleri kompozitin gerilme özelliklerinde artış olduğunu kaydetmişlerdir (Farhad ve ark., 2021).

Araştırmacılardan bir kısmı ise ürettikleri tavuk tüyü kompozitlerinin termal özelliklerini incelemişlerdir. Ozmen ve arkadaşı tavuk tüyü lifi ile matris olarak polilaktik asit (PLA) kullanmışlardır (Ozmen ve ark., 2017). Tavuk tüyü ilavesinin PLA'nın termal özelliklerini iyileştirmede etkili olduğunu, camı geçiş, kristalleşme ve erime sıcaklıklarını yükselttiğini ve ısı akışını arttırdığını vurgulayarak PLA'ya tavuk tüyü ilavesinin termal stabilite üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu sonucuna varmışlardır.

Ouakarrass ve arkadaşları tavuk tüyü döküntüsünü alçı sıva içerisine karıştırmışlardır. %5 oranında tavuk tüyü atığının kullanılması binanın dış duvar ve çatısında yazın soğutma ihtiyacını %24,8 oranında, kışın ise ısıtma ihtiyacını %29,40 azalttığını göstermiştir (Ouakarrass ve ark., 2020).

Bir kısım araştırmacı kompozitin mekanik ve termal özelliklerin yanında morfolojik özelliklerine de bakmıştır. Uppalapati ve arkadaşları tavuk tüyünün sap kısmı, neem bitkisi talaşı ve YYPE kullanarak kompozit üretmiş ve çatlak olmadığını morfolojik testler ile gözlemlemiş ve mekanik özelliklerinin olumlu yönde olduğunu ifade etmişlerdir (Uppalapati ve ark., 2020).

Araştırmacılardan bir kısmı kompozitin termal ve mekanik özelliklerini beraber incelemişlerdir (Loganathan ve ark., 2020). Saf jüt lifi, tavuk tüyü ve epoksi kullanmış kompozitin akma ve gerilme dayanımlarının %95 saf jüt ve %5 oranında tavuk tüyü kullanılmasıyla en iyi etkiyi gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Bunun yanında Aranberri ve arkadaşları tavuk tüyü ve poliüretan kullanarak kompozit köpük üretmişlerdir. Termal, mekanik, morfolojik ve su emilimi açısından incelemiş olup, tavuk tüylerinin ilave edilmesiyle termal yalıtım özelliğinin geliştiği, köpüklerin fiziksel, mekanik ve ısı iletim faktörü gibi fonksiyonel özelliklerini etkileyen hücre

yapısını değiştirdiğini, ısı yalıtım uygulamalarında petrol esaslı köpüklerin yerini alma potansiyelinde olduğunu göstermiştir (Aranberri ve ark., 2020).

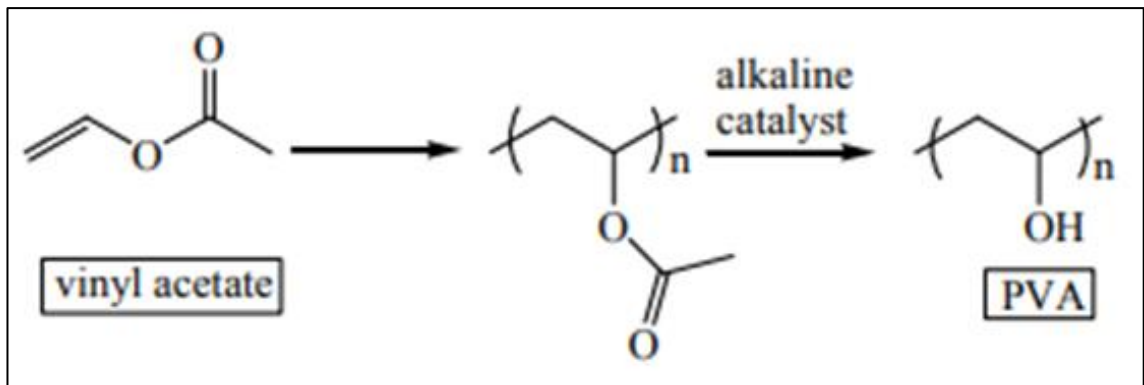
Çalışmalarda bahsedildiği üzere tavuk tüylerinin kompozitlerde kullanılmasının olumlu sonuçlar verdiği ifade edildiği halde tavuk tüylerinin önemli özelliklerinin kompozit üretimi sırasında dikkate alınmadığı görölmektedir. Mesela, tavuk tüyleri 130°C sıcaklığın üzerinde bozulmaktadır. Daha sıcak ortamlarda üretilmiş kompozitlerde tüylerin tüy halinde kalmış olduğu bize göre tartışmalıdır.

1.4. PVA Kullanımıyla Kompozit Üretimi

1.4.1. Polivinil Alkol

Polivinil alkol (PVA), hidrofilik yapısı gereği suda çözünen yarı kristal, mükemmel kimyasal ve termal stabiliteye, jel ve film oluşturma yeteneğine, yüksek mekanik dayanıma, toksik olmayan, biyouyumlu vb. özelliklere sahip vinil polimeridir (Agnihotri ve ark., 2012; Krstić ve ark., 2014; Gholamali ve ark., 2020).

Polivinil asetatın (Şekil 1.15) hidrolizi ile elde edilir (Çavuşoğlu, 2019). Genel formülü $(C_2H_4O)_x$ şeklindedir.



Şekil 1.15. Polivinil alkolün elde edilmesi (Çavuşoğlu, 2009)

Fiziksel özellikleri: Tatsız, kokusuz, beyaz renkte ve genellikle granül ya da toz şeklindedir (Marten, 2000). 1,19 g/cm³ yoğunluğa sahiptir (Akar, 2019). PVA'nın fiziksel özellikleri hidroliz derecesine, kristal çökmesine, moleküler kütleye ve neme bağlı olarak değişmektedir. Esnek, sert, oksijen/aroma bariyer özelliğine sahiptir. (T.S.

Gaaz ve ark., 2015). Camsı geçiş sıcaklığı 85°C, erime sıcaklığı 240-267°C arasındadır. Su, dimetilformamit, glikoller, dimetilsülfoksit, asetamit vb. polar çözücünde çözünme eğilimindedir. Çözünmesi için 70-90°C yeterli olacaktır. Hidrolizin hangi oranda gerçekleştiği (Tablo1.1) çözünme şartlarını belirlemektedir, örneğin; tamamen hidroliz edilmesi PVA'nın kaynama noktasına ulaştığında, kısmi hidroliz edilmesi ise oda sıcaklığında çözünmesini gerektirir. Yani hidroliz derecesinin artması çözünme için sıcaklığın artmasını talep eder (Marten, 2000).

Tablo 1.1. Polivinil alkol hidroliz dereceleri

Polivinil Alkol Örnek Dereceleri	Hidroliz, mol %
Süper Hidroliz	99,3+
Tamamen Hidroliz	98,0-98,8
Ortalama Hidroliz	95,9-97,0
Kısmi Hidrolize	87,0-89,0
Düşük Hidroliz	79,0-81,0

Mekanik özellikleri: PVA'nın molekül ağırlığı, bağıl nemi ve hidroliz derecesi gerilme kuvvetini etkilemektedir. Nemin artması uzama oranını artırmaktadır. Nemin düşük seviyede olması da oksijen bariyer özelliğini iyileştirmektedir. Gaz bariyer performansı nemin yanında hidroliz derecesinden de etkilenmektedir. %98 hidroliz derecesinin aşağısında gaz bariyer özelliği azalma eğilimi gösterir (Marten, 2000; Uslu, 2010).

Kimyasal özellikleri: PVA yapısında bulunan hidroksil grupları (sayısı) sayesinde çok yönlü bileşiklerle çapraz bağlanabilirler. Bu bileşiklere ek olarak ihtiyaç duyulan bağlayıcı ajanlardan borik asit, glioksal, bazı aldehytler (glutaraldehyt, üre-formaldehit, melamin-formaldehit), trimetilolmelamin, izosiyanatlar, sodyum borat zayıf bağ oluşturmakta; metal tuzları (bakır,nikel) , bakır-amonyum veya krom komplekleri, organik titanatlar, dikromatlar güçlü bağ yaparak PVA'nın çözünmesini engeller. Ancak PVA'nın çözünmemesi su dayanımı açısından tam anlamıyla yeterli değildir (Uslu,2010). Asidik veya alkali koşullarda vinil asetat uzunluğu ve hidroliz derecesinin etkisi, farklı molekül ağırlığına sahip PVA; farklı esnekliğe, gerilme mukavemetine, dispersiyon gücüne, yapışkanlığına ve çözünürlüğe sahip olmasına neden olur (Aslam ve ark., 2018).

Polivinil alkolün bozunma sıcaklığı erime sıcaklığının altında olması sebebiyle termoplastik polimer olduğunu diyemeyiz. Uygulamaları genel itibari ile sulu çözelti şeklindedir. Fakat kullanılmak istendiği alana göre çeşitli morfolojide bulunmaktadır. En basit film oluşumunda kullanılan PVA doğal matris formunda bulunsada da diğer uygulamalarda hazırlanan kompozitin işlenmesine bağlı olarak PVA'nın modifiye edilmiş bileşeni kullanılır. Yığın-toplu, boncuk, elyaf, hidrojel, membran, iskele morfolojisinde PVA bulunmaktadır (Aslam ve ark., 2018).

Kullanım alanları: Farmasötik (ilaç) sektöründe, tıbbi ve kozmetik ürünlerde, biyomedikal uygulamalarda, ambalaj üretiminde, yapıştırıcılarda, film oluşturabilme özelliğinden dolayı membran uygulamalarında, kağıt ve tekstil kaplamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Özder, 2016).

1.4.2. PVA Kullanımıyla Üretilen Kompozitler

PVA dünyada en çok üretilen sentetik polimerler arasındadır. Bu polimer ucuzluğundan dolayı biyobozunabilir kompozit yapıların üretilmesinde de yaygın şekilde kullanılmaktadır PVA kullanımıyla kompozit üretimi ile ilgili bazı çalışmalar hakkında aşağıda bahsedilmiştir. Bu çalışmaların çoğunluğunda PVA sulu çözelti şeklinde kullanılarak film üretiminde, belirli çalışmalarda ise film üretimi dışındaki uygulamaları da içerisine almıştır.

Bazı araştırmacılar PVA kullanarak ürettikleri film şeklindeki yapıların mekanik, termal, biyolojik olarak parçalanabilirlik, su Emilimi gibi özelliklerini incelemişlerdir. Bana ve arkadaşları, PVA çözeltisi içerisine ahşap atık tozları ilave ederek film üretmiş, kompozitin su Emilimi ve biyolojik parçalanabilirliğini incelemişlerdir (Bana ve ark., 2007).

Ahşap tozu kullanılması filmlerin biyolojik olarak parçalanabilirliğini artırmış, mekanik özelliklerde azalmaya sebep olmuştur. Avcı ve arkadaşları, PVA ve orman budama atıklarını kullanarak film şeklinde kompozit üretmiş, kompozitin mekanik özelliklerini incelemişlerdir (Avcı ve ark., 2015).

Ali ve arkadaşları, PVA ve kimyasal işlem görmüş kenaf lifinden film üretmiş ve fiziko-mekanik özelliklerini incelemişlerdir (Ali ve ark., 2015). Kenaf liflerinin yapı

içerisinde homojen dağıldığı, mekanik özelliklerinin yüksek olduğu ve hidrofil özellikler sergilediği görülmüştür.

Rathinavel ve arkadaşları, PVA ve portakal kabuğu tozu kullanarak ürettikleri filmin içerdiği tozun pürüzsüz dağılım gerçekleştirdiği, 350°C'ye kadar termal kararlılık sağladığı ve biyolojik olarak parçalanamayan ambalajlara göre maksimum gerilme kuvvetine sahip olduğunu gözlemlemişler (Rathinavel ve ark., 2020).

Nowruzi ve arkadaşları, PVA, kitosan ve aktif karbon kullanarak film üretmiş ve çalışmada 6 değerlikli kromun uzaklaştırılması istenmiştir (Nowruzi ve arkadaşları, 2020). Aktif karbon miktarının artmasının kromun uzaklaştırma yüzdesini arttırdığı görülmüştür.

Alias ve arkadaşları, PVA ve yumurta kabuklarını kullanmış, yumurta kabuklarının takviye amaçlı kullanımının fiziksel uygunluğu, kompozitin mekanik özellikleri ve biyolojik parçalanabilirliği incelenmiştir (Alias ve ark., 2020). Yumurta kabuğu miktarının artması gerilme özelliklerini düşürmüş, su emme ve su buharı iletimini artırmış, toprak ve doğal hava şartlarında biyolojik olarak parçalanma oranını yükseltmiştir.

Yan ve arkadaşları, PVA ve kitosan kullanarak çok katmanlı film üretmişlerdir (Yan ve arkadaşları, 2021). Üretilmiş kompozitin gerilme mukavemeti, su direnci ve antioksidan aktivitesi açısından gelişmiş özellikler sergilediği, biyolojik olarak parçalanabildiği görülmüştür.

Prochon ve arkadaşları, PVA, jelatin ve gliserin kullanarak ürettikleri filmi termal stabilite, UV ışığının optik iletimi, çapraz bağlanma ve yoğunluğu, mekanik özellikleri açısından incelemiştir (Prochon ve ark., 2021). Mekanik özelliklerin iyileştiği, görünür ışık aralığında optik iletim özelliklerinin uygun olduğu görülmüş, termal stabilite, yanmaya karşı direnç, artırılmış termal kararlılık, esneklik ve sertlik değerleri kazein jelatini ile elde edildiği, çapraz bağlama yoğunluğunun da gliserin ve jelatin kullanımıyla alındığı sonucuna varılmıştır.

Bir grup çalışmalarda araştırmacılar film üretimi dışında membran, tabaka, çimento esaslı kompozit yapılar üretmiş ve kullanılacağı alanlara göre çeşitli özellikleri (mekanik, biyolojik olarak parçalanabilirlik, su emme, şişme vs.) araştırmıştır. Peng ve arkadaşları, PVA-selüloz hidrojel içerikli membran kompozit yapı üretmişlerdir (Peng

ve ark., 2017). Kompozit içeriğın selüloz artışının kompozitin gerilme mukavemetinde artırdığı, su emme ve şişme özelliklerini geliştirdiğı görülmüştür.

Sabarish ve arkadaşları, PVA, karboksimetil selüloz ve ZSM-5 zeolit kullanarak ürettikleri filmin katyonik boyadan metilen mavisinin uzaklaştırılmasını araştırmış ve adsorbsiyon kapasitesinin zeolit içeriğı ve başlangıçtaki boya konsantrasyonundaki artışla arttığı fakat sıcaklığın artmasıyla azaldığı görülmüştür (Sabarish ve ark., 2018).

Zanela ve arkadaşları, PVA ve nişasta kullanarak tabakalar üretmiş, kompozitin mekanik özellikleri, su buharı geçirgenliği, opaklık vs. özellikleri test edilmiş ve PVA-nişastanın iyi bir uyumluluk, mekanik açıdan tek tip bir görünüm gösterdiği, tabakaların işlenebilirliğinin tatmin edici seviyede olduğu sonucuna varmıştır (Zanela ve ark., 2017).

Özkan ve arkadaşları, çimento esaslı kompozitlere alternatif olarak PVA ve bazalt elyafı kullanarak kompozit üretmiş, kompozitin mekanik özelliklerini optimize etmeğı amaçlanmıştır. Mekanik özelliklerin en iyi olduğu değerler %75 PVA, %25 bazalt elyafı şeklindedir. Bu oran arttırıldığında performans özellikleri kullanılan elyafın mekanik ve geometrik özelliklerine göre değişiklik gösterdiği için farklı seviyelerde etki etmiştir (Özkan ve ark., 2020).

Yapılan çalışmalarda PVA genellikle tek kullanımlık film üretiminde, az da olsa membran ve diğer uygulamalarda kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında biyolojik olarak bozunabilir, gözenekli, farklı kalınlıklarda ürünlerin dışında kompozit üretilmesi hedeflenmiştir. Matris malzemesi olarak sentetik biyopolimer grubunda yer alan PVA'nın sulu çözeltisi tercih edilmiştir. Üretilen kompozitlerin yapısal, mekanik, termal, geçirgenlik ve akustik özelliklerinin incelendiğı genel bir çalışma olacağı düşünülmektedir.

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Tavuk Tüylerinin Lif Üretimine Hazırlanması

2.1.1. Yaklaşım

Kesimhaneden elde edilen tavuk tüyleri üzerinde birtakım kirlilik, kan, bakteri, toz, haşere, vaks taşımaktadır. Bu maddelerden bir kısmı kuşların yaşam faaliyetinin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır ki, yağlar ve vakslar bu maddelerdendir. Bir grup maddeler kesim sonrasında tüylere yapışmaktadır ki, kan ve kuşun iç sıvıları bunlar arasındadır. Üçüncü grup maddeler tavukların yaşam ve beslenme şartları ile bağlı tüylere yapışmakta olup, kir, toz, pislik vs. böyle maddelerdendir. Üçüncü grup maddeler tüylerle sadece mekanik ilişkide oldukları için kolay uzaklaştırılabilir. İkinci grup maddeler ise kısmen daha zor, birinci grup maddeler ise çok daha zor uzaklaştırılır.

Tavuk tüylerinden lif üretmeden önce yapılması gereken ilk işlem bu yabancı ve kirli maddeleri tüyün üzerinden uzaklaştırmak olacaktır. Her ne kadar yıkama işlemi yapılsa da tüylerin üzerinde bir miktar vaks ve yağ gibi maddeler kalmaktadır ve bu da zaman içerisinde koku gibi bir problemin ortaya çıkmasına sebebiyet verebilmektedir. Bu kapsamda tavuk tüyü üzerinde bulunan ve farklı şartlar altında uçuculaşabilen maddelerin belirlenmesi ve bunların hangisinin olumsuz kokulara sebebiyet verdiği ortaya çıkarılmalıdır.

Bu amaçla farklı reçetelerle yıkanmış tüylere GC-MS yöntemiyle koku analizi yapılması öngörülmüştür. Yıkama işlemleri sonucu tüylerin özelliklerinin korunması hedeflenmiştir.

2.1.2. Malzeme

Tavuk Tüyü Materyali

Çalışmada kullanacağımız tavuk tüyleri Gaziantep ili “TAD Piliç Yem ve Fenni San” dan temin edilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2. 1. TAD piliç şirketinden temin edilen yıkanmamış tavuk tüyleri

Yıkama Maddeleri

Yıkamada kullanacağımız yıkama maddesi “Rudolf Şirketler Grubu’nun Bursa temsilciliğinden temin edilmiştir. Bu maddenin özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Araştırmalarda kullanılmış NaOH ARKİM firmasından, etanol Nanotek şirketinden, ozon ise Prodozon marka ozon jeneratöründen temin edilmiştir.

Tablo 2.1. Rudolf firmasına ait olan yıkama maddesinin özellikleri

Yıkama Maddesi	İyonik Yapısı	Görünümü	pH Aralığı	Çözünürlük
Rucogen Yes	Non iyonik	Renksiz berrak sıvı	6,0-7,0 (%2lik çözelti)	Su ile her oranda karışır

2.1.3. Yöntem

2.1.3.1. Kullanılan Cihaz ve Aletler

Tez kapsamında: manyetik karıştırıcı “M-TOPS marka MS300HS model”, Mekanik karıştırıcı “Heidolph marka RZR 2041 Model”, Ultrasonik su banyosu “WiseClean marka WUC-A03H model”, Gaz Kromatografisi Kütle Spektrometresi “SHIMAHZU firması GC-MS-QP2010 model” Ozon cihazı 25 g/sa kapasiteli Prodozon marka ozon jeneratörü, etüv nüve marka EN 099 model kullanılmıştır.

2.1.3.2. Tüylerin Yıkaması Şartlarının Belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında tavuk tüylerine farklı yıkama işlemleri yapılmıştır. Her şeyden önce tüyler üzerinde bulunmak suretiyle tüylerle mekanik ilişkide olan maddelerin giderilmesi için saf suda hiçbir kimyasal kullanmadan yıkama gerçekleştirilmiştir. Bu yıkamanın amacı farklı derecede kirliliğe sahip olan tüyleri aynı duruma getirmek olmuştur ki, saf su ile yıkanmış tüylerin GC-MS analizi sonuçları diğer yıkamalar için baz alınacaktır.

Tüylerin esas yıkamalarındaki hedef yukarıda belirtilen tüyler üzerinde bulunan ikinci ve birinci grup maddelerin giderilmesidir. Bu amaçla yüzey aktif maddeler (YAM) ve dezenfekte edici maddeler ihtiyaç duyulmuştur. Söz konusu maddelerin seçilmesinde daha önce yapılmış olan çalışmanın sonuçlarından yararlanılmıştır (Kocatepe, 2019). Bu çalışmada belirlenmiş olan reçete ile gerçekleştirilmiş yıkama sonucu elde edilmiş tüyler temiz olmalarına rağmen belirli oranda hoş olmayan kokuya sahipler ki, sıcaklık ortamında bu koku artmaktadır. Bu o anlama gelmektedir ki, tüyler üzerindeki ikinci grup yabancı maddeler giderilmiş olsalar da birinci grup maddelerin, yani yağların ve vaksların yağ asitleri şeklindeki kalıntıları tam olarak giderilememiştir. Bunların giderilebilmesi için yıkama sonrasında tüylere ozon, etanol ve sodyum hidroksit işlem yapılması planlanmıştır. İlave olarak yıkama işleminin ultrason banyosunda gerçekleştirilmesi ve yıkamadan sonra ozonlama işlemini yapılması da yöntem olarak belirlenmiştir. Neticede saf su ile yıkamanın dışında 6 yıkama yöntemi daha uygulanmış ve bu yıkamalar sonrası tüyler GC-MS analizine tabi tutulmuştur. Bu yıkama yöntemlerini ayırmak için onların kodlanmasına ihtiyaç duyulmuştur. Tablo 2.2’de yıkama yöntemlerinin kodlanması verilmiştir.

Tablo 2.2. Yıkama yöntemlerinin kodlanması

Yıkama kodu	Yıkama reçetesi
Y1	Saf su
Y2	Yüzey aktif madde + NaClO
Y3	YAM + NaClO + Ozon
Y4	YAM + Etanol
Y5	YAM + NaClO + NaOH
Y6	Ultrason banyosunda YAM + NaClO
Y7	Ultrason banyosunda YAM + NaClO + Ozon

Çalışma kapsamında tavuk tüylerine uygulanan yıkamalar aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

1. Varyant üzere yıkama işlemi sadece saf su ile yapılarak kimyasal kullanmadan gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla yıkanmamış tüylerin farklı yerlerinden alınmış 25gr tüy beher içerisine koyulmuştur. Üzerine 1lt damıtık su ilave edilmiş ve beher içerisinde 30°C sıcaklık sabit tutularak sürekli karıştırma ile 20dak.yıkama ardından 20°C sıcaklıkta durulama yapılmıştır. Bu yıkama işlemi Y1 olarak kodlandırılmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Y1 kodlu yıkama işlemi

2. Varyant üzere yıkama işlemi yıkama maddelerinin kullanımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu yıkama işlemi daha önce bu konuda yapılmış olan çalışmalarla belirlenmiş reçete (Tablo 2.3) ve programa uygun şekilde yapılmıştır (Kocatepe, 2019).

Tablo 2.3. Kimyasal kullanımı ile yıkama için reçete içeriği

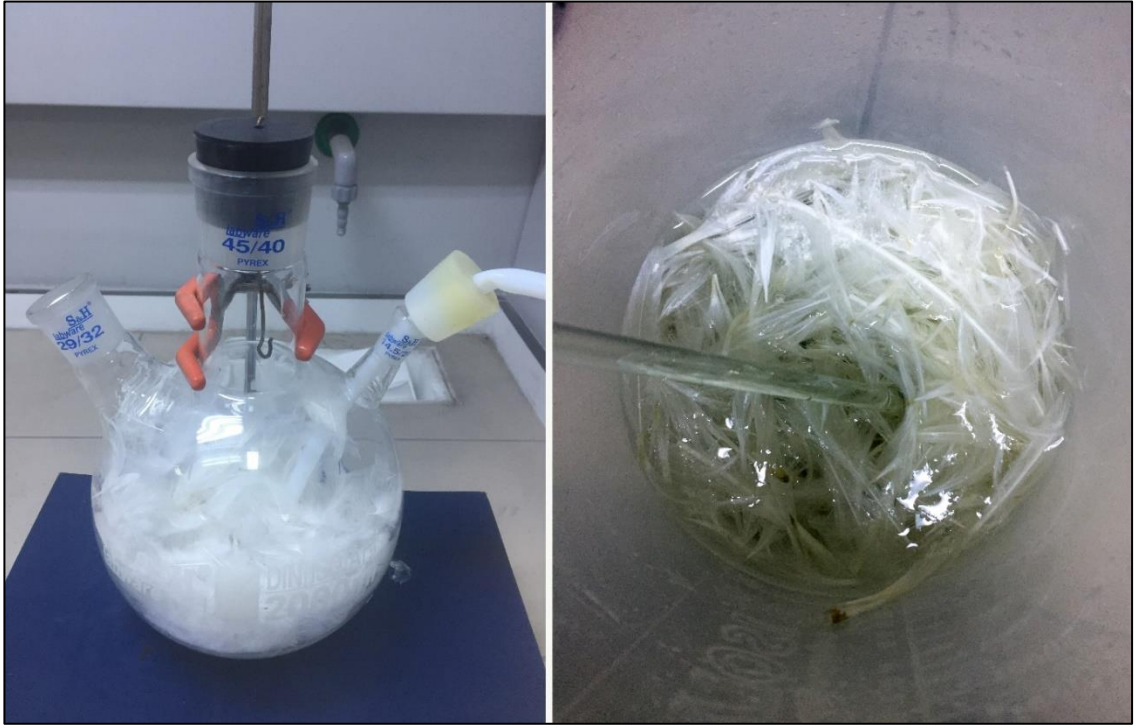
Aşamalar	Yıkama Maddesi	Miktar, ml	İşlem Süresi, dak.	Sıcaklık	Durulama Süresi	İşlem Sayısı
Ön Yıkama	Sodyum Hipoklorit	20	20	23°	20 dak.	1 kez
Esas Yıkama	Rucogen YES	40	60	40°	20 dak.	2 kez

Bu amaçla 25 gr olarak alınan yıkanmamış tavuk tüyleri beher içerisine koyulmuştur (Şekil 2.3). 1lt su içerisine 40ml sodyumhipoklorit (NaClO) ilave edilerek çözelti hazırlanmış ve tüylerin olduğu behere aktarılmıştır. Normal sıcaklıkta 20 dak. karıştırılmak suretiyle bu çözeltide tüylere ön yıkama yapılmıştır. Ardından 20 dak. durulama yapılarak esas yıkamaya geçilmiştir. Esas yıkamada yıkama maddesi olarak kir ve yağ sökücü özelliğe sahip noniyonik yüzey aktif madde kullanılmıştır. 1lt su içerisine 4ml yıkama maddesi koyularak çözelti hazırlanmış ve üzerine durulanan tüyler ilave edilmiştir. 40°C sıcaklığa sahip çözelti 1 saat boyunca karıştırılarak yapılan yıkama işleminden sonra 20 dak. durulama yapılmasının ardından aynı parametrelerle daha bir esas yıkama gerçekleştirilmiştir. 20 dak. süren durulama ile işlem bitirilmiştir. Yıkanmış tüyler normal şartlarda kurumaya bırakılmıştır. Bu yıkama işlemi Y2 olarak kodlandırılmıştır.

3. Varyant üzere yıkama bir önceki varyant üzere yıkanmış tüylere ozonla işlem uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Bunun için kurutulmuş tüylerden 5 gr tüy alınmış ve ozon beherine koyulmuştur (Şekil 2.4). 20 dak. boyunca yapılan ozonlama sonrasında tüylerin üzerindeki ozonu uzaklaştırmak için su ile 40°C’de 5dak. nötrleme işlemi yapılmış, arkasından durulama yapılarak normal ortam şartlarında kurumaya bırakılmıştır. Bu yıkama işlemini Y3 olarak kodlandırdık.



Şekil 2.3. Y2 kodlu yıkama işleminin yapımı



Şekil 2.4. Y3 kodlu yıkama ve nötrleştirme işlemi

4. Varyant üzere yıkama işlemi için yine 1. Varyant ile yıkanmış tüyler kullanılmıştır. Bu tüylerden 5 gr alarak kapalı bir şişeye koyulmuştur. Şişenin içerisine 300 ml etanol ilave edilmiş ve 12 saat boyunca aralıklarla çalkalanmıştır. Ardından şişe sıcak suyun içerisine koyularak 6 saat daha muamele görmüştür. Tüyler alınarak 20 dak. durulama yapıldıktan sonra kurumaya bırakılmıştır. Yıkama işlemi Y4 kod adı ile tanımlanmıştır.
5. Varyantta yıkama aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir. 2. Varyant üzere yıkanmış tüylere son durulama işlemi sonrasında NaOH çözeltisi ile 20 dakikalık bir yıkama uygulanmış, arkasından yine 20 dak. durulama yapılarak işlem bitirilmiş ve tüyler kurutulmaya bırakılmıştır. Çözelti 1 litre suya yıkanan tüy ağırlığının %4'ü kadar NaOH ilave edilmesiyle hazırlanmıştır. Bu yıkama işlemi Y5 ile kodlanmıştır.
6. Varyant üzere yıkama ultrason banyosunda gerçekleştirilmiştir. Yüksek frekanslı ses dalgaları hassas yıkama işlemlerinde yaygın bir şekilde uygulanmakta ve iyi sonuçlar vermektedir. Tüy üzerindeki kir ve diğer maddeleri daha efektif bir şekilde uzaklaştırılacağını sağlamak için aynı reçete ve program üzere yıkama işlemi ultrason banyosunda yapılmıştır. Yıkama işlemi Y6 olarak kodlandırılmıştır.
7. Varyant üzere yıkamada ultrason banyosunda yıkanarak normal şartlarda kurutulan tüylere 3. Varyantta olduğu gibi ozonlama işlemi uygulanmıştır. Yıkama işlemi Y7 olarak kodlandırılmıştır.

2.1.3.3. Tavuk Tüylerinde Koku Analizi

Tavuk tüylerinde her ne kadar yıkama işlemleriyle kirlilikler uzaklaştırılsa da normal veya nemli ve sıcak ortamlarda tüylerin açığa çıkardığı kokunun giderilmesi ile ilgili araştırmalar yapılmamıştır. Tüylerin açığa çıkardığı kokuyu objektif şekilde değerlendirmek amacıyla yıkanmış tüylere Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GS-MS) yöntemine dayanan koku analizi yapılmıştır.

2.1.3.2.1. Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS)

GC-MS, analiz edilen madde veya maddelerin uçucu (gaz) hale getirilip ayrıştırılması esasına dayanan bir yöntemdir (Şekil 2.5). Bütün kromatografik uygulamalarda olduğu gibi GC-MS uygulamasında da ortak nokta, “sabit faz” ve “hareketli faz” etki mekanizmasının mevcut olmasıdır. Gaz kromatografisinde sabit faz katı bir maddedir ve

dağılıma işlemi gaz adsorbsiyon dengesine göre olur. Hareketli faz ise gaz durumundadır ve taşıyıcı gaz olarak genellikle inert olan azot, helyum, argon veya hidrojen kullanılmaktadır. GC-MS cihazında analiz gerçekleştirilirken ilk olarak GC kısmına gelen gaz fazında bulunan uçucu veya uçuculaşabilen bileşikler kolon içerisinde geçmektedir. Daha sonra bu bileşikler MS kısmında iyonlaştırılarak kütle/yük oranına göre sıralanır ve pik dağılım grafikleriyle bileşiklerin tayin edilmesi sağlanır.



Şekil 2.5. Gaz kromatografisi-kütle spektrometresi cihazı

Analize tabi tutulacak maddelerin miktarlarının ve bu maddelerin alıkondduğu zamanı öğrenmek için çeşitli detektörler kullanılmaktadır. Tez kapsamında analiz edilen numuneye uygun detektör olarak MS (kütle spektrometresi) detektörü kullanılmıştır.

Detektör seçiminde olduğu gibi GC kısmında taşıyıcı gazla birlikte hareket eden uçucu hale getirilen bileşiğe uygun kolon seçimi de analizin karakteri açısından önem taşımaktadır. Yapılan çalışmada Rtx-5MS kolon tipi seçilmiş, kolon sıcaklığı 200°C olarak belirlenmiş ve her bir numune için 30 dakika boyunca analiz yapılmıştır.

2.1.3.2.2. Tüylerin GC-MS Analizine Hazırlanması

GC-MS yönteminde analizin gerçekleştirilebilmesi için kullanılan materyallerin ön hazırlık işlemine ihtiyaç vardır. Bu sebeple yıkaması yapılan tüyler ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuştur.

Ekstraksiyon işlemi farklı fazda bulunan bileşik ya da karışımlardan gerekli maddenin ayrıştırılmasına denir. Tez çalışmasında ekstraksiyon yöntemlerinden buhar distilasyonu yöntemi tercih edilmiştir. Tavuk tüyleri üzerinde yaptığımız çalışmalar sırasında sıcaklık ortamında tüylerden normal şartlarla kıyasta daha çok koku çıkması durumundan yola çıkarak tavuk tüyleri normal ve sıcaklık ortamında ekstrakte edilmiştir. Saf suyla ve diğer yıkama yöntemleriyle yıkanmış tüyler makasla küçük parçalara kesilmiş ve ayrı ayrı viallere yerleştirilmiştir (Şekil 2.6). Viallerde tüy parçacıklarının miktarının GC-MS cihazının iğne batma derinliği hizasına kadar olmasına dikkat edilmiştir Her birinden iki vial olarak hazırlanmış ekstraksiyonlardan biri etüvde 80°C sıcaklıkta, diğer ise normal ortam şartlarında 72 saat bekletilerek analize hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2.6. GC-MS analizi için hazırlanmış numuneler

2.1.3.4. Yıkanmış Tüylerin FTIR Analizi

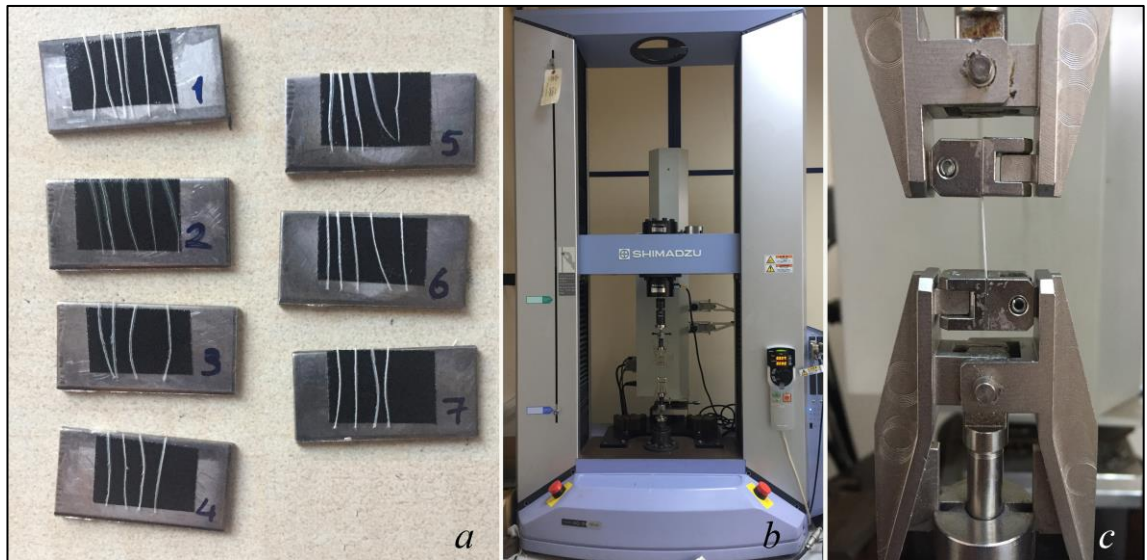
Yıkanmış tüylerin yapısal analizi tüylerin kimyasal ve fiziksel

Yıkanmış tüyler üzerinde kalan maddelerin tanımlanması için tüm yıkama ürünlerine FTIR spektroskopisi yapılmıştır. Bu sayede yıkama sonucu tüylerin kimyasal yapısındaki değişiklikler olup olmadığı ortaya çıkarılmıştır. Analizler ERÜ TAUM'da bulunan Perkin Elmer 400 marka FT-IR/FT-FIR Spectrometer Spotlight 400 Imaging System cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.18b).

2.1.3.5. Tavuk Tüylerinden Elde Edilen Materyallerin Yapısal Analizi

Tavuk tüyü liflerinin yapısal analizi ERÜ TAUM'da bulunan Zeiss Gemini 500 marka Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskopunda gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla farklı yöntemlerle yıkanmış tüylerden jiletle lif numuneleri kesilmiş ve SEM analizi için hazırlanmıştır. Numunelerin hazırlanması aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmiştir.

SEM analizi için tüyün orta hatta bulunan sap kısmının sağından ve solundan olmak üzere dallanan lifler kullanılmıştır. Jileti kullanırken liflerin ezilmemesi adına liflerin tek seferde kesilmesine dikkat edilmiştir. Kesilen lifler metal plaka üzerine yapıştırılan karbon banda sabitlenerek yüzeyleri Pd ve Au karışımıyla kaplanmış ve analize hazır hale gelmiştir (Şekil 2.7a).



Şekil 2.7. SEM analizi için hazırlanan lif materyali (a) ve çekme testi (b ve c)

2.1.3.6. Tavuk Tüyü Liflerinin Mekanik Analizi

Yapmış olduğumuz yıkama işlemlerinin tüy liflerinin mekanik özelliklerine etkisinin ne yönde olduğunu incelemek adına bu liflere çekme testleri yapılmıştır. Testler Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma Uygulama Merkezi'nde "SHIMADZU" firmasının üretmiş olduğu AG-XD50kN model cihazda gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.7b).

Çekme testi için lif numuneleri farklı yöntemlerle yıkanmış tüylerden elde edilmiştir. Test edilecek numuneye göre çekme cihazında hassas çene başlığı tercih edilmiştir (Şekil 2.7c). Çekme testi TS EN ISO 2062 standardına göre gerçekleştirilmiş, numuneler test için TS EN ISO 139 standardına göre kondisyonlanmıştır. Test yapılacak numunenin her birinden 5 adet örnek alınarak çekme hızı 10 mm/dak. olacak şekilde ölçme yapılmış, sonucunda liflerin çekme mukavemeti (N), elastik modül (GPa), maksimum gerilme (N/mm²), maksimum uzama (mm) değerleri hesaplanarak istatistik işlemlere tabi tutulmuştur.

2.2. Tavuk Tüylerinin Lif ve Sap Kısımının Ayrıştırılması

2.2.1. Malzeme

Malzeme olarak belirlenmiş yöntem ve reçete ile yıkanmış ve kurutulmuş tüyler kullanılmıştır.

2.2.2. Yöntem

2.2.2.1. Tavuk Tüylerinin Yıkaması ve Kurutulması

Tarafımıza gönderilmeden önce kesimhanede tüyler kaba bir yıkama ile üzerinde bulunan kan, kir, toz vb. maddelerden arındırılarak doğal yolla kurutulmuştur. Bu yıkama işlemi tüyler üzerinde yaşam faaliyeti sonucu oluşan yağlar ve vakslar, kir ve toz, dışkı, kesim sırasında tüylere yapışan kan ve kuşun iç sıvısının tam olarak uzaklaştırılmasını temin edememektedir. Yapılan önceki çalışmalar göz önünde bulundurularak belirlenen yıkama şartları Tablo 2.1'de verilmiştir. Yıkama işlemi dakikada 800 devir yapan 5 kg kapasiteli ev tipi çamaşır makinesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.8a). Yıkanmış tüyler laboratuvar tipi tüy kurutma makinesine kurutulmuştur (Şekil 2.8b).



Şekil 2.8. Tüylerin yıkanması (a) ve kurutulması (b)

2.2.2.2. Tavuk Tüylerinin Lif ve Sap Kısımına Ayırıştırılması

Atık durumunda olan bu tüylerin uzunluğu boyunca lifsi yapıya sahip “dallarının”, “sap” kısmından mekanik usulle kesilerek ayırıştırılması özel makine kullanılmıştır. Bu makinenin görünümü Şekil 2.9a’da yer almaktadır.

Tavuk tüylerinin mekanik usulle ayırıştırılması sonucu elde edilen lif ve sap materyalleri Şekil 2.9b ve 2.9c’de gösterilmiştir.

2.3. Tavuk Tüyü Liflerinden Kompozit Üretimi

2.3.1. Yaklaşım

Tez kapsamında tavuk tüylerinin ayırıştırılması ile elde edilen tavuk tüyü liflerinden biyolojik olarak bozulabilen gözenekli kompozit yapılar üretilmiştir. Matris olarak hidrofilik özelliğe sahip, doğada kolay bozunabilen polivinil alkol (PVA) kullanılmıştır. Elde edilmiş kompozit yapı su ile temasta olduğunda su molekülleri takviye ve matris malzemesi arasında oluşmuş bağları zayıflatmakta, bu durum ise yapının dayanıklılığını düşürmektedir. Takviye ve matris malzemesinin arasında oluşan bu bağları belirli oranda güçlendirmek adına bağlayıcı maddeye ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde bu amaçla farklı asitler ve bunlardan birisi olarak sitrik asitin takviye ve matris malzemesi arasında çapraz bağlayıcı olarak kullanılması önerilmektedir (Reddy ve ark., 2013).



Şekil 2.9. a) ayırıştırma makinesi, b) tavuk tüylerinden ayırıştırılmış lifler, c) tavuk tüylerinden ayırıştırılmış sap materyali

2.3.2. Malzeme

Çalışmada takviye malzemesi olarak kullanılan tavuk tüyü lifleri ERÜ TMB’de mevcut tüy lifi üretim makinesinde üretilmiştir. Matris malzemesi olarak Polivinil alkol (PVA) “ZAG Kimya” ve çapraz bağlayıcı olarak kullanılan sitrik asit monohidrat “Aromel Kimya”dan temin edilmiştir. Sitrik asit ve PVA polimerine ait bazı özellikler Tablo 2.4’de verilmektedir. Kompozit üretiminde kullanılan streç film ve kalıp ayırıcı sprej “ArKim”den temin edilmiştir.

Tablo 2.4. Kullanılan kimyasallara ait bazı özellikler

Malzeme/özellikler	Görünümü	Çözünürlük	pH	Yoğunluk	Molar ağırlığı
PVA	Beyaz, kristal	Su, alkol	6-7	1,20 g/cm ³	86,09 g/mol
Sitrik Asit	Beyaz, kristal	Su	-	1,54 g/cm ³	210,14 g/mol

2.3.3. Yöntem

2.3.3.1. Kompozit Üretiminde Kullanılan Cihaz ve Aletler

Çalışmada takviye malzemesi olarak kullanılan tavuk tüyü lifleri ve sap materyali Erciyes Üniversitesi Tekstil Mühendisliği bölümü lif üretim laboratuvarında üretilmiştir. Matris ve takviye malzemesinin karıştırılması için “Heidolph marka RZR 2041 Model” mekanik karıştırıcı “MTOPS 300 MS Model” manyetik karıştırıcılı ısıtıcı tabla, hazırlanan çözeltinin özelliklerine uygun tercihen 200x200mm silikon kalıp kullanılmıştır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Kompozit üretimi için ekipmanlar

Numunelerin dondurulması için ev tipi buzdolabı ve numunelerden suyun uzaklaştırılması için ALPHA marka 2-4 LSC Plus model liyofilizatör cihazından yararlanılmıştır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Liyofilizatör cihazı

2.3.3.2. Kompozit Yapıların Üretilmesi

Kompozit yapı numunelerinin üretimi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşama matrix için çözelti hazırlanmasını, ikinci aşama ise yapının şekillendirilmesini içermektedir.

2.3.3.3. Çözeltinin Hazırlanması

Kompozit yapı için matrix çözeltisi hazırlanması PVA'nın arıtılmış suda çözülmesi ile başlanmıştır. PVA ve su miktarı numune üretim şartlarına göre belirlenmiş (bak: 2.3.4), çözeltinin hazırlanması ise sıcak ortamda mekanik karıştırıcının yardımı ile gerçekleştirilmiştir.

Deney şartlarına göre belirlenmiş miktarda PVA ve arıtılmış su, ısıtıcı tabla üzerindeki 1 litrelik beher içerisine koyularak mekanik karıştırıcı yardımıyla 150 dakika

karıştırılmıştır. Isıtıcı tablanın sıcaklığı 100°C , mekanik karıştırıcının dönme hızı 500 devir/dakika olarak ayarlanmıştır. Karışma sırasında çözeltideki su kaybını minimum düzeyde tutmak adına beherin ağzı streç film ile kapatılmıştır (Şekil 2.12a).



Şekil 2.12. PVA/su karışımı

PVA'nın çözülmesi ile çözelti ısıtıcı tabladan alınarak ultrason banyosunda 85°C sıcaklıkta 30 dakika tutulmuştur (Şekil 2.12b). Bununla mekanik karıştırıcı ile karıştırma sırasında çözelti içerisinde oluşan hava kabarcıklarını ultrases dalgalarıyla yüzeyde sonradan almak amacıyla toplamak ve çözelti içerisinde oluşan yüzey gerilimini en aza indirmek istenmiştir. 30 dak. işlem sonrasında çözelti pH'ı ölçülerek not edilmiştir. Yüzeyde biriken hava kabarcıkları alınarak çözelti ağırlığı ölçülmüş ve not edilmiştir. PVA çözeltisi tekrar 100°C sıcaklıktaki ısıtıcı tablaya koyulmuş ve çözelti sıcaklığının dengeye gelmesi için 1 saat boyunca 500 devir/dakika dönme hızıyla karıştırılmıştır.

Takviye malzemesi olarak kullanılacak tavuk tüyü lifleri arıtılmış su ile yıkanarak kurutulmuş ve çözeltiye ilave edilmiştir (Şekil 2.12c). Lif miktarı deney planına göre belirlenmiştir. Takviye malzemesinin matris içerisinde homojen olarak dağılması için karıştırma 60 dakika sürmüştür. 1 saatin sonunda sıcaklık, çözelti ağırlığı ve pH kontrol edilerek kaydedilmiştir.

Sonda takviye ve matris malzemesi çözeltisine çapraz bağlayıcı madde olan sitrik asit ilave edilmiştir. Deney planında belirtilen oranlarda ilave edilen sitrik asit ile birlikte içerisinde çözelti bulunan beherin ağzı streç film ile kapatılarak ısıtıcı tabla üzerinde yine 100°C 'de 6 saat boyunca 500 devir/dakika ile mekanik olarak karışmaya bırakılmıştır (Şekil 2.12d). 6 saatin sonunda sıcaklık, pH ve ağırlık kaydedilmiştir.

2.3.3.4. Kompozitin Şekillendirilmesi

Hazırlanan çözeltiden gözenekli bir yapı oluşturmak için çözelti içerisinde bulunan suyun uzaklaştırılması gerekmektedir. Suyun uzaklaştırılması için “dondurarak kurutma” veya “kuru buharlaştırma” olarak adlandırılan liyofilizasyon yöntemi tercih edilmiştir. Dondurulan numunelerin vakum ortamında suyu sıvılaştırmadan direk buharlaştırması esasına dayanan bu yöntemle numuneler şekillendirilmiştir. Bu amaçla silikon kalıp tercih edilmiştir (Şekil 2.13). Silikon kalıp içerisine kalıp ayırıcı sprej sıkılarak birkaç dakika bekletilmiş, ardından beher içerisindeki çözelti kalıba dökülmüş ve dondurulmak üzere buzdolabının buz haznesine koyulmuştur (Şekil 2.13b).



Şekil 2.13. Çözeltinin kalıba dökülmesi (solda) ve dondurulmuş numune (sağda)

Dondurma işleminin ardından çözelti kalıp içerisinden çıkarılarak liyafilizatör cihazına yerleştirilmiştir (Şekil 2.11).

Liyafilizatörün parametreleri vakum değeri 0,0010 mbar, dondurucu kısmın sıcaklığı ise -80°C , kurutma süresi 240 saat olarak belirlenmiştir.

2.3.3.5. Çok Faktörlü Deney Planlanması

Numunelerin hazırlanması için içerdiği maddelerin karışım oranlarını belirleyecek çok faktörlü deney planlanması yapılmıştır. Bu amaçla numune özelliklerini belirleyen yönetilebilecek faktörler seçilmiş, yönetilemeyen faktörler ise mümkün olduğu kadar belirli bir seviyede sabitlenmiştir. Deney planı olarak tam faktörlü plan seçilmiştir.

Deney planı “Dizayn Expert” programında tasarlanmıştır ve sonuçlar üzerindeki matematik işlemler de aynı programla yapılmıştır.

Numunelerin özelliklerini belirleyecek temel yönetilebilen faktörler olarak numunedeki PVA, su, sitrik asit ve lif miktarları seçilmiştir. Ön demelere dayanarak bu faktörlerin her birisi için değişim aralığı ve faktör seviyeleri belirlenmiştir (Tablo 2.5).

Tablo 2.5. Yönetilebilen faktörler

	Factor	Name	Units	Type	Minimum	Maximum	Coded Low	Coded High	Mean	Std. Dev.
	A	PVA_mik	q	Numeric	18.53	56.47	-1 ↔ 25.00	+1 ↔ 50.00	37.50	11.46
	B	SA_mik	q	Numeric	23.94	44.81	-1 ↔ 27.50	+1 ↔ 41.25	34.38	6.30
	C	Su_mik	q	Numeric	396.46	1003.54	-1 ↔ 500.00	+1 ↔ 900.00	700.00	183.35
	D	Lif_mik	q	Numeric	19.40	38.74	-1 ↔ 19.75	+1 ↔ 33.65	26.70	6.37

Seçilmiş faktörler üzerinde Design Expert 11 programı kullanılarak hybrid kompozisyonlu deney planı oluşturulmuştur (Tablo 2.6). Diğer bir yandan prosese etki eden ve deney şartlarının bütün numunelerde aynı olması için karıştırma hızı, karıştırma süresi, ortam sıcaklığı, çözelti sıcaklığı, kurutma süresi sabit tutulmuştur.

Tablo 2.6. 4 Faktörlü kompozisyon deney planı

Std	Run	Factor 1 A:A	Factor 2 B:B	Factor 3 C:C	Factor 4 D:D	Response 1 R1
1	4	0	0	0	1.7317	
2	5	0	0	0	-0.2692	
3	7	-1	-1	-1	0.6045	
4	3	1	-1	-1	0.6045	
5	14	-1	1	-1	0.6045	
6	12	1	1	-1	0.6045	
7	15	-1	-1	1	0.6045	
8	8	1	-1	1	0.6045	
9	13	-1	1	1	0.6045	
10	16	1	1	1	0.6045	
11	9	1.5177	0	0	-1.0498	
12	10	-1.5177	0	0	-1.0498	
13	11	0	1.5177	0	-1.0498	
14	1	0	-1.5177	0	-1.0498	
15	2	0	0	1.5177	-1.0498	
16	6	0	0	-1.5177	-1.0498	

Tablo 2.7. 4 Faktörlü Kompozisyon Deney Planı naturel değerleriyle

Std ▼	Run	Factor 1 A:PVA g	Factor 2 B:Su g	Factor 3 C:SA	Factor 4 D:Lig g	Response 1 Kop_muk N	Response 2 Kop_uz %	Response 3 Kop_ger N/mm2	Response 4 EM N/mm2
1	4	37.5	700	41.245	33.6585	64.44	13.08	0.46	2.97
2	5	37.5	700	41.245	23.654	47.21	18.24	0.32	1.9
3	7	25	568.22	32.19	28.0225	39.16	13.01	0.34	4.3
4	3	50	568.22	32.19	28.0225	94.21	11.43	0.8	14.93
5	14	25	831.78	32.19	28.0225	12.25	21.16	0.07	0.5
6	12	50	831.78	32.19	28.0225	59.26	14.62	0.32	2.6
7	15	25	568.22	50.3	28.0225	22.16	18.15	0.16	1.43
8	8	50	568.22	50.3	28.0225	41.95	24.38	0.35	1.91
9	13	25	831.78	50.3	28.0225	18.92	20.52	0.11	1
10	16	50	831.78	50.3	28.0225	33.1	22.85	0.18	1.42
11	9	56.4712	700	41.245	19.751	44.74	22.52	0.28	2.94
12	10	18.5287	700	41.245	19.751	10.85	28.57	0.08	0.36
13	11	37.5	900.003	41.245	19.751	26.08	24.42	0.14	0.72
14	1	37.5	499.997	41.245	19.751	45.83	33.91	0.53	4.33
15	2	37.5	700	54.9878	19.751	19.75	26.63	0.19	1.11
16	6	37.5	700	27.5022	19.751	62.72	14.23	0.37	2.55

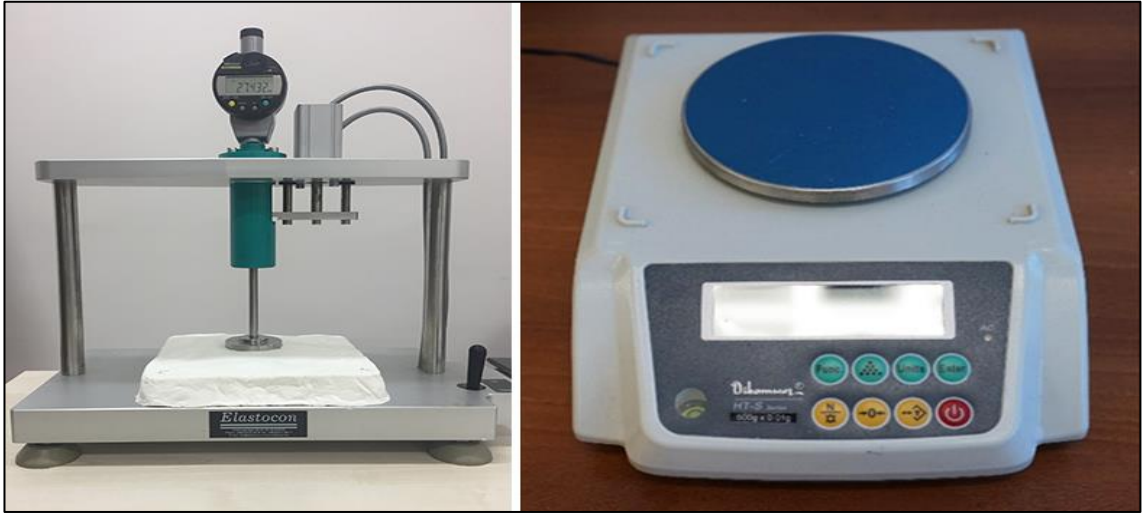
2.4. Üretilmiş Numunelerin Özelliklerinin Test Edilmesi

Üretilmiş numunelerin yapısal, mekanik, termik, akustik ve geçirgenlik parametreleri test edilmiştir. Testler uygun standartlar üzere bölüm laboratuvarlarında ve Erciyes TAUM'da yapılmıştır.

2.4.1. Kalınlık-Ağırlık-Yoğunluk Testleri

Numunelerin kalınlığı TS EN ISO 9073-2 standardı üzere Elastocon markalı kalınlık ölçme cihazında ölçülmüştür (Şekil 2.14). Liyofilizatör cihazında kurutulan numuneler doğal ortam şartlarında bekletildikten sonra numuneler üzerinde 5 farklı noktadan kalınlık değerleri elde edilmiş ve numune yüzeyi en düşük noktaya göre parlatma makinesinde düzeltilmiştir. Numunelerin yüzeyi düzeltildikten sonra kalınlığın numunenin her tarafında eşit olduğu kontrol edilmiştir.

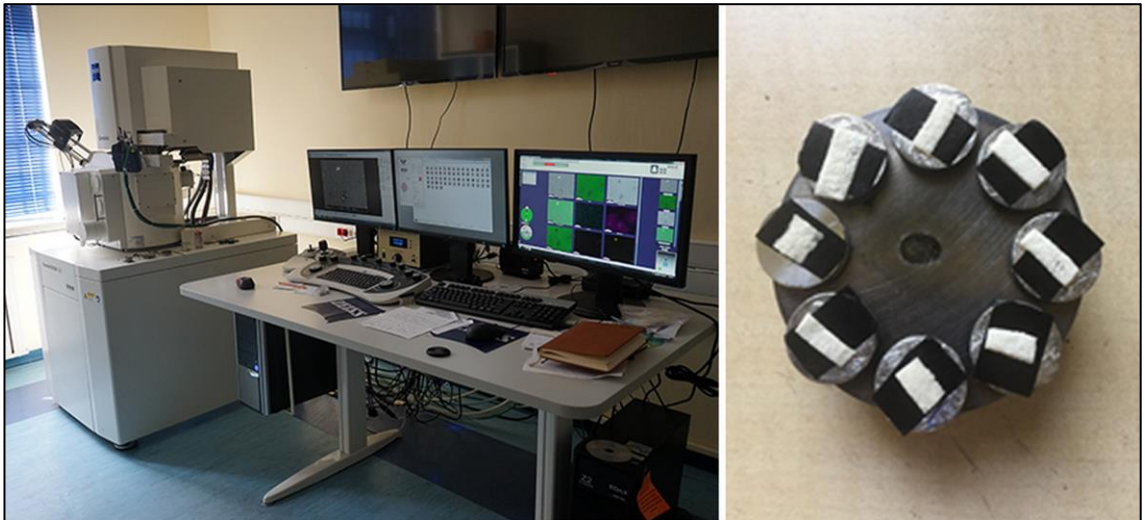
Numunelerin yoğunluğunu hesaplamak için hassas terazi ile ağırlığı ölçülmüştür. Bu amaçla Erciyes Üniversitesi Tekstil Mühendisliği laboratuvarında bulunan 0,01 gr hassasiyet ile ölçüm yapan Dikomsan marka elektronik hassas terazi kullanılmıştır (Şekil 2.14). Numunenin yoğunluğu hesaplanarak tabloya kaydedilmiştir.



Şekil 2.14. Kalınlık ölçer (solda) ve elektronik hassas terazi (sağda)

2.4.2. Üretilmiş Kompozit Numunelerinin Yapısal Analizi

Tez kapsamında üretilmiş kompozit malzemelerinin yapısal analizi ERÜ TAUM’da bulunan Zeiss Gemini 500 marka Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu’nda gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla tam faktörlü deney planı üzere üretilmiş numunelerden jiletle ortalama 2 mm kalınlığında parçalar kesilmiş ve metal plaka üzerine karbon bantla tutturulmuştur. Test numunesinin üzeri Pd/Au karışımıyla kaplanarak SEM analizi için hazırlanmıştır (Şekil 2.15). SEM analizi ile takviye malzemesinin matris malzemesi içerisinde dağılımını görmek, oluşan gözeneklerin boyutları ile ilgili fikir edinmek hedeflenmiştir.



Şekil 2.15. Kompozitlerin SEM ölçümü için hazırlanması

2.4.3. Mekanik Analiz Testi

Tez kapsamında üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerini hakkında bilgi edinmek için ERÜ TAUM’ da bulunan “SHIMADZU” firmasının üretmiş olduğu AG-XD50kN model cihazda çekme testi gerçekleştirilmiştir.

Numuneler TS EN ISO 527-2 standardına göre hazırlanmış ve test edilmiştir. Numunelerin standartta belirtilen aralıkta kesilmesi için bir düzeneğe tasarlanmıştır. Her bir numune iki cetvel arasında vidalarla sıkıştırılarak maket bıçağı yardımıyla kesilmiştir. (Şekil 2.16) Çekme testi öncesi numuneler iklimlendirme kabiniinde 22°C ve %63 nemde kondisyonlanmıştır.



Şekil 2.16. Numunelerin kesilmesi için hazırlanan düzeneğe

Çekme testi için hazırlanan numuneler çekme makinesine yerleştirilerek 50 mm/dak. hızla çekilmiştir (Şekil 2.17).

2.4.4. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Sıcaklığın artmasıyla meydana gelen kütleli değişimi görebilmek adına üretilmiş kompozit numunelerine ERÜ TAUM’da bulunan “Perkin Elmer” markalı “Diamond” model cihazda termogravimetrik analiz yapılmıştır (Şekil 2.18a). Her numuneden ortalama 4...6 g arasında parçalar alınarak ısıtma hızı 10 mm/dak. olacak şekilde 1000°C sıcaklığa kadar çıkılmıştır. Ölçüm sırasında azot gazından yararlanılmıştır.



Şekil 2.17. Kompozit numunelerinin çekme testi



Şekil 2.18. TGA cihazı (a), FTIR cihazı (b), ısı geçirgenliği ölçüm cihazı (d)

2.4.5. FTIR Analizi

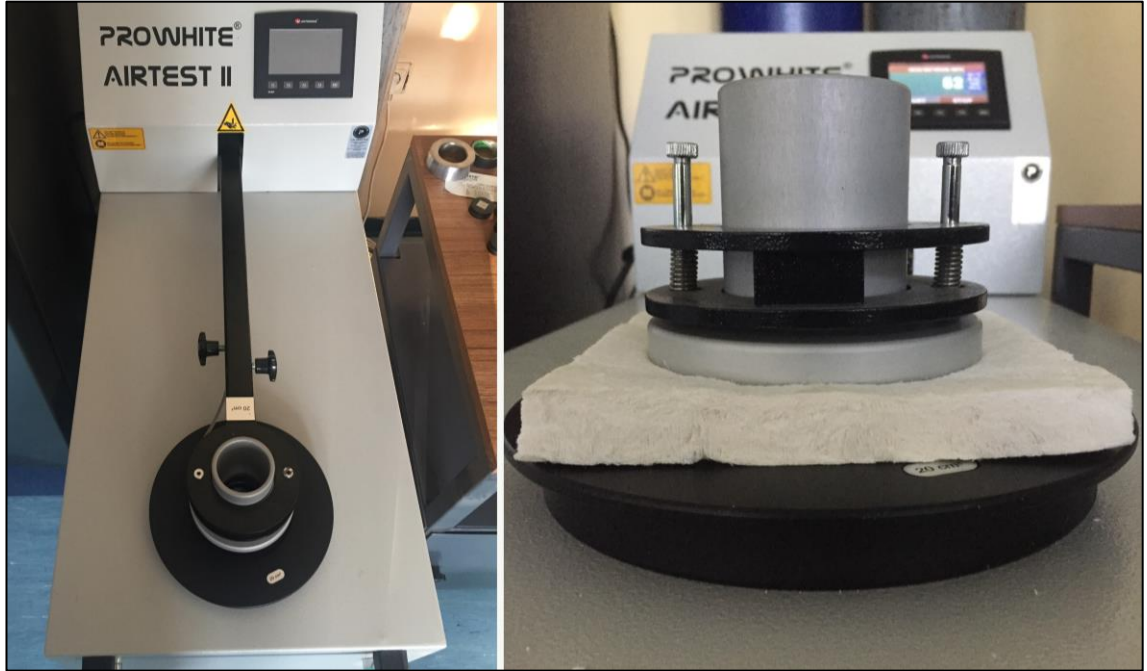
Üretilmiş kompozit numunelerinin FTIR analizi yapılmıştır. Analizler her bir numuneden 2 mm kalınlığında kare parçalar kesilerek ERÜ TAUM'da bulunan Perkin Elmer 400 marka FT-IR/FT-FIR Spectrometer Spotlight 400 Imaging System cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.18b).

2.4.6. Isı Geçirgenlik Testi

Tez kapsamında üretilen kompozit yapıların ısıl iletkenlik katsayısının ölçülmesi için ERÜ Taum laboratuvarında bulunan THERMTEST marka test cihazı kullanılmıştır (Şekil 2.18d). Numunelere test yapılırken Thermtest HFM Thermal Conductivity System ile ASTM C518 standardından yararlanılmıştır. Her bir numune için ölçümler 0°C, 10°C ve 20°C gibi üç farklı sıcaklıkla gerçekleştirilmiştir.

2.4.7. Hava Geçirgenlik Testi

Numunelerin hava geçirgenlik değerleri Erciyes Üniversitesinde bulunan TAUM laboratuvarlarındaki Prowhite markalı K008 model Hava Geçirgenlik Test Cihazında TS 391 EN ISO 9237 test standardına uygun olarak yapılmıştır (Şekil 2.19). Ölçmelerden önce numuneler test standartlarına göre iklimlendirme kabininde kondisyonlanmış, daha sonra cihaza yerleştirilmiştir. Ölçümler 100 PA basınç altında ve ile yapılmış, her bir numunenin 3 farklı yerinden ölçüm alınarak bu alınan değerlerin ortalaması hesaplanmıştır.



Şekil 2.19. Kompozitlerin hava geçirgenliği ölçümü

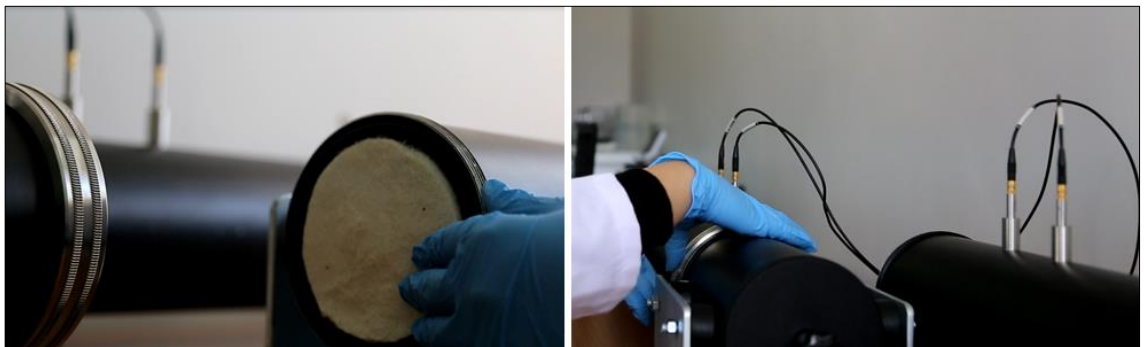
2.4.8. Akustik Özellikleri Testi

Ses yalıtım parametrelerini ölçmek için ERÜ Tekstil Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında bulunan BSWA TECH markalı empedans tüpü cihazından yararlanılmıştır (Şekil 2.20).

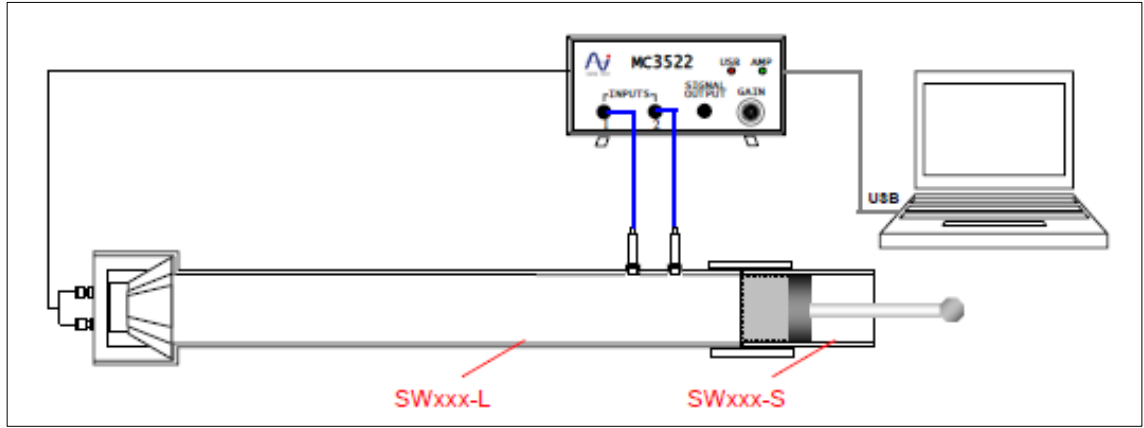


Şekil 2.20. BSWA TECH markalı empedans tüpü cihazı

Ses yutma katsayısının ölçülmesi için test numunesi rijit ve doğrusal tüpün bir ucuna yerleştirilir (Şekil 2.21). Düzlemsel dalgalar bir ses kaynağı tarafından üretilir. Ses basıncı numuneye yakın iki noktadan ölçülür. İki mikrofonla uygulanan testte mikrofonlar arasında faz kalibrasyonu yapılır ve bu iki mikrofon sinyalleri arasındaki transfer fonksiyonu ölçülür. Transfer fonksiyonu kullanılarak; kompleks yansıma faktörü, ses emme katsayısı ve numunenin empedansı hesaplanır. Kullanılabilir frekans aralığı tüpün çapına ve mikrofonlar arasındaki mesafeye göre belirlenir. Ses yutma katsayısı ölçümü için cihaz şeması Şekil 2.22’te verilmiştir.



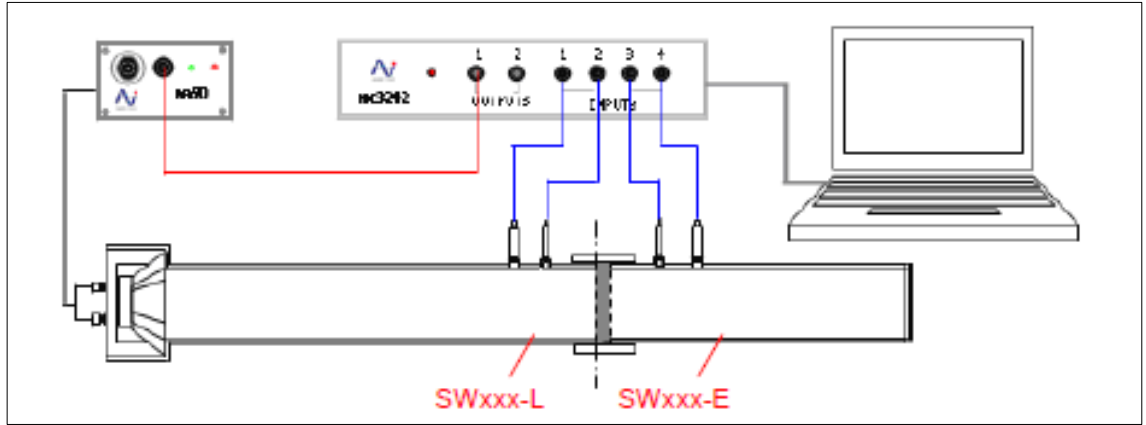
Şekil 2.21. Ölçümü yapılacak numunelerin tüplere yerleştirilmesi



Şekil 2.22. Ses yutma katsayısı ölçümü

Ses iletim kaybı ölçüm yapılan numunenin bir tarafından gönderilen sesin diğer tarafa ne kadar aktarıldığıyla, yani enerji aktarımıyla ilgilenir. Ses iletim kaybının tespiti için dört mikrofona sahip modifiye edilmiş empedans tüpü yöntemi uygulanır. Bu yöntemle ölçüm için numune, empedans tüpü çapında hazırlanarak empedans tüpünün sonuna yerleştirilir. Ancak empedans tüpü ölçümünden farklı olarak numuneden sonra ikincil bir tüp daha bulunur. Bu yöntemde empedans tüpüne birincil tüp, numuneden sonraki tüpe ise ikincil tüp denir.

Ses kaynağından, numune parça üzerine gönderilen düzlemsel dalgalar empedans tüpü ölçümünde olduğu gibi ilk mikrofondan ölçülür. Malzemeden ikincil tüp kısmına iletilen ses dalgaları da üçüncü ve dördüncü mikrofondan ölçülür ve tüm mikrofondan arasındaki transfer fonksiyonları ayrı ayrı hesaplanır. İletim kaybını hesaplayabilmek için test düzeneğinin iki farklı sınır şartı için ölçüm yapılır. Ölçümün en iyi sonucu vermesi için birbirine zıt sınır şartları seçilir. Bunlar, ikincil tüpün çıkışının sert bir kapakla kapalı olduğu durum (ses dalgaları tamamen geri yansır) ve tamamen açık olduğu durumdur (ses dalgaları boşlukta yayılır ve bir yüzeyden yansır tüpün içine geri dönmez). Daha sonra yazılım sayesinde frekans alanında malzemenin ses iletim kaybı (Sound Transmission Loss) hesaplanır. Ses iletim kaybının ölçülmesinde uygulanan cihaz şeması Şekil 2.23'te verilmiştir.



Şekil 2.23. Ses iletim kaybı ölçümü

Ölçmeler aşağıdaki standartlara göre gerçekleştirilmiştir:

- ISO 10534-1: 1996 Acoustics-Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes-Part1: Method using standing wave ratio
- ISO 10534-2: 1998 Acoustics-Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes-Part2: Transfer function method.

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Tavuk Tüylerinin Lif Üretimine Hazırlanması ile İlgili Bulgular

3.1.1. Tüylerin Yıkaması ile İlgili Bulgular

Tavuk tüylerinin lif üretimine hazırlanması amacıyla yıkama işleminden sonra tüylerde kalan hoş olmayan koku, sonraki uygulamalar açısından problem oluşturmaktadır. Bu kokunun yıkama sürecinde giderilmesi amacıyla yedi farklı varyantta yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu yıkama işlemleri sonucu tüylerden normal ve sıcaklık ortamında koku ayrılması istenmektedir. Yıkama sonrasında tüyler kurutulmuş ve GC-MS analizine tabi tutulmuştur. Analiz sonuçları tablolara aktarılmıştır.

Saf su ile yıkanmış tüylerde (Y1 Kod) açığa çıkan bileşikler Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1. Y1 Kodlu yıkamaya ait GC-MS bileşenleri

	Bileşik Adı	Normal sıcaklık			80°C sıcaklık		
		Süre	Alan	Alan %	Süre	Alan	Alan %
1	n-Decanoic acid	14.512	57238238	5,13	14.522	1734054	0,21
2	Tetradecanoic acid (CAS)	19.523	30581128	2,74	-	-	-
3	9-Hexadecenoic acid	-	-	-	22.330	13380305	1,59
4	n-Hexadecanoic acid	22.998	401350121	35,95	22.925	203888843	24,27
5	Heptadecanoic acid	25.170	44778820	4,01	-	-	-
6	Cis-Vaccenic acid	27.642	26184172	2,34	27.941	262381552	31,23
7	Erucic acid	27.709	44241124	3,96	-	-	-
8	Cis-13-Octadecenoic acid	-	-	-	28.013	24834195	2,96
9	Octadecanoic acid	28.909	288082565	25,8	28.920	251144667	29,89
10	Octadecanoic acid, ethyl ester (CAS)	-	-	-	29.598	9088424	1,08
11	Nonadecanoic acid	33.215	25225876	2,26	-	-	-
12	Eicosanoic acid	40.355	143536416	12,85	39.843	31283102	3,72
	TOPLAM		1061218460	%95,04		797735142	%94,95

Kimyasallar (NaClO ve YAM) ile yıkanmış tüylerde (Y2 Kod) kromatografik analiz sonucu açığa çıkan bileşikler Tablo 3.2’ de verilmiştir.

Tablo 3.2. Y2 Kodlu yıkama ait GC-MS Bileşenleri

	Bileşik Adı	Normal sıcaklık			80°C sıcaklık		
		Süre	Alan	Alan %	Süre	Alan	Alan %
1	9-Octadecenoic acid (Z)- (CAS)	19.473	1532743	3,20	-	-	-
2	Tetradecanoic acid (CAS)	-	-	-	19.477	1535794	5,95
3	Octadecanoic acid, 2,3 dihydroxypropyl ester	20.476	2471041	5,16	-	-	-
4	Pentadecanoic acid (CAS)	-	-	-	20.850	796476	3,09
5	2-dodecanal	-	-	-	21.140	668561	2,59
6	Hexadecanoic acid, methyl ester (CAS)	21.897	1386750	2,89	21.901	970547	3,76
7	Heneicosanoic acid (CAS)	22.018	4106078	8,57	-	-	-
8	n-Hexadecanoic acid	22.628	3772268	7,87	22.643	6253117	24,76
9	Pentadecanal	-	-	-	23.934	1028925	3,99
10	Heptadecanoic acid	-	-	-	25.026	1670674	6,47
11	Octadecanoic acid, 2-hydroxy-1,3-propanediyl ester	25.654	14451590	30,14	-	-	-
12	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)	26.145	2199599	4,59	-	-	-
13	10-Octadecenoic acid, methyl ester	-	-	-	26.164	2455402	9,52
14	Octadecanoic acid (CAS)	28.341	2959698	6,17	28.362	5971198	23,14
15	Docosanoic acid	35.672	12643238	26,38	-	-	-
16	Eicosanoic acid	-	-	-	39.640	3080113	11,94
	TOPLAM		45523005	%94,97		52150807	94,68

Kimyasal ile yıkanmış tüylere ozonla kuru yıkama (Y3 Kod) yapılması sonucu elde edilen bileşikler Tablo 3.3’ de verilmiştir.

Tablo 3.3. Y3 Kodlu yıkamaya ait GC-MS bileşenleri

	Bileşik Adı	Normal sıcaklık			80°C sıcaklık		
		Süre	Alan	Alan %	Süre	Alan	Alan %
1	1-Dodecanol	-	-	-	14.800	196284	1,35
2	Tetradecanal	-	-	-	17.722	99332	5,74
3	Nonacosanol (CAS)	-	-	-	18.622	117120	6,77
4	Hexadecanal	18.915	133007	12,65	18.931	81138	4,69
5	Heptadecanal	21.794	154022	14,65	-	-	-
6	Hexadecanoic acid, methyl ester	21.881	226716	21,56	21.915	257889	14,91
7	Hexadecanoic acid(CAS)	22.612	150191	14,28	22.662	494296	28,60
8	Pentadecanal	23.916	119234	11,34	-	-	-
9	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)	26.112	212463	20,20	-	-	-
10	11-Octadecenoic acid (Z), methyl ester	-	-	-	26.181	391890	22,66
	TOPLAM		995633	%94,68		1637949	%94,72

Kimyasal kullanılarak yıkanan tüylere NaOH işlemi uygulanması sonrasında elde edilen kromatografik analiz sonucu açığa çıkan bileşikler Tablo 3.4’ te verilmiştir.

Tablo 3.4. Y4 Kodlu yıkamaya ait GC-MS analizleri

	Bileşiğin Adı	Normal sıcaklık			80°C sıcaklık		
		Süre	Alan	Alan %	Süre	Alan	Alan %
1	Tetradecanal	17.701	62404	6,21	17.712	40984	3,92
2	Octadecanal	18.914	64280	6,40	-	-	-
3	1-Tridecanol (CAS)	19.041	45844	4,56	-	-	-
4	Heptadecanal	21.797	73721	7,34	-	-	-
5	Hexadecanoic acid, methyl ester	21.892	122494	12,19	21.909	230964	22,12
6	n-Hexadecanoic acid	22.600	324860	32,33	22.655	287531	27,55
7	11-Octadecenoic acid, methyl ester	26.129	255011	25,35	26.198	235063	22,51
8	Tridecanal	-	-	-	18.925	78125	7,48
9	Octadecanoic acid, methyl ester (CAS)	-	-	-	26.993	117593	11,26
	TOPLAM		948614	%94,41		990260	%94,84

Kimyasalla yıkanmış tüylere uygulanan etanol işleminin (Y5 Kod) uygulanmasının ardından elde edilen bileşiklere ait çizelge Tablo 3.5 de verilmiştir.

Tablo 3.5. Y5 Kodlu yıkamaya ait GC-MS bileşenleri

	Bileşiğin Adı	Normal sıcaklık			80°C sıcaklık		
		Süre	Alan	Alan %	Süre	Alan	Alan %
1	Tetradecanal	17.693	116723	7,94	17.670	1433181	10,77
2	Octadecanal	18.910	111667	7,59	18.889	1456813	10,95
3	Heptadecanal	21.794	104531	7,11	-	-	-
4	Hexadecanoic acid, methyl ester	21.886	127303	8,66	-	-	-
5	n-Hexadecanoic acid	22.587	722685	49,13	22.590	5109329	38,37
6	7-Hexadecenal (Z)	-	-	-	23.038	734700	5,52
7	2-Pentadecanone (CAS)	-	-	-	23.492	725253	5,45
8	Tridecanoic acid	-	-	-	24.949	795584	5,98
9	10-Octadecenoic acid, methyl ester	26.122	212602	14,45	-	-	-
10	Octadecanoic acid (CAS)	-	-	-	28.244	2407223	18,09
	TOPLAM		1395511	%94,88		12662083	%95,13

Ultrason banyosunda kimyasal kullanılarak gerçekleştirilen yıkama işlemine(Y6 Kod) ait bileşikler Tablo 3.6’ da verilmiştir.

Tablo 3.6. Y6 Kodlu yıkamaya ait GC-MS bileşenleri

	Bileşiğin Adı	Normal sıcaklık			80°C sıcaklık		
		Süre	Alan	Alan %	Süre	Alan	Alan %
1	Dodecanal	16.420	111393	10,01	-	-	-
2	Tetradecanal	17.698	69021	6,20	17.718	89260	7,55
3	1-Hexadecanol (CAS)	18.806	111368	10,01	-	-	-
4	Hexadecanal	18.912	132669	11,92	-	-	-
5	Tridecanal	-	-	-	18.933	80763	6,83
6	Hexadecanoic acid, methyl ester	-	-	-	21.918	225981	19,12
7	Hexadecanoic acid(CAS)	-	-	-	22.661	476699	40,33
8	n-Hexadecanoic acid	22.621	188360	16,92	-	-	-
9	1-Pentadecanol (CAS)	23.196	118001	10,60	-	-	-
10	9-Octadecenoic acid (Z), methyl ester	26.119	320743	28,81	-	-	-
11	11-Octadecenoic acid, methyl ester	-	-	-	26.172	251398	21,26
	TOPLAM		1051555	%94,47		1124101	%94,52

Ultrason banyosunda kimyasal kullanılması ile yıkanan tüylere kurutulduktan sonra ozonla kuru yıkama yapılmıştır. Bu yapılan işlemin kromatografik analiz sonucu elde edilen bileşikler Tablo 3.7’ de verilmiştir.

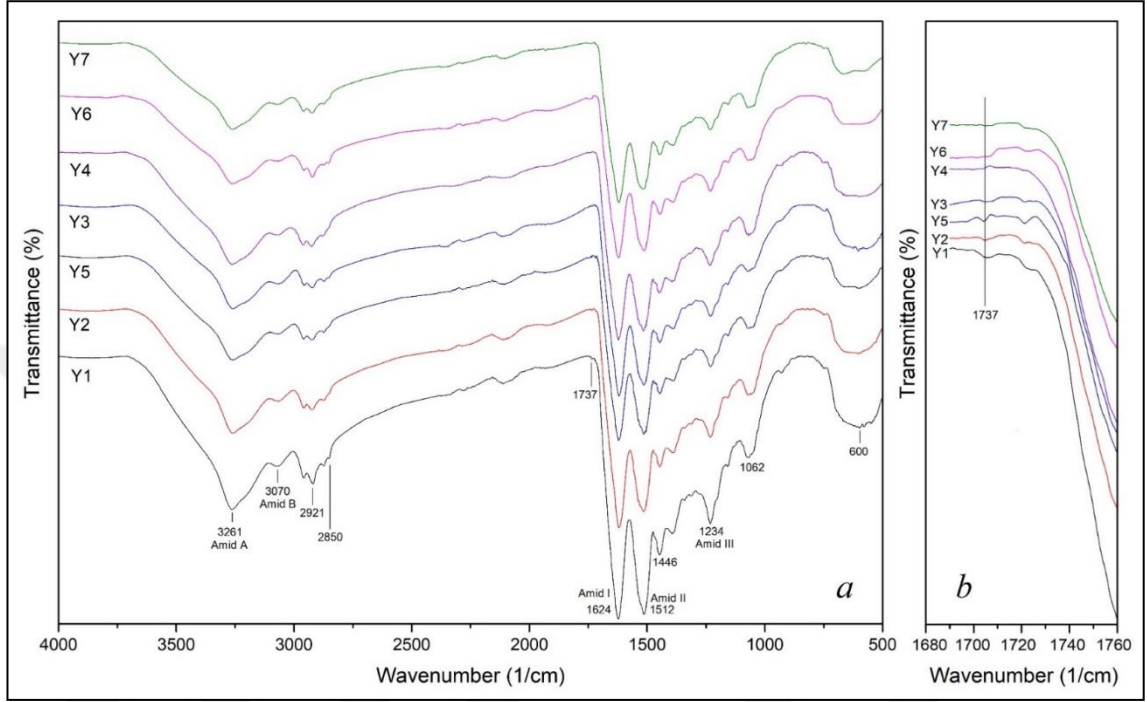
Tablo 3.7. Y7 Kodlu yıkamaya ait GC-MS bileşenleri

	Bileşiğin Adı	Normal sıcaklık			80°C sıcaklık		
		Süre	Alan	Alan%	Süre	Alan	Alan %
1	2-Heptenal, (E)-(CAS)	-	-	-	14.658	243371	8,29
2	Dodecanal	16.420	107104	7,17	-	-	-
3	Tetradecanal	17.702	58940	3,94	17.710	138456	4,72
4	Octadecanal	18.912	123751	8,28	-	-	-
5	Hexadecanal	-	-	-	18.922	146046	4,98
6	1-Hexadecanol	19.814	96235	6,44	-	-	-
7	Decanal	21.791	79736	5,34	-	-	-
8	Pentadecanoic acid, 14-methyl, methyl ester	21.893	157714	10,55	-	-	-
9	Hexadecanoic acid, methyl ester	-	-	-	21.910	799712	27,23
10	n-Hexadecanoic acid	22.617	216399	14,48	22.651	627949	21,40
11	1-Octadecanol (CAS)	-	-	-	23.956	215651	7,35
12	9-Octadecenoic acid (Z), methyl ester	26.128	572751	38,32	-	-	-
13	11- Octadecenoic acid, methyl ester	-	-	-	26.167	601651	20,50
	TOPLAM		1412630	%94,47		2772836	%94,52

3.1.2. Yıkanmış Tüylerin FTIR Analizi

Farklı programlar üzere yıkama sonucunda tüylerin kimyasal yapısının değişip değişmediğini görmek için tüm yıkama yöntemlerinden sonra alınmış tüy numuneleri

üzerinde FTIR analizi yapılmıştır. Elde edilmiş IR spektrum eğrileri Şekil 3.1'de verilmektedir.



Şekil 3.1. Farklı yöntemlerle yıkanmış tüylerin FTIR spektrumları

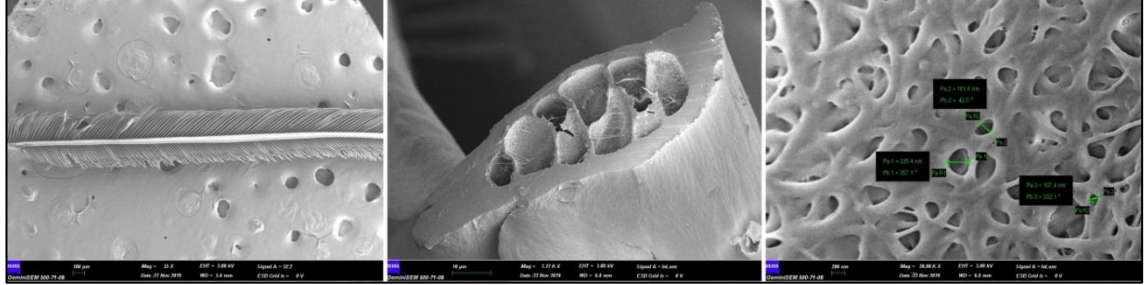
3.1.3. Farklı Yöntemlerle Yıkanmış Tüylerin SEM Analizi

Çalışmada belirlenen hedeflerden biri tavuk tüylerinin önemli özellikleri arasında yer alan mikro gözenekli içyapısının yıkma sürecinde korunması olmuştur. Farklı varyantlar üzere yıkanan tüylere ait SEM görüntüleri sırasıyla lifin yüzeyi, lifin orta kısmında en kesiti ve gözeneklerin yapısı olacak şekilde alınmıştır. Saf su ile yıkanmış (Y1 kod) tüylere ait SEM görüntüleri Şekil 3.2' de verilmiştir.



Şekil 3.2. Y1 Kodlu yıkamaya ait SEM görüntüsü

Sadece kimyasallarla yıkanmış (Y2 kod) tüylere ait SEM görüntüleri Şekil 3.3' te verilmiştir.



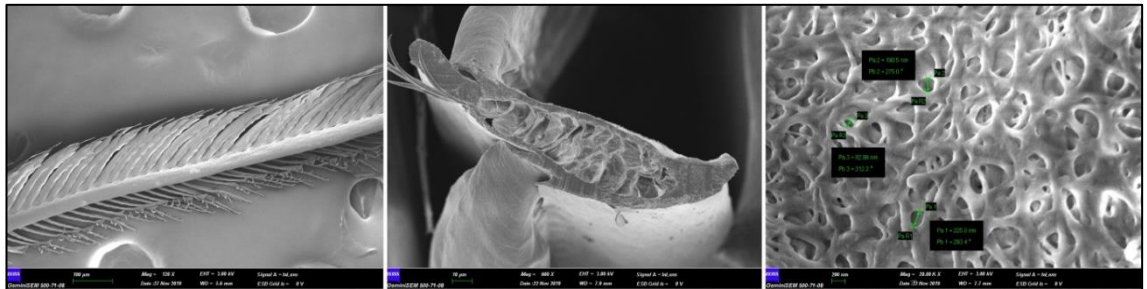
Şekil 3.3. Y2 Kodlu yıkamaya ait SEM görüntüsü

Kimyasalla yıkama sonrası ozonlamaya maruz kalmış (Y3 kodlu yıkama) olan tüylere ait SEM görüntüleri Şekil 3.4' te verilmiştir.



Şekil 3.4. Y3 Kodlu yıkamaya ait SEM görüntüsü

Kimyasalla yıkamadan sonra NaOH ile işlem gören tüylere (Y4 kod yıkama) ait SEM görüntüleri Şekil 3.5' te yer almıştır.



Şekil 3.5. Y4 Kodlu yıkamaya ait SEM görüntüsü

Saf su ile yıkama sonrası etanol ile işlem gören (Y5 kodlu yıkama) tüylere ait SEM görüntüleri Şekil 3.6' dan izlenebilir.



Şekil 3.6. Y5 Kodlu yıkamaya ait SEM görüntüsü

Ultrason banyosunda kimyasallarla yıkanmış tüylere (Y6 kodlu yıkama) ait SEM görüntüleri Şekil 3.7’ de verilmiştir.



Şekil 3.7. Y6 Kodlu yıkamaya ait SEM görüntüsü

Ultrason banyosunda kimyasallarla yıkama sonrasında ozonla kuru yıkama yapılmış tüylere (Y7 kodlu yıkama) ait SEM görüntüleri Şekil 3.8’ de yer almıştır.



Şekil 3.8. Y7 Kodlu yıkamaya ait SEM görüntüsü

3.1.4. Yıkanmış Tüylerin Mekanik Analizi

Yapılan yıkama işlemlerinin tüy liflerinin mekanik özelliklerine etkisinin ne yönde olduğunu anlamak adına numunelere çekme testi yapılmıştır ve deney sonuçları Tablo 3.8’ de verilmiştir.

Tablo 3.8. Yıkılmış tüylerin çekme sonuçları

Yıkama Kodu	Kopma Mukavemeti 10^{-3} N	Max. Gerilme 10^3 Pa	Kopma Uzasması 10^{-3} m	Elastikiyet (N/mm ²)
Y1	0,42756	151,22	0,6229	4335,54
	0,44314	156,729	0,80133	3177,71
	0,59509	210,471	0,95027	3373,93
	0,29405	103,999	0,55517	4384,17
	0,21474	75,9472	0,59233	2942,3
Y2	0,35715	126,316	0,69863	3770,16
	0,50036	176,967	0,91171	3267,08
	0,3686	130,364	0,5771	4164,79
	0,41469	146,666	0,71473	4223,77
	0,36335	128,509	0,99606	2176,84
Y3	0,26449	93,5427	0,47463	3030,63
	0,24621	87,0779	0,49579	3577,13
	0,21855	77,2964	0,647	1509,54
	0,23143	81,8499	0,66852	1539,55
	0,24939	88,2022	0,57779	2221,62
Y4	0,36081	127,609	0,96842	2639,08
	0,36065	127,553	0,56756	5904,91
	0,39005	137,953	0,4981	5124,78
	0,45745	161,788	0,48006	6481,8
	0,31503	111,419	0,53329	4727,86
Y5	0,60368	213,507	0,55146	9192,94
	0,69316	245,156	0,48652	8934,39
	0,50433	178,372	0,45144	8523,03
	0,59843	211,652	0,95283	4813,64
	0,3678	130,083	0,42988	7230,34
Y6	0,71017	251,171	0,65917	8666,19
	0,98817	349,492	0,667	12697,1
	0,58524	206,986	0,94019	6468,75
	0,83081	293,839	0,8341	7098,86
	0,51022	180,452	0,72135	6373,53
Y7	0,21378	75,6099	0,47796	1980,2
	0,29167	103,156	0,67638	1876,54
	0,41389	146,385	0,54617	3624,16
	0,42518	150,377	0,56546	4546,06
	0,43933	155,38	0,79946	2892,42

3.2. TT Materyallerinden Üretilen Biyokompozit Yapılara Ait Bulgular

Tavuk tüyünün lif ve sap kısımlarına ayrıştırılması sonrası elde edilen materyallerden biyolojik olarak bozulabilen gözenekli yapılar üretilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik, akustik, yapısal, higroskopik ve termal analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. TT Liflerinden Biyokompozit Numunelerinin Üretimi

Tavuk tüylerinden elde edilmiş lif materyalinden kompozit yapılar üretilmiştir. Tüy liflerinden biyolojik olarak bozulabilir kompozitlerin üretimi 2.3.4 bölümünde tasarlanmış olan deney planı üzere gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.9'da üretilmiş numunelerin resmi verilmiştir.

3.2.2. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Yoğunluk Analizi

Tavuk tüyü liflerinden üretilmiş biyokompozit numunelerin yoğunluk analizi gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.9'da numunelerin yoğunluğunun hesaplanması sonuçları verilmiştir.

Numune yoğunluğu 10 cm çapında yuvarlak silindir şeklinde kesilmiş örneklerden hesaplanmış ve Tablo 3.9'a aktarılmıştır.

Bu amaçla aşağıdaki formül kullanılmıştır:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{P}{\pi r^2 h} = \frac{0,102P}{78,5h}$$

Burada ρ - yoğunluk veya hacimsel yoğunluk [g/cm^3], m – kütle [g], P – numunenin ağırlığı [g], V – hacim [cm^3], h – numunenin yüksekliğidir [cm].



Şekil 3.9. Tavuk tüyü liflerinden üretilmiş biyokompozit yapılar

Tablo 3.9. Üretilmiş kompozit yapıların yoğunluklarının hesaplanması

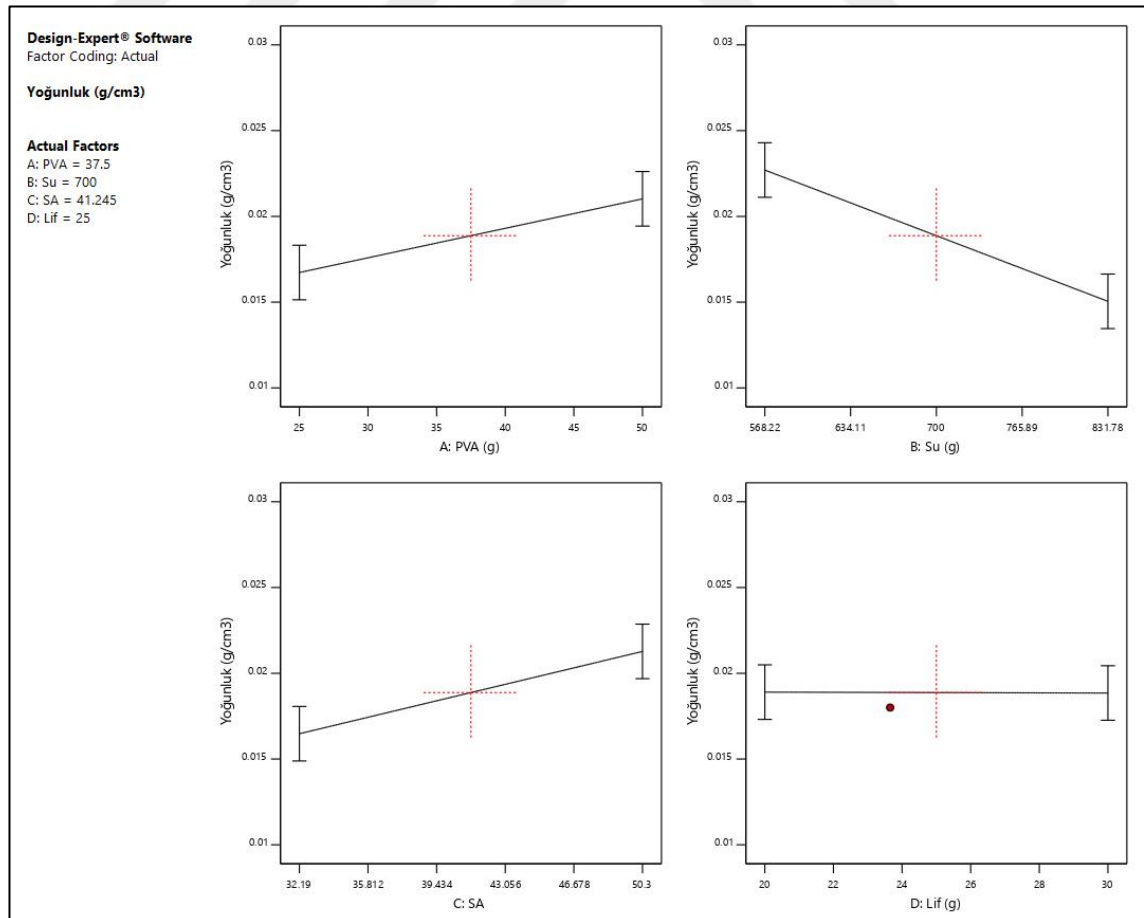
Deney kodu	Numune ağırlığı (g)	Numune kalınlığı (cm ³)	Numune yoğunluğu (g/cm ³)
L1	18,74	0,86	0,028
L2	20,05	1,02	0,026
L3	22,02	1,13	0,025
L4	20,65	1,41	0,019
L5	19,94	1,46	0,018
L6	16,18	1,70	0,012
L7	15,43	1,15	0,017
L8	24,60	1,18	0,027
L9	22,94	1,59	0,019
L10	15,74	1,33	0,015
L11	20,27	1,90	0,014
L12	22,80	1,83	0,016
L13	19,57	1,69	0,015
L14	16,70	1,73	0,013
L15	21,10	1,36	0,020
L16	24,27	1,79	0,018
L0	27,15	1,77	0,020

Hesaplanmış numune yoğunlukları Design-Exper programına aktarılmıştır. Design-Exper’de gerçekleştirilmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 3.10 ve Şekil 3.10’da verilmiştir. Şekil 3.11’de ise deney parametrelerine göre tepki yüzeyinin üç boyutlu resmi verilmiştir.

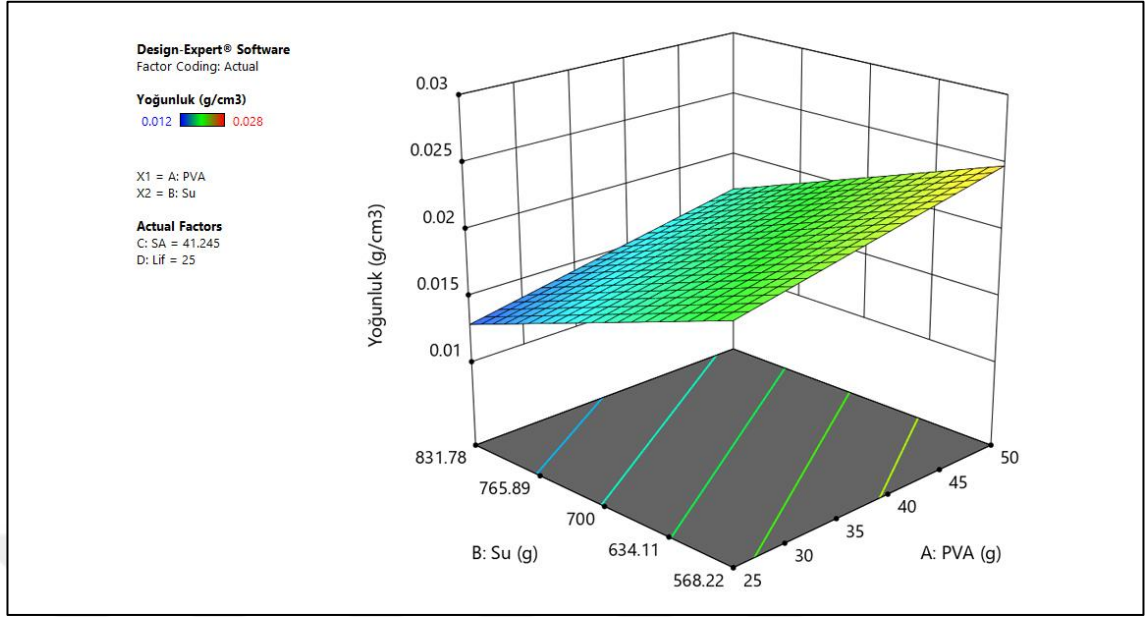
Tablo 3.10. Numunelerin yoğunluk göstergeleri varyans analizi

Fit Summary						ANOVA for Linear model						
Response 1: Yoğunluk						Response 1: Yoğunluk						
Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²		Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Linear	0.0005		0.7454	0.5845	Suggested		0.0003	4	0.0001	11.98	0.0005	significant
2FI	0.1462		0.8685	0.6466		A-PVA	0.0001	1	0.0001	8.83	0.0127	
Quadratic	0.1283		0.9952			B-Su	0.0002	1	0.0002	28.06	0.0003	
Cubic					Aliased	C-SA	0.0001	1	0.0001	11.03	0.0068	
						D-Lif	8.920E-09	1	8.920E-09	0.0014	0.9713	
						Residual	0.0001	11	6.581E-06			
						Cor Total	0.0004	15				

Fit Statistics			
Std. Dev.	0.0026	R ²	0.8133
Mean	0.0189	Adjusted R ²	0.7454
C.V. %	13.59	Predicted R ²	0.5845
		Adeq Precision	11.6786

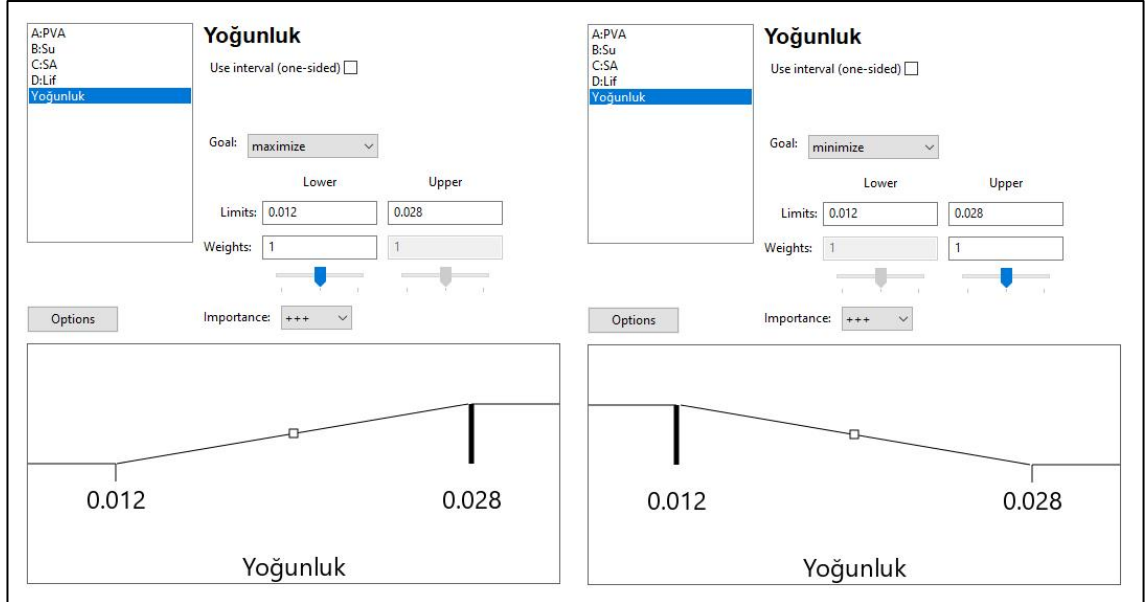


Şekil 3.10. Numune parametrelerinin numune yoğunluğuna etkileri



Şekil 3.11. Numune yoğunluğunun tepki yüzeyi

Optimizasyon meselesine bakılmış ve en yüksek yoğunluğa sahip numunenin L1, en düşük yoğunluğa sahip numunenin ise L6 olduğu görülmüştür (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Numunelerin yoğunluk optimizasyonu

3.2.3. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Yapısal Analiz Testleri

Üretilen numunelerde tavuk tüyü liflerinin matris malzemesi içerisinde nasıl dağıldığını görebilmek adına SEM analizi gerçekleştirilmiştir. Numuneler deney planında (Tablo 2.6) almış olduğu numaralar üzere önüne L harfi eklemek suretiyle kodlanmıştır.

Deney planı (Tablo 2.6) üretilmiş numunelerden alınan SEM görüntüleri Şekil 3.13-3.28'de verilmiştir.



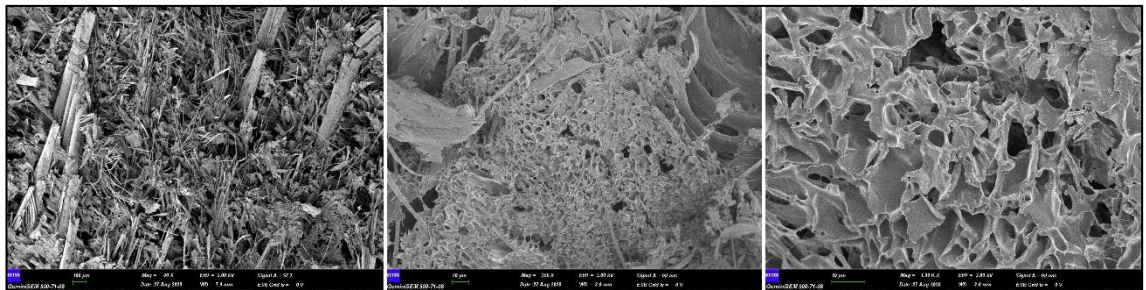
Şekil 3.13. L1 kodlu numune kesitlerinden alınan SEM görüntüsü

L2 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.14'te verilmiştir.



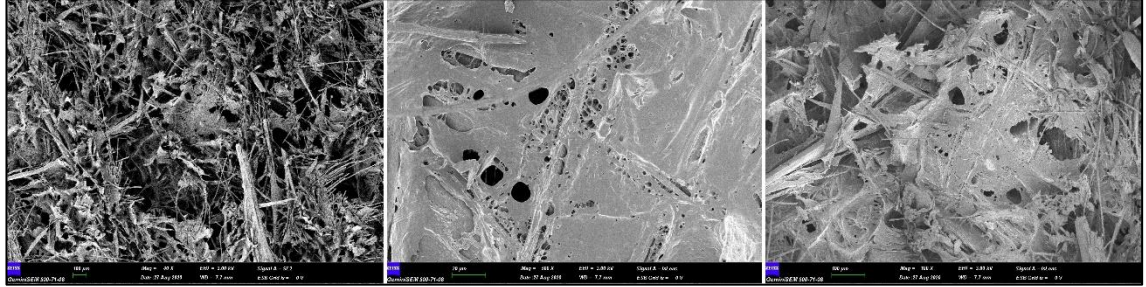
Şekil 3.14. L2 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü

L3 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.15'de verilmiştir.



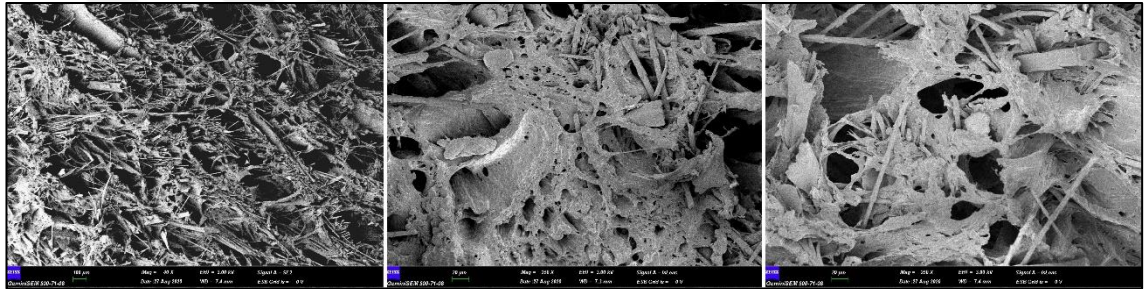
Şekil 3.15. L3 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü

L4 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.16’da verilmiştir.



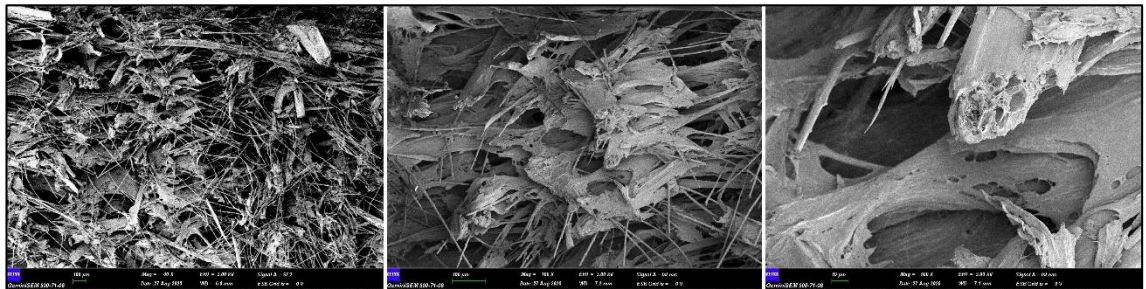
Şekil 3.16. L4 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü

L5 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.17’de verilmiştir.



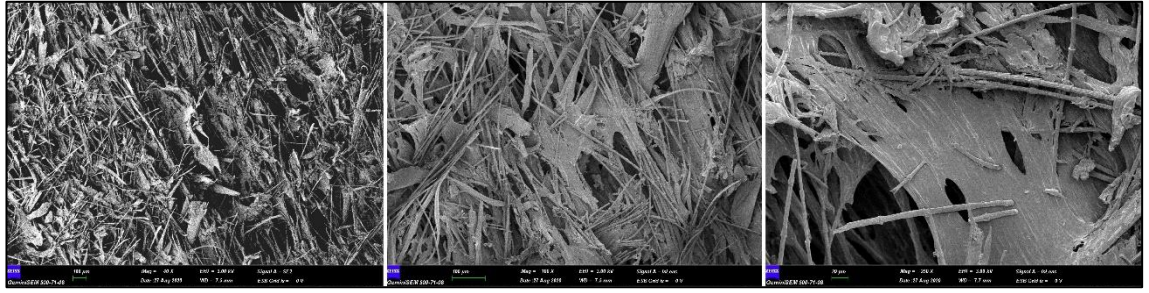
Şekil 3.17. L5 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü

L6 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.18’de verilmiştir.



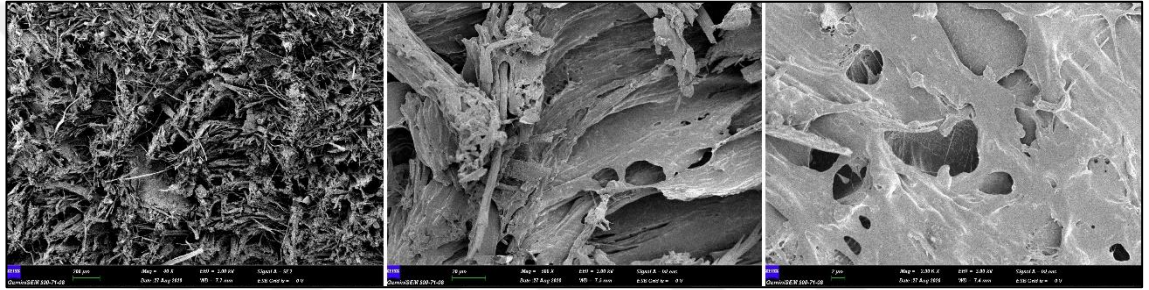
Şekil 3.18. L6 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü

L7 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.19’da verilmiştir.



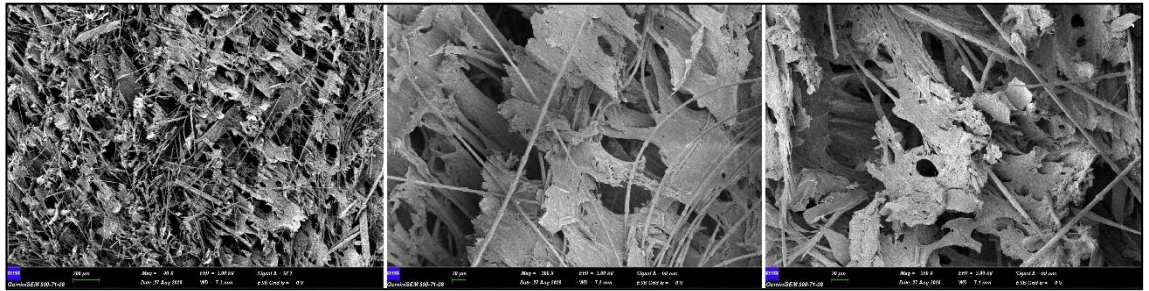
Şekil 3.19. L7 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü

L8 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.20’de verilmiştir.



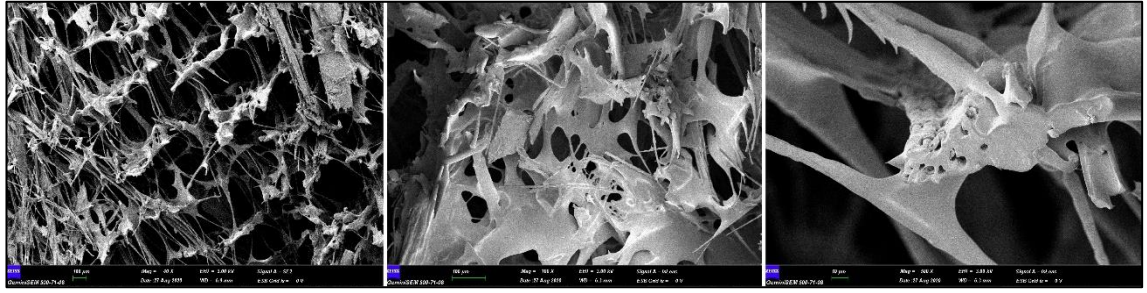
Şekil 3.20. L8 kodlu numunenin kesitinden alınan SEM görüntüsü

L9 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.21’de verilmiştir.



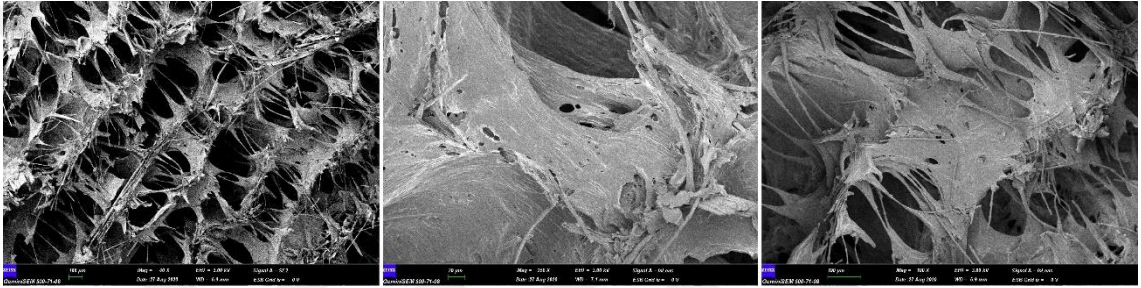
Şekil 3.21. L9 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü

L10 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.22’de verilmiştir.



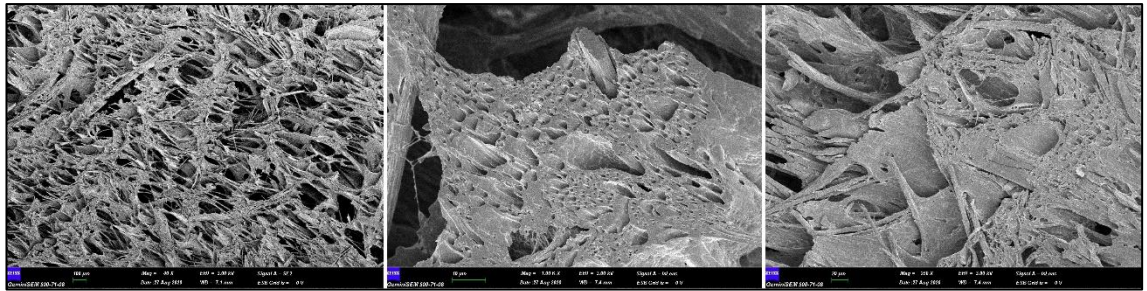
Şekil 3.22. L10 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü

L11 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.23’de verilmiştir.



Şekil 3.23. L11 kodlu numunenin kesitinden alınan SEM görüntüsü

L12 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.24’te verilmiştir.



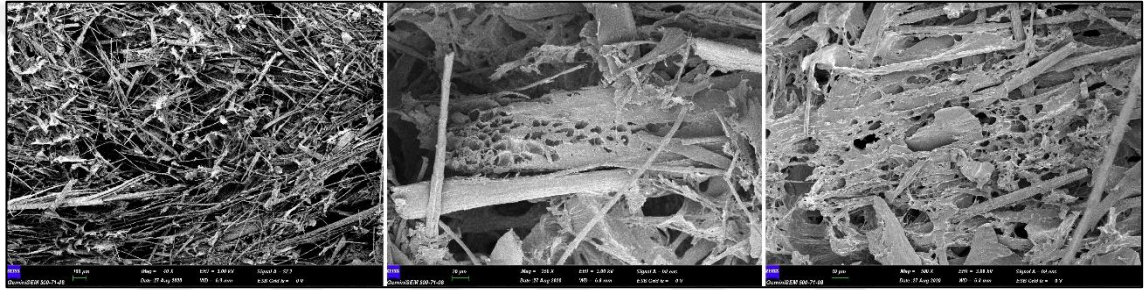
Şekil 3.24. L12 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü

L13 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.25’de verilmiştir.



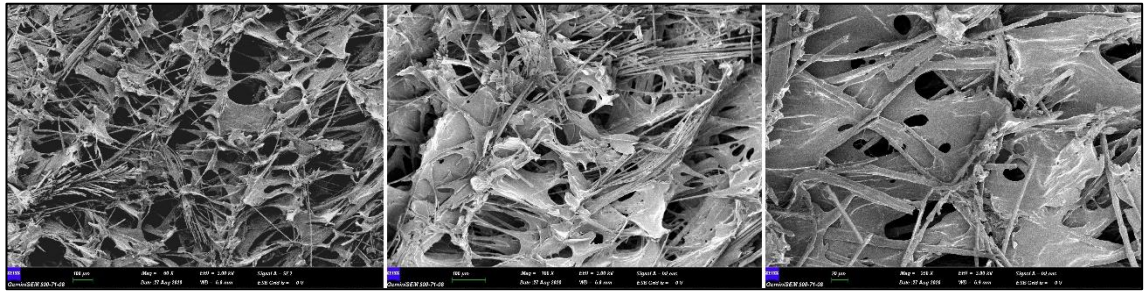
Şekil 3.25. L13 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü

L14 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.26’da verilmiştir.



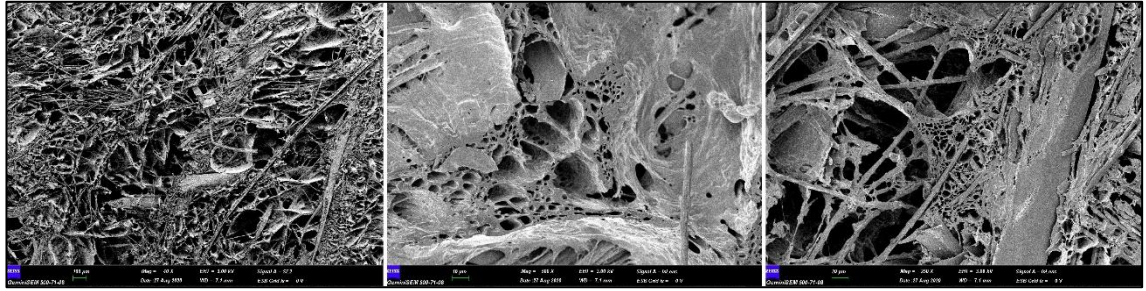
Şekil 3.26. L14 kodlu numunenin kesitinden alınan SEM görüntüsü

L15 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.27’de verilmiştir.



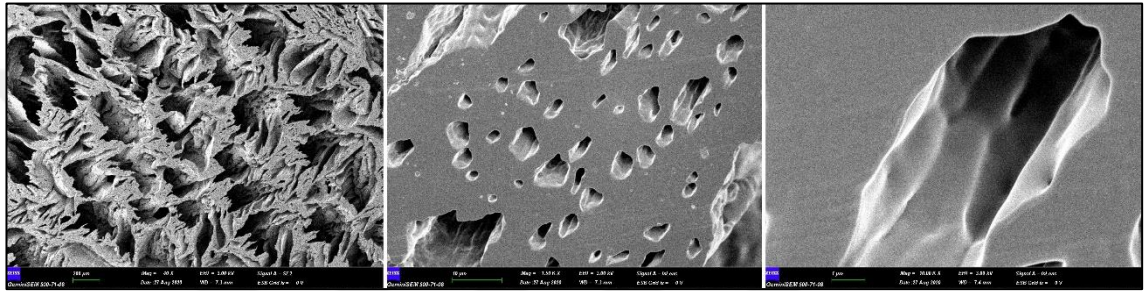
Şekil 3.27. L15 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü

L16 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.28’de verilmiştir.



Şekil 3.28. L16 kodlu numune kesitinden alınarak elde edilen SEM görüntüsü

L0 şartlarında üretilmiş numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 3.29’da verilmiştir.



Şekil 3.29. L0 kodlu numune kesitinden alınan SEM görüntüsü

3.2.4. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Mekanik Analizi

Tavuk tüyü liflerinden üretilmiş biyokompozit numunelerin mekanik özelliklerine bakılmıştır. Tablo 3.11’de mekanik özellik sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.11. Üretilmiş numunelerin çekme testi sonuçları

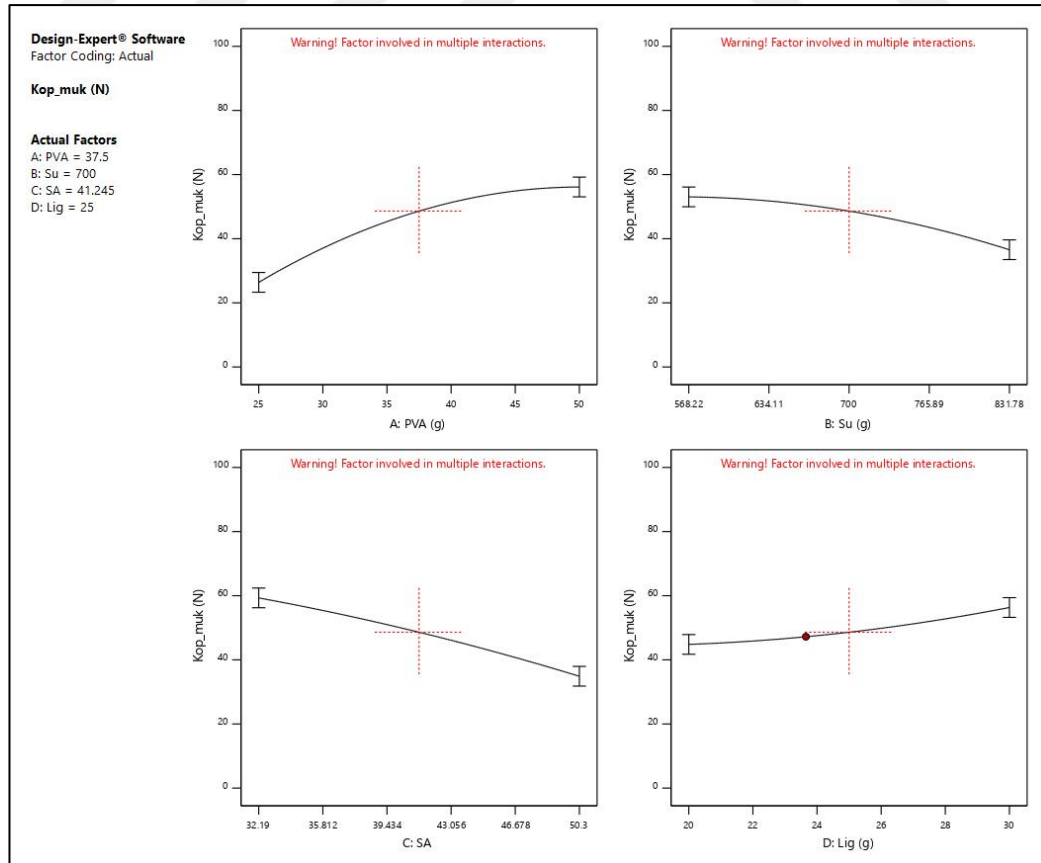
Deney kodu	Kopma mukavemeti(N)	Kopma uzaması (%)	Kopma gerilmesi (N/mm ²)	Elastikiyet modülü(N/mm ²)
L1	64,44	13,08	0,46	2,97
L2	47,21	18,24	0,32	1,90
L3	39,16	13,01	0,34	4,30
L4	94,21	11,43	0,80	14,93
L5	12,25	21,16	0,07	0,50
L6	59,26	14,62	0,32	2,60
L7	22,16	18,15	0,16	1,43
L8	41,95	24,38	0,35	1,91
L9	18,92	20,52	0,11	1,00
L10	33,1	22,85	0,18	1,42
L11	44,74	22,52	0,28	2,94
L12	10,85	28,57	0,08	0,36
L13	26,08	24,42	0,14	0,72
L14	45,83	33,91	0,53	4,33
L15	19,75	26,63	0,19	1,11
L16	62,72	14,23	0,37	2,55
L0	12,44	328,38	0,073	0,07

Sonuçlar Design-Expert-11 programına aktarılmış ve istatistiksel analize tabi tutulmuştur. Tablo 3.12’de numunelerin kopma mukavemeti için varyans analizi sonuçları, Şekil 3.30 ve 3.31’de ise numune parametrelerine göre kopma mukavemetinin tepki yüzeyi ve kesitleri verilmiştir.

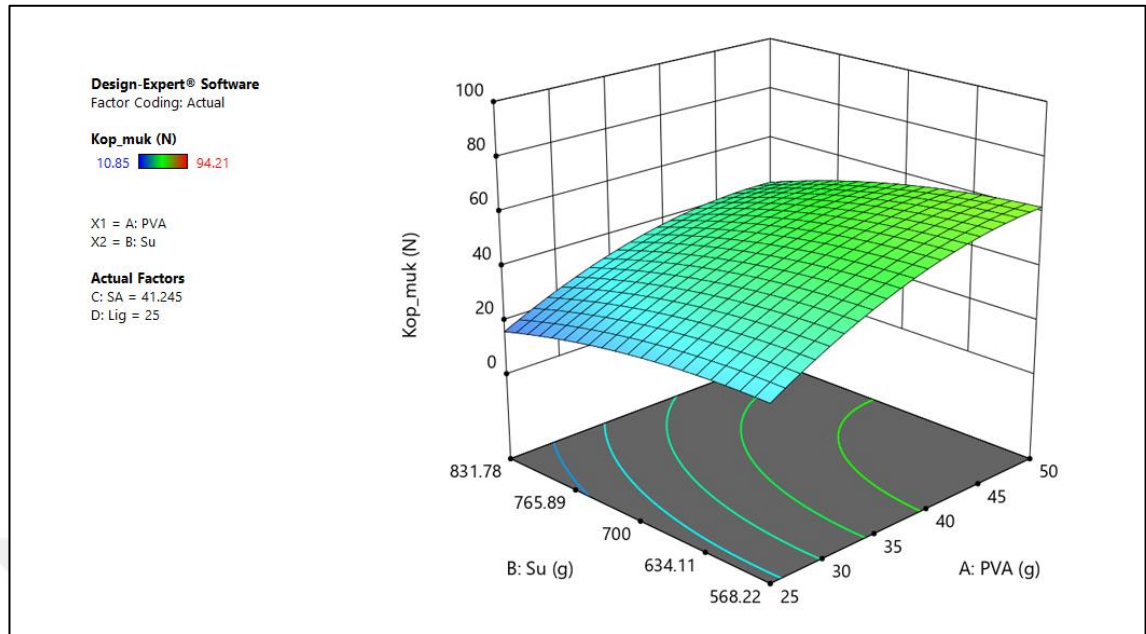
Tablo 3.12. Kopma mukavemeti ANOVA tablosu

Fit Summary Response 1: Kop_muk						ANOVA for Quadratic model Response 1: Kop_muk						
Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²		Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Linear	0.0011		0.7068	0.5363	Suggested	Model	7568.82	14	540.63	732.45	0.0290	significant
2FI	0.3206		0.7756	0.2072		A-PVA	2787.65	1	2787.65	3776.73	0.0104	
Quadratic	0.0541		0.9985		Suggested	B-Su	856.71	1	856.71	1160.68	0.0187	
Cubic					Aliased	C-SA	1880.35	1	1880.35	2547.51	0.0126	
						D-Lig	417.15	1	417.15	565.16	0.0268	
						AB	23.29	1	23.29	31.55	0.1122	
						AC	579.53	1	579.53	785.15	0.0227	
						AD	99.66	1	99.66	135.03	0.0547	
						BC	309.63	1	309.63	419.49	0.0311	
						BD	21.90	1	21.90	29.67	0.1156	
						CD	27.42	1	27.42	37.15	0.1035	
						A ²	330.08	1	330.08	447.19	0.0301	
						B ²	88.65	1	88.65	120.10	0.0579	
						C ²	14.07	1	14.07	19.07	0.1433	
						D ²	19.45	1	19.45	26.35	0.1225	
						Residual	0.7381	1	0.7381			
						Cor Total	7569.56	15				

Fit Statistics			
Std. Dev.	0.8591	R ²	0.9999
Mean	40.16	Adjusted R ²	0.9985
C.V. %	2.14	Predicted R ²	NA ⁽¹⁾
		Adeq Precision	99.8448



Şekil 3.30. Numune üretim parametrelerinin numune mukavemetine etkileri

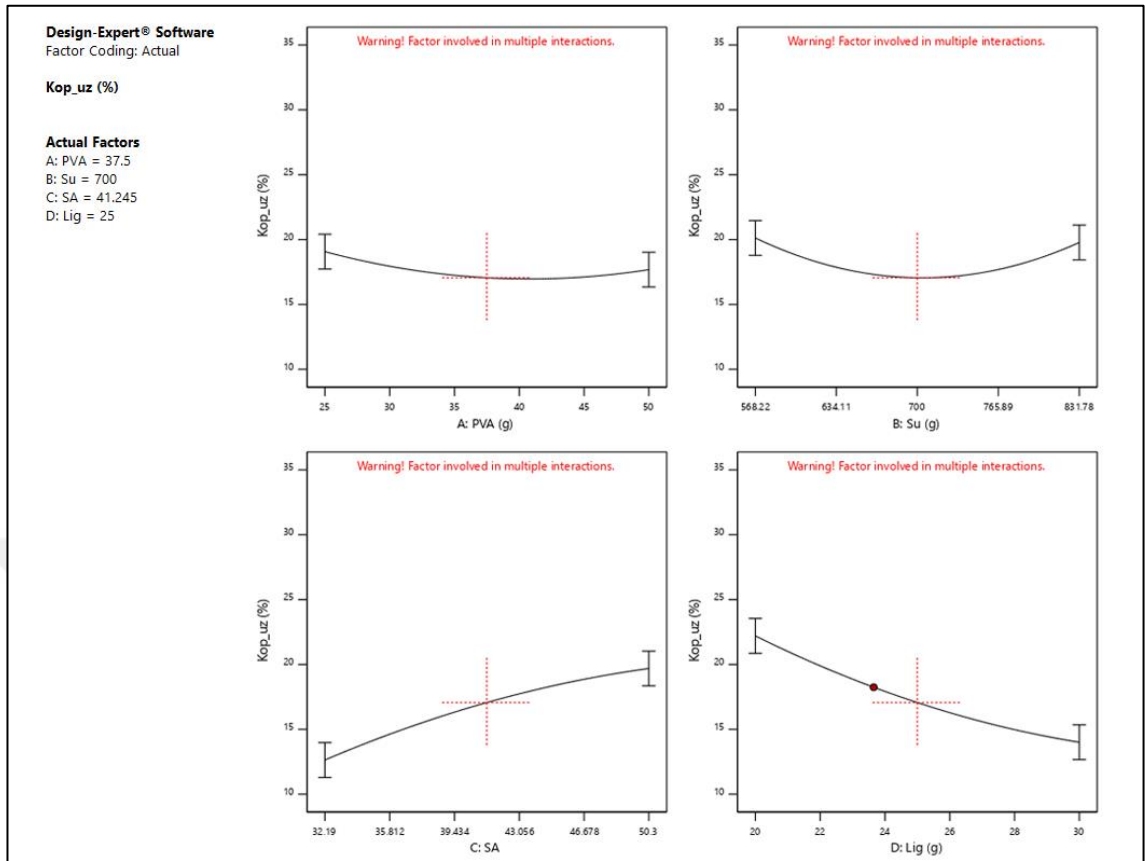


Şekil 3.31. Kopma mukavemetinin tepki yüzeyi

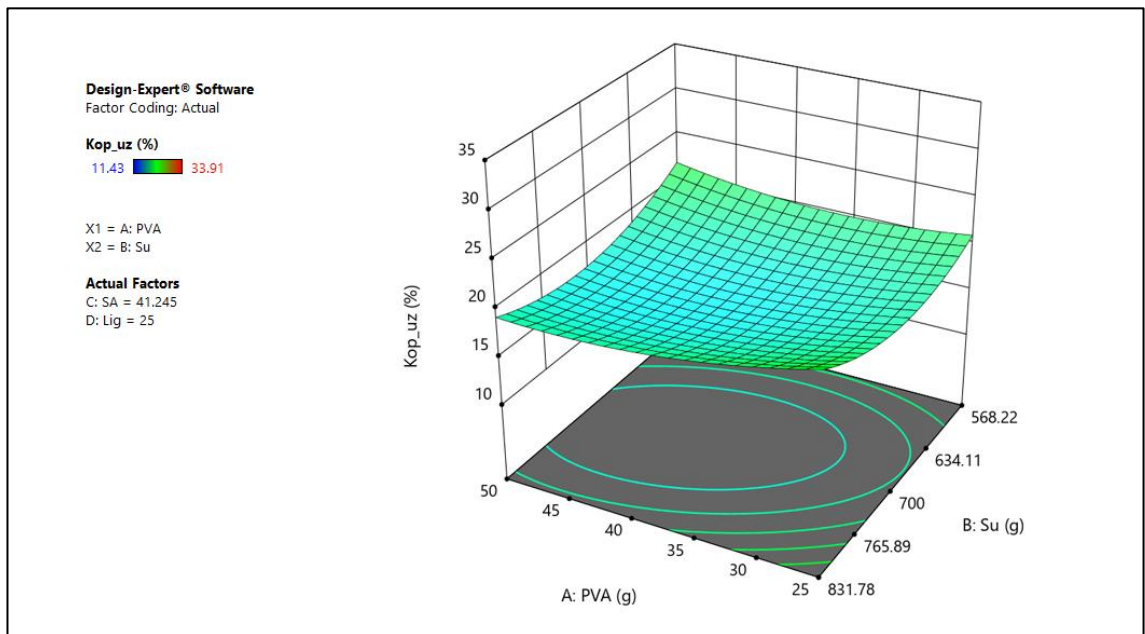
Tablo 3.13’de numunelerin kopma uzaması için varyans analizi sonuçları, Şekil 3.32 ve 3.33’de ise numune parametrelerine göre kopma mukavemetinin tepki yüzeyi ve kesitleri verilmiştir.

Tablo 3.13. Kopma uzaması ANOVA tablosu

Fit Summary Response 2: Kop_uz						ANOVA for Quadratic model Response 2: Kop_uz						
Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²		Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Linear	0.0202		0.4883	0.1810	Suggested	Model	600.78	14	42.91	305.54	0.0448	significant
2FI	0.4063		0.5536	-0.1188		A-PVA	6.06	1	6.06	43.16	0.0962	
Quadratic	0.0594		0.9965		Suggested	B-Su	0.3917	1	0.3917	2.79	0.3435	
Cubic					Aliased	C-SA	157.07	1	157.07	1118.36	0.0190	
						D-Liq	211.91	1	211.91	1508.77	0.0164	
						AB	9.81	1	9.81	69.86	0.0758	
						AC	34.78	1	34.78	247.62	0.0404	
						AD	12.26	1	12.26	87.31	0.0679	
						BC	13.78	1	13.78	98.12	0.0641	
						BD	63.18	1	63.18	449.85	0.0300	
						CD	2.24	1	2.24	15.94	0.1562	
						A ²	10.59	1	10.59	75.41	0.0730	
						B ²	50.94	1	50.94	362.71	0.0334	
						C ²	4.98	1	4.98	35.48	0.1059	
						D ²	5.51	1	5.51	39.20	0.1008	
						Residual	0.1405	1	0.1405			
						Cor Total	600.92	15				



Şekil 3.32. Numune parametrelerinin numune kopma uzamasına etkileri



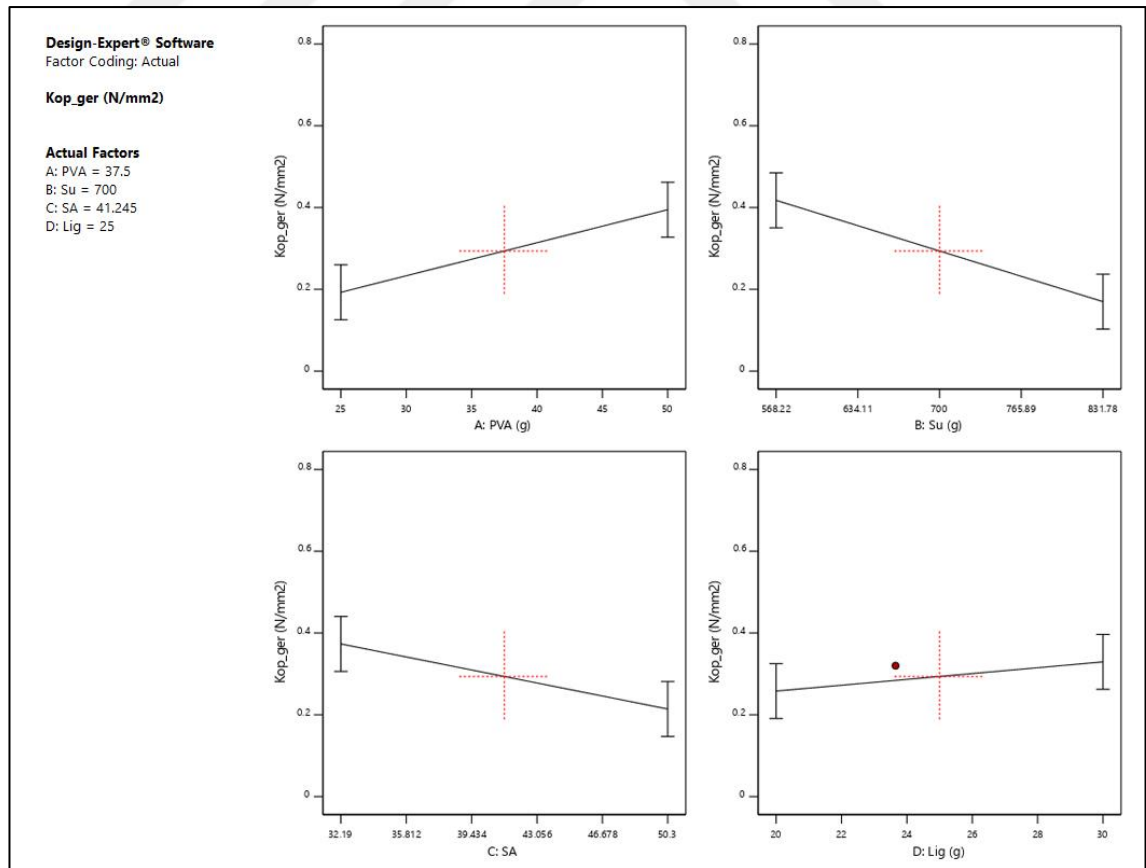
Şekil 3.33. Numune kopma uzamasının tepki yüzeyi

Tablo 3.14’de numunelerin kopma gerginliği için varyans analizi sonuçları, Şekil 3.34 ve 3.35’de ise numune parametrelerine göre kopma gerginliğinin tepki yüzeyi ve kesitleri verilmiştir.

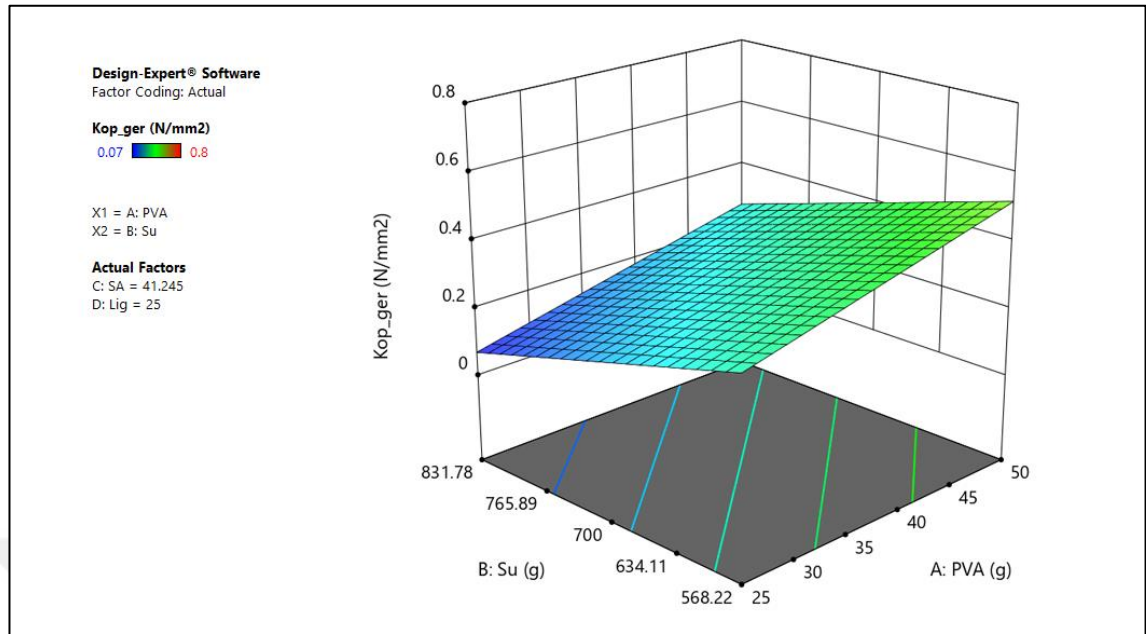
Tablo 3.14. Kopma gerginliği ANOVA tablosu

Fit Summary Response 3: Kop_ger						ANOVA for Linear model Response 3: Kop_ger					
Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²		Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Linear	0.0019		0.6782	0.4800	Suggested	Model	0.4180	4	0.1045	8.90	0.0019
2FI	0.2952		0.7642	0.1707		A-PVA	0.1287	1	0.1287	10.96	0.0069
Quadratic	0.2284		0.9722			B-Su	0.1935	1	0.1935	16.48	0.0019
Cubic					Aliased	C-SA	0.0798	1	0.0798	6.80	0.0244
						D-Lig	0.0161	1	0.0161	1.37	0.2670
						Residual	0.1291	11	0.0117		
						Cor Total	0.5472	15			

Fit Statistics			
Std. Dev.	0.1083	R ²	0.7640
Mean	0.2938	Adjusted R ²	0.6782
C.V. %	36.88	Predicted R ²	0.4800
		Adeq Precision	10.0543



Şekil 3.34. Numune parametrelerinin numune kopma gerginliğine etkileri



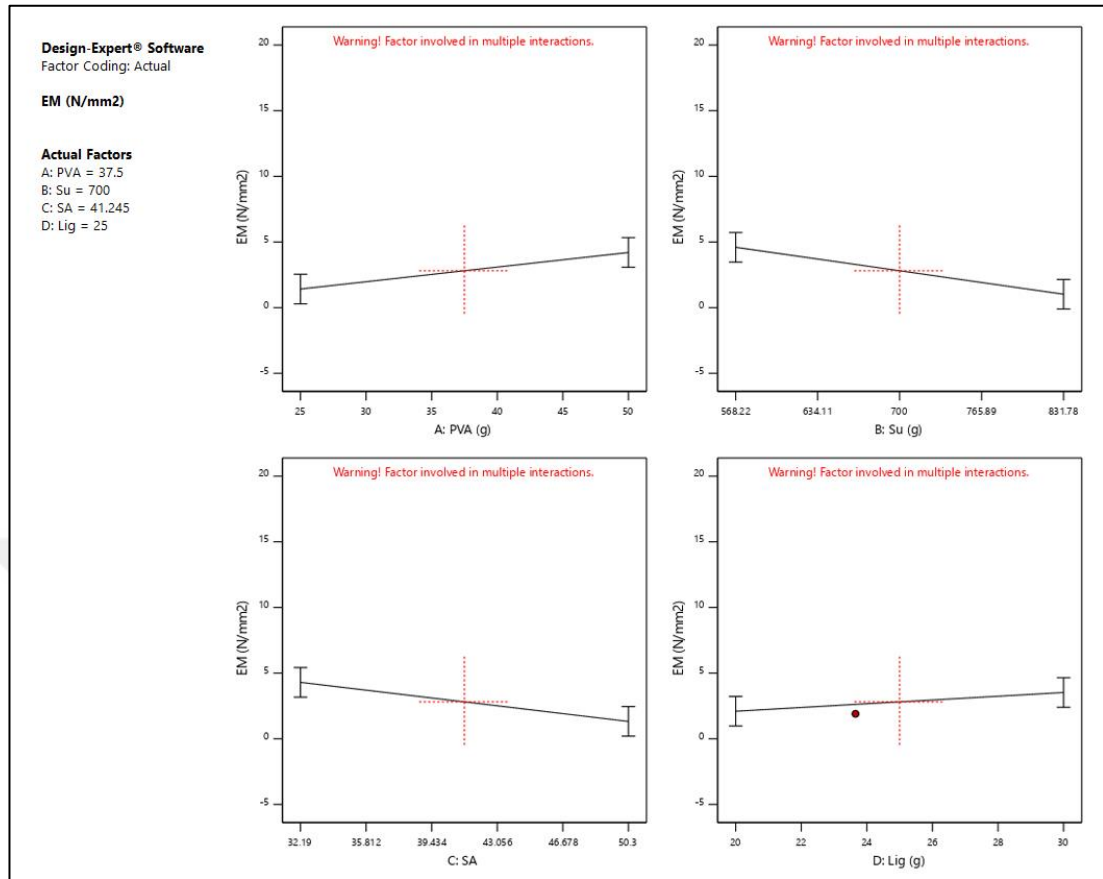
Şekil 3.35. Numune kopma uzamasının tepki yüzeyi

Tablo 3.15’de numunelerin elastikiyet modülü için varyans analizi sonuçları, Şekil 3.36 ve 3.37’de ise numune parametrelerine göre kopma mukavemetinin tepki yüzeyi ve kesitleri verilmiştir.

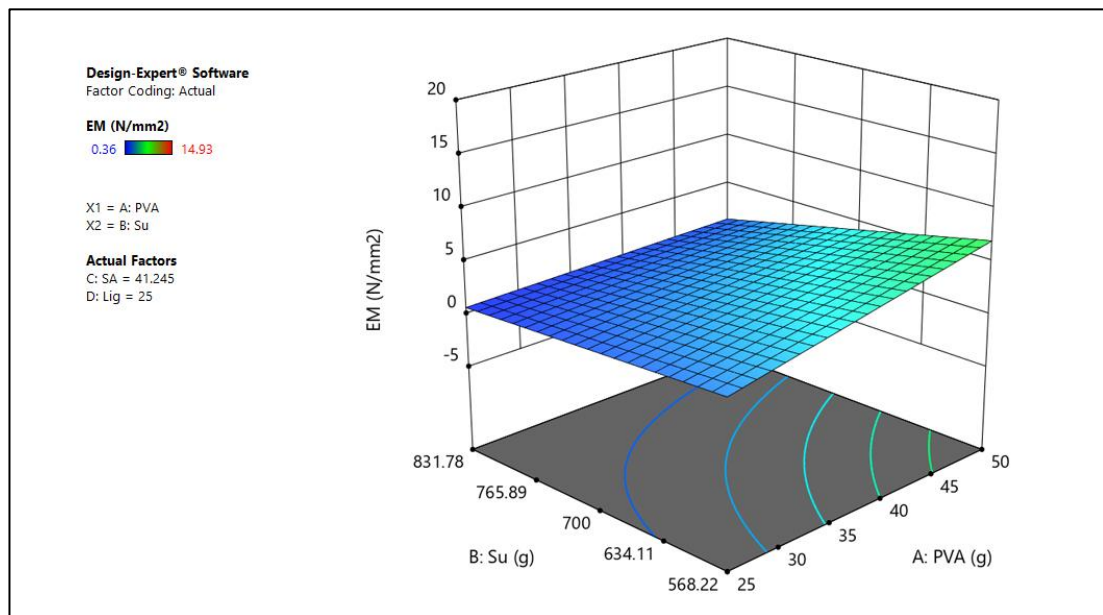
Tablo 3.15. Elastikiyet modülü ANOVA tablosu

Fit Summary						ANOVA for 2FI model						
Response 4: EM						Response 4: EM						
Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²		Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Linear	0.0480		0.3910	0.0099	Suggested	Model	166.83	10	16.68	6.89	0.0229	significant
2FI	0.0559		0.7972	-1.1798	Suggested	A-PVA	24.42	1	24.42	10.09	0.0246	
Quadratic	0.9723		0.2482			B-Su	40.26	1	40.26	16.64	0.0095	
Cubic					Aliased	C-SA	27.90	1	27.90	11.53	0.0193	
						D-Liq	6.43	1	6.43	2.66	0.1639	
						AB	9.22	1	9.22	3.81	0.1083	
						AC	17.49	1	17.49	7.23	0.0434	
						AD	2.13	1	2.13	0.8807	0.3911	
						BC	28.92	1	28.92	11.95	0.0181	
						BD	2.59	1	2.59	1.07	0.3479	
						CD	7.45	1	7.45	3.08	0.1396	
						Residual	12.10	5	2.42			
						Cor Total	178.93	15				

Fit Statistics			
Std. Dev.	1.56	R ²	0.9324
Mean	2.81	Adjusted R ²	0.7972
C.V. %	55.34	Predicted R ²	-1.1798
		Adeq Precision	11.1882



Şekil 3.36. Numune parametrelerinin numune elastikiyet modülüne etkileri



Şekil 3.37. Numune elastikiyet modülünün tepki yüzeyi

Optimizasyon meselesinin çözümü sırasında kopma mukavemeti, kopma gerginliği ve elastikiye modulünün maksimum değerlerinin L4 numunesinde, minimum değerlerinin ise L12 numunesinde ortaya çıktığı görülmüştür. Kopma uzaması en büyük değerini L14, en küçük değerini ise L4 numunesinde almıştır.

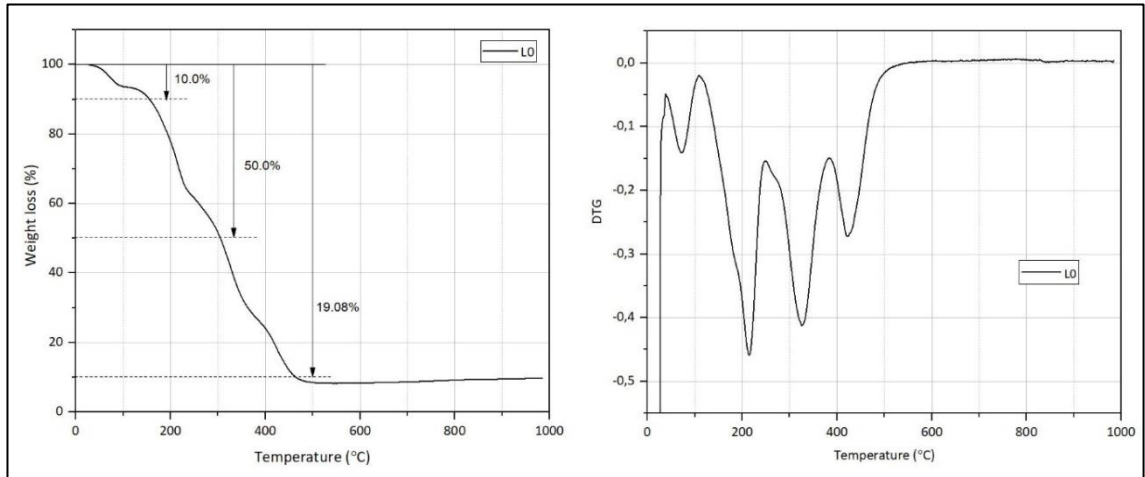
3.2.5. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Üretilmiş biyokompozit numunelerinin ısıl dayanımını incelemek amacıyla üretimi planlanan 16 kompozit ve bir de kıyaslama amaçlı lif doldurulmamış PVA ve sitrik asit karışımından üretilmiş yapı termogravimetrik analize tabi tutulmuştur. Sıcaklığın artmasıyla meydana gelen kütleli değişimi görebilmek adına numunelerden ortalama 4-6 g alınarak 1000°C sıcaklığa kadar ısıtılmak suretiyle elde edilen TG ve DTG eğrileri Şekil 3.37–Şekil 3.38’de verilmiştir. DTG eğrileri numunenin sıcaklığın artmasıyla kütleli kaybın hızını ifade etmektedir:

$$-\frac{dW}{dt} = kW^n ,$$

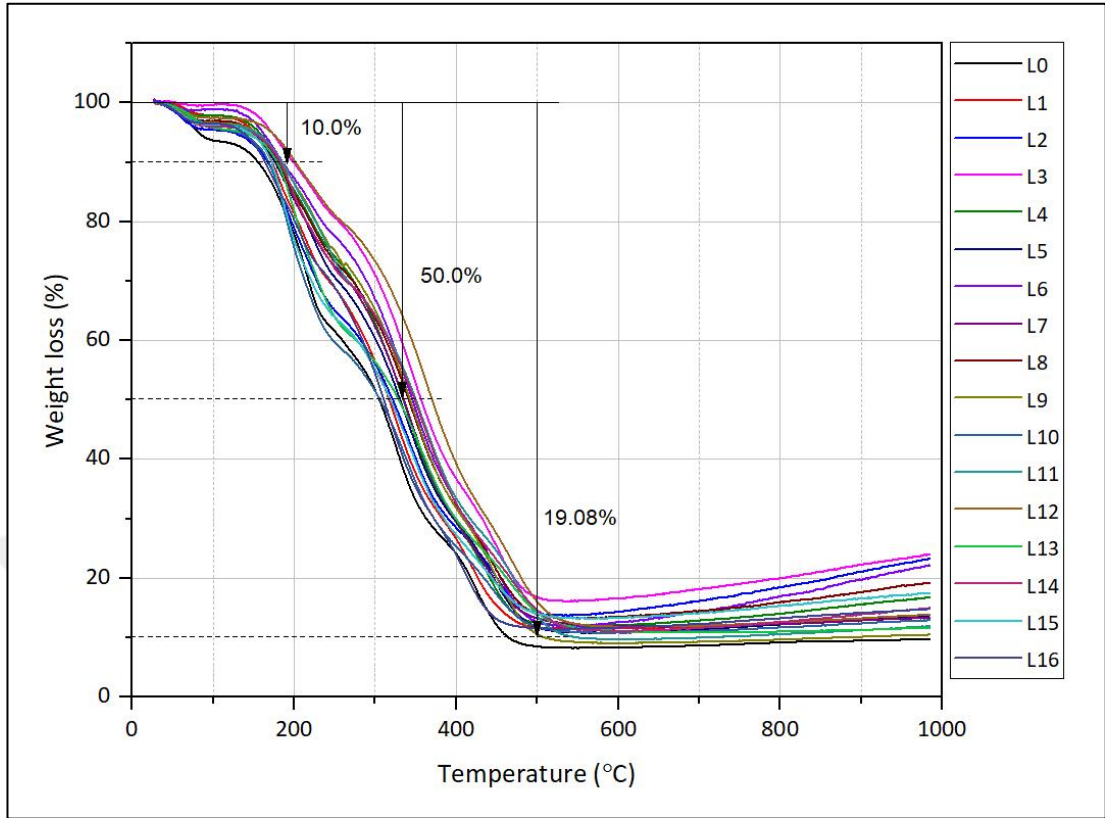
Burada W – numunenin kütlesi, k – kütle kaybetmenin hız katsayısı, n – prosesin derecesi, t – zamandır.

Şekil 3.38’de içeriğinde lif olmayan kompozit numunesinin DTG eğrileri verilmiştir.

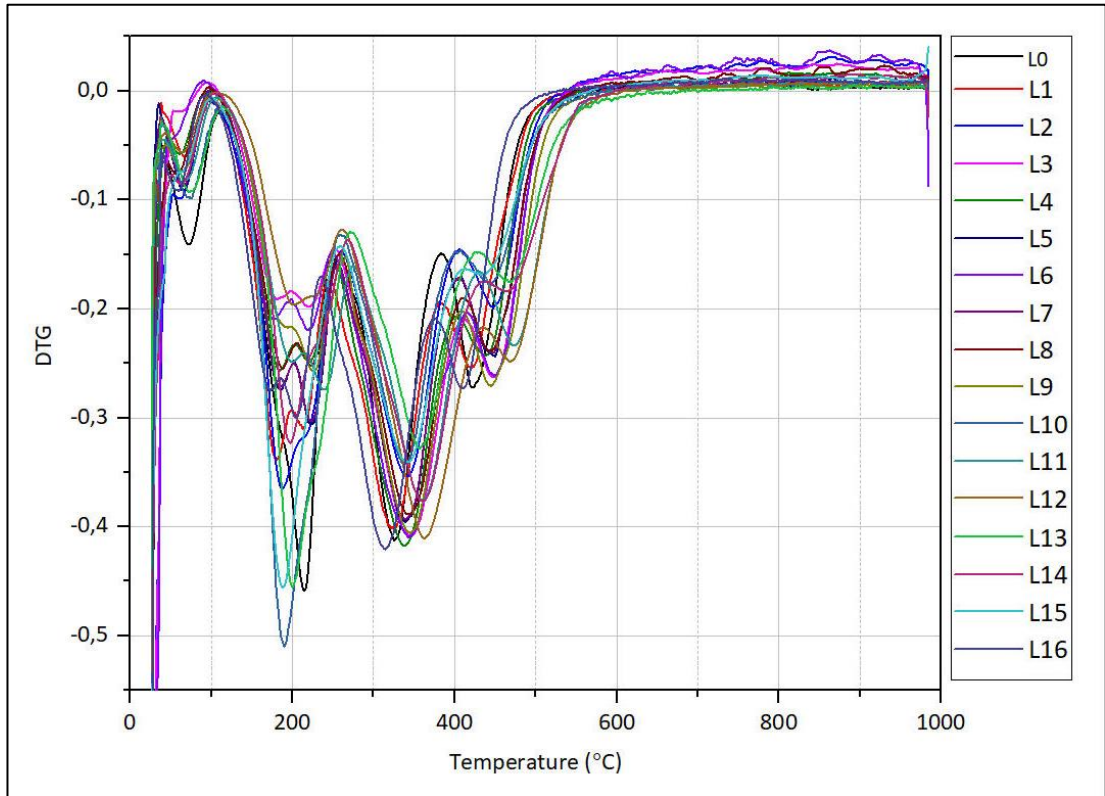


Şekil 3.38. PVA ve Sitrik asit karışımından üretilmiş yapının TG ve DTG eğrileri

Şekil 3.39 ve Şekil 3.40’da üretilmiş olan 16 kompozit numunesine ait toplu TG ve DTG eğrileri verilmiştir.



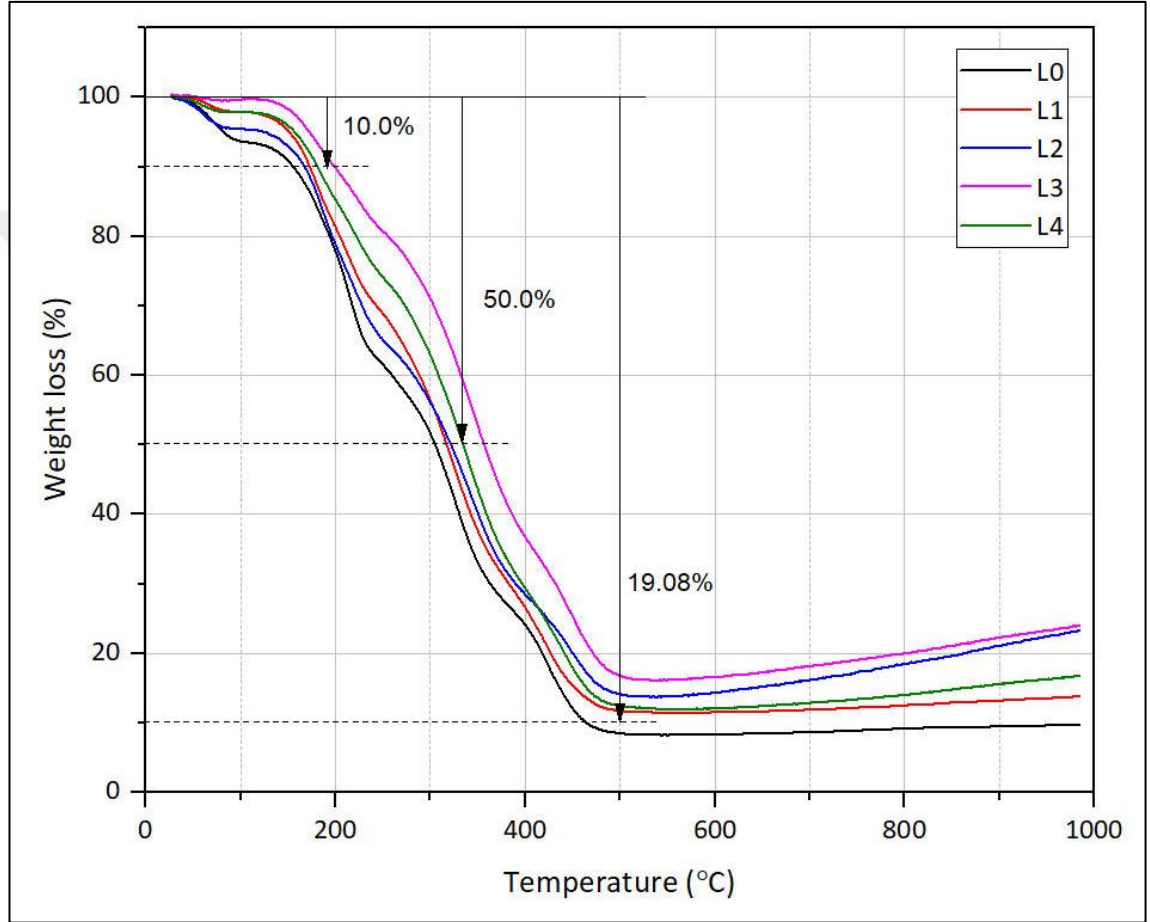
Şekil 3.39. Üretilmiş kompozit numunelerinin TG eğrileri



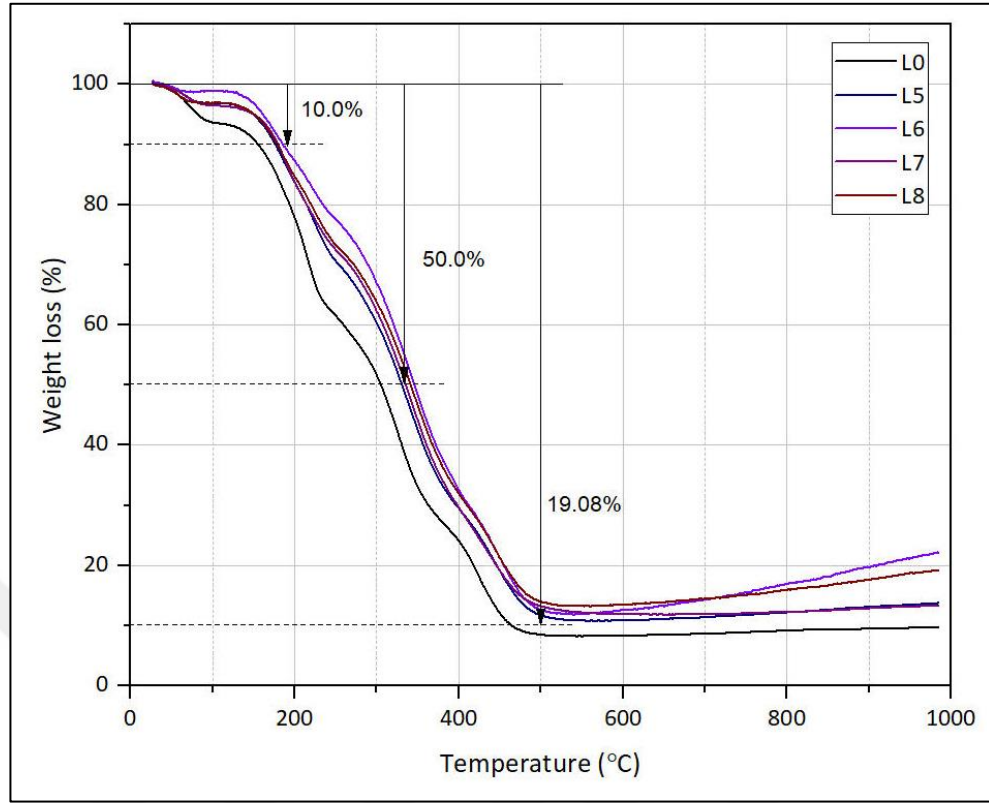
Şekil 3.40. Üretilmiş kompozit numunelerinin DTG eğrileri

Eğrileri yorumlamayı kolaylaştırmak için Şekil 3.41-3.44'te TG eğrilerini kod numarasına göre dört gruba ayırarak dörtlü grafikler oluşturulmuştur.

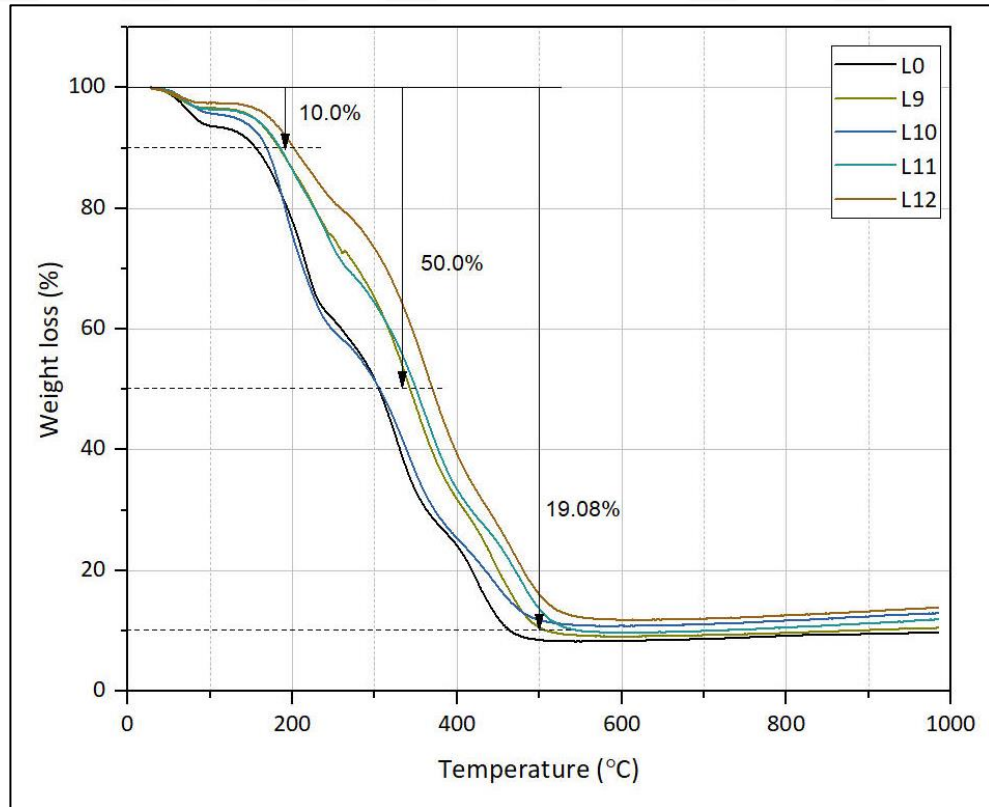
Analojik olarak Şekil 3.40'daki eğriler de gruplandırılmış ve dörtlü grafikler oluşturulmuştur. Bu grafikler Şekil 3.45-Şekil 3.48'de verilmiştir.



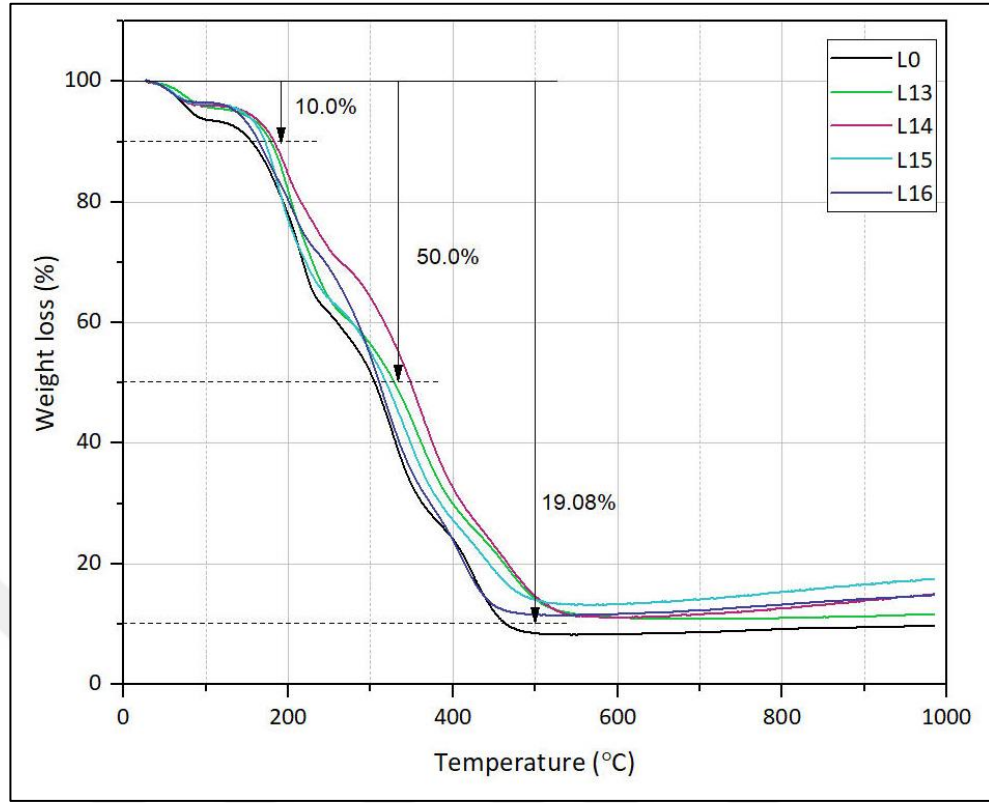
Şekil 3.41. L1-L4 kodlu kompozitlerin toplu TG eğrileri



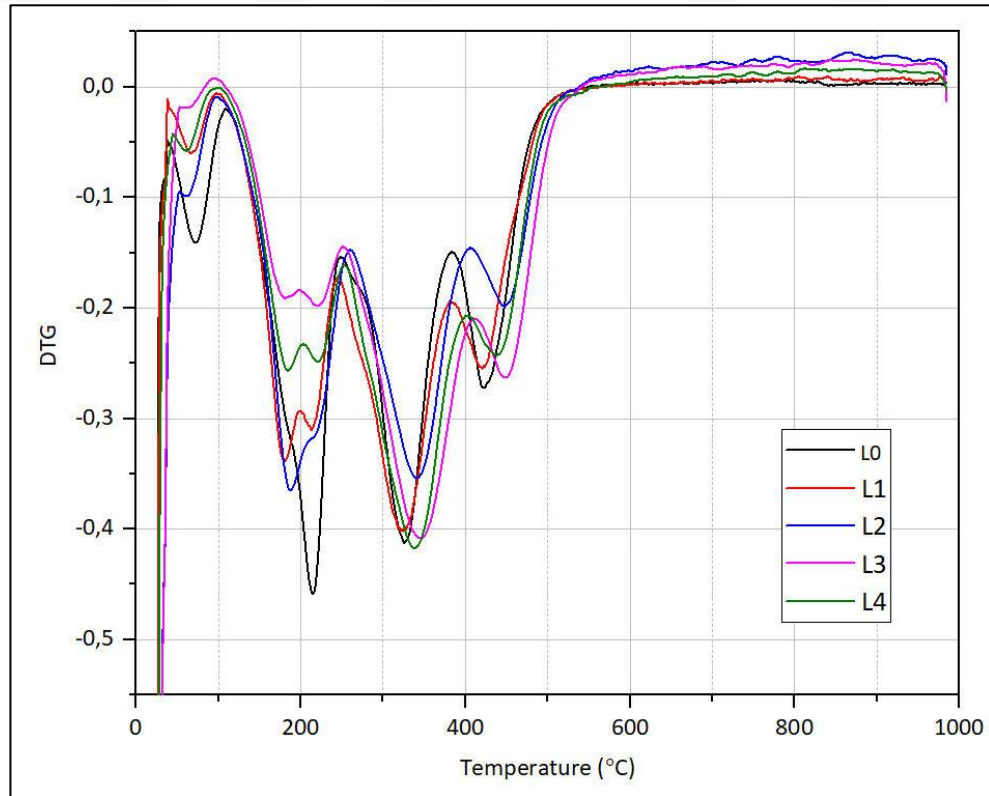
Şekil 3.42. L5-L8 kodlu kompozitlerin toplu TG eğrileri



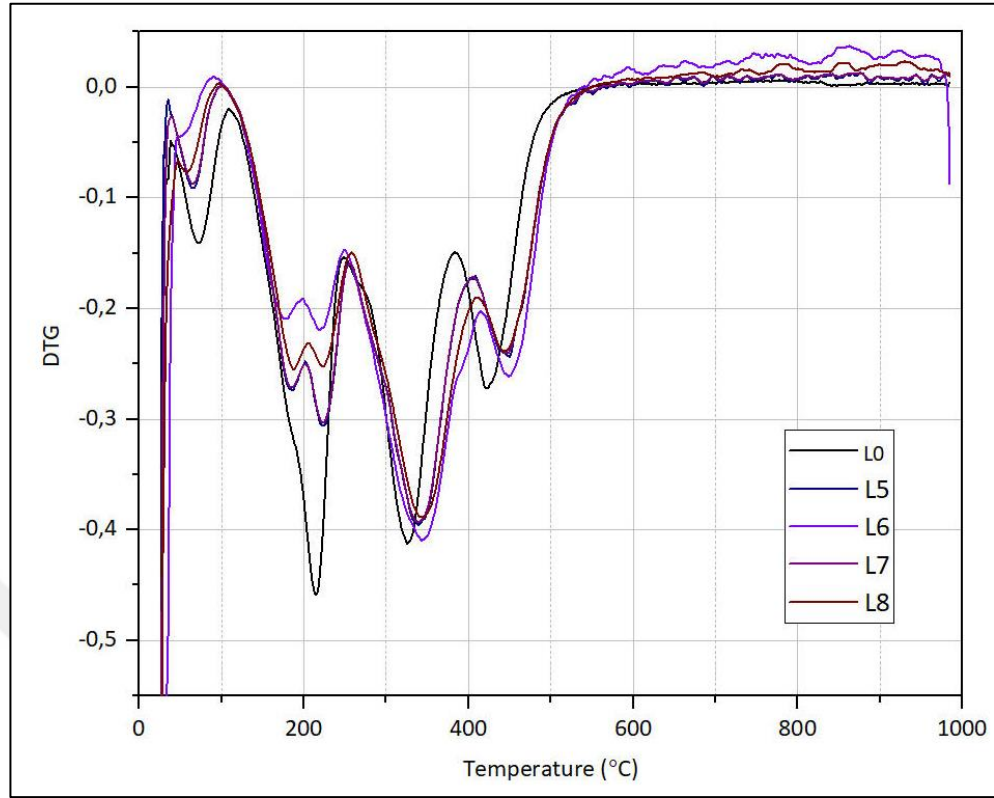
Şekil 3.43. L9-L12 kodlu kompozitlerin toplu TG eğrileri



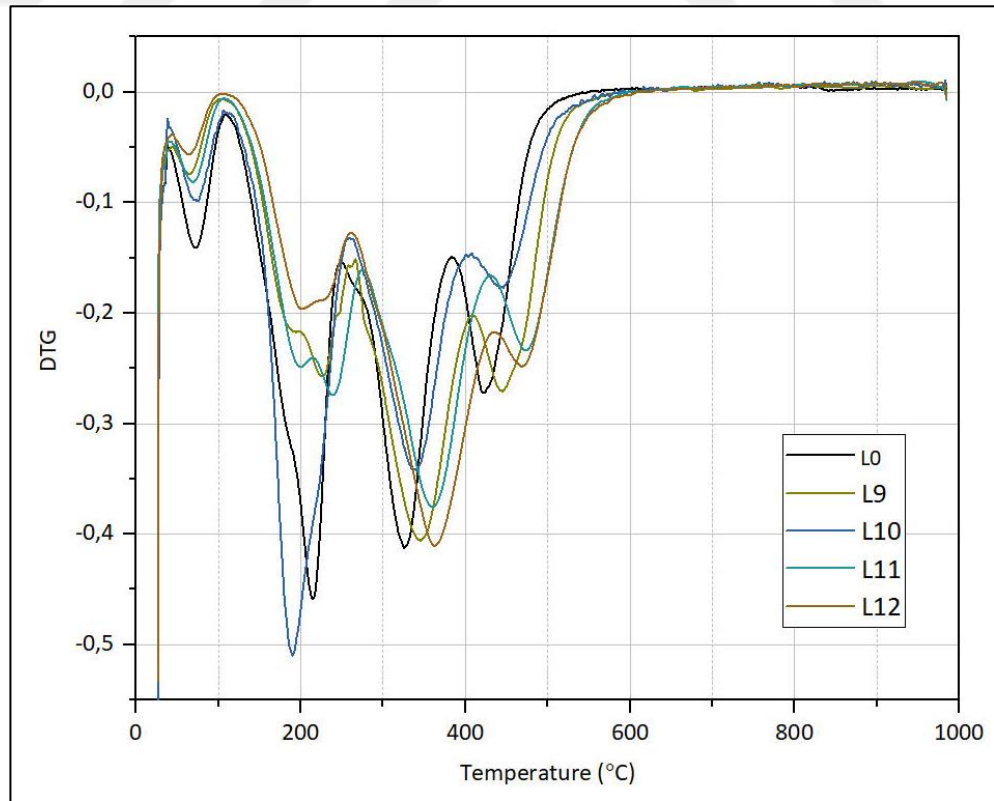
Şekil 3.44. L13-L16 kodlu kompozitlerin toplu TG eğrileri



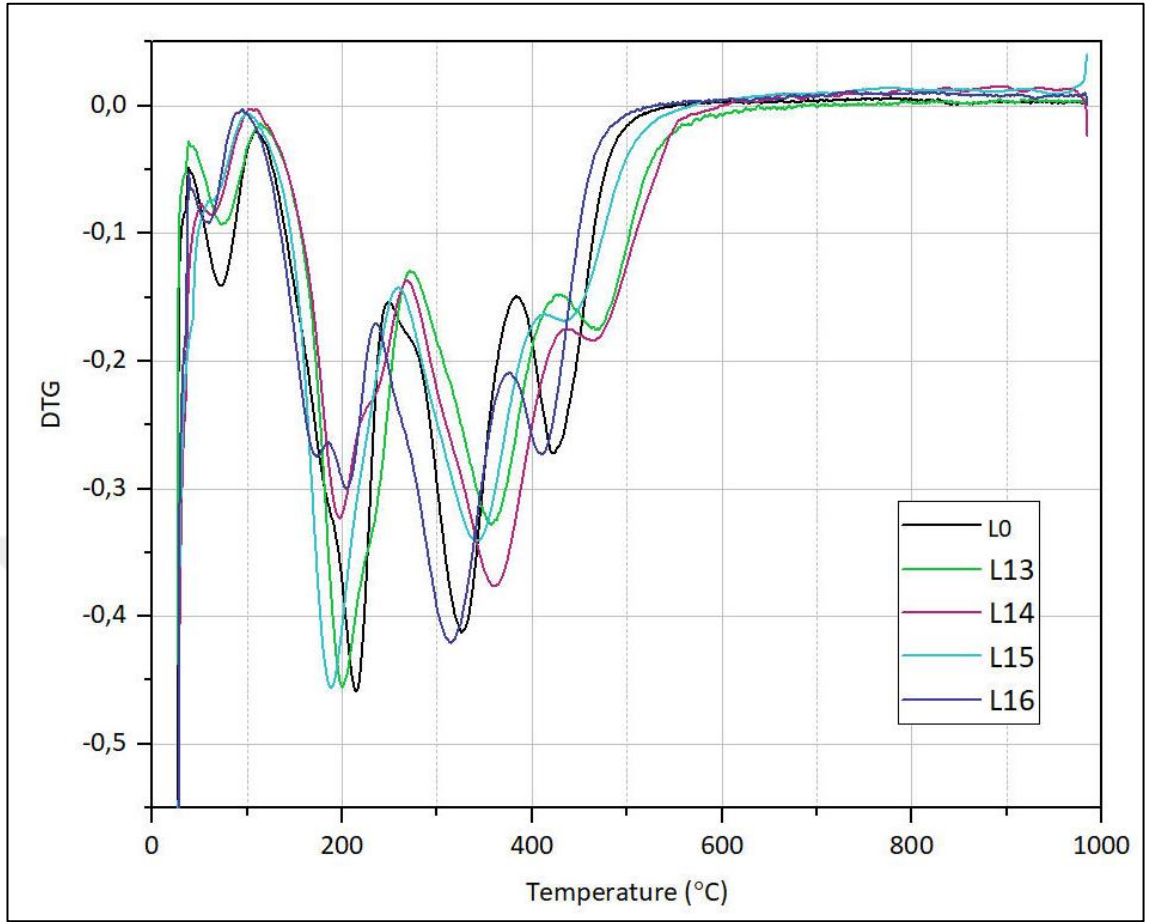
Şekil 3.45. L1-L4 kodlu kompozitlerin toplu DTG eğrileri



Şekil 3.46. L5-L8 kodlu kompozitlerin toplu DTG eğrileri



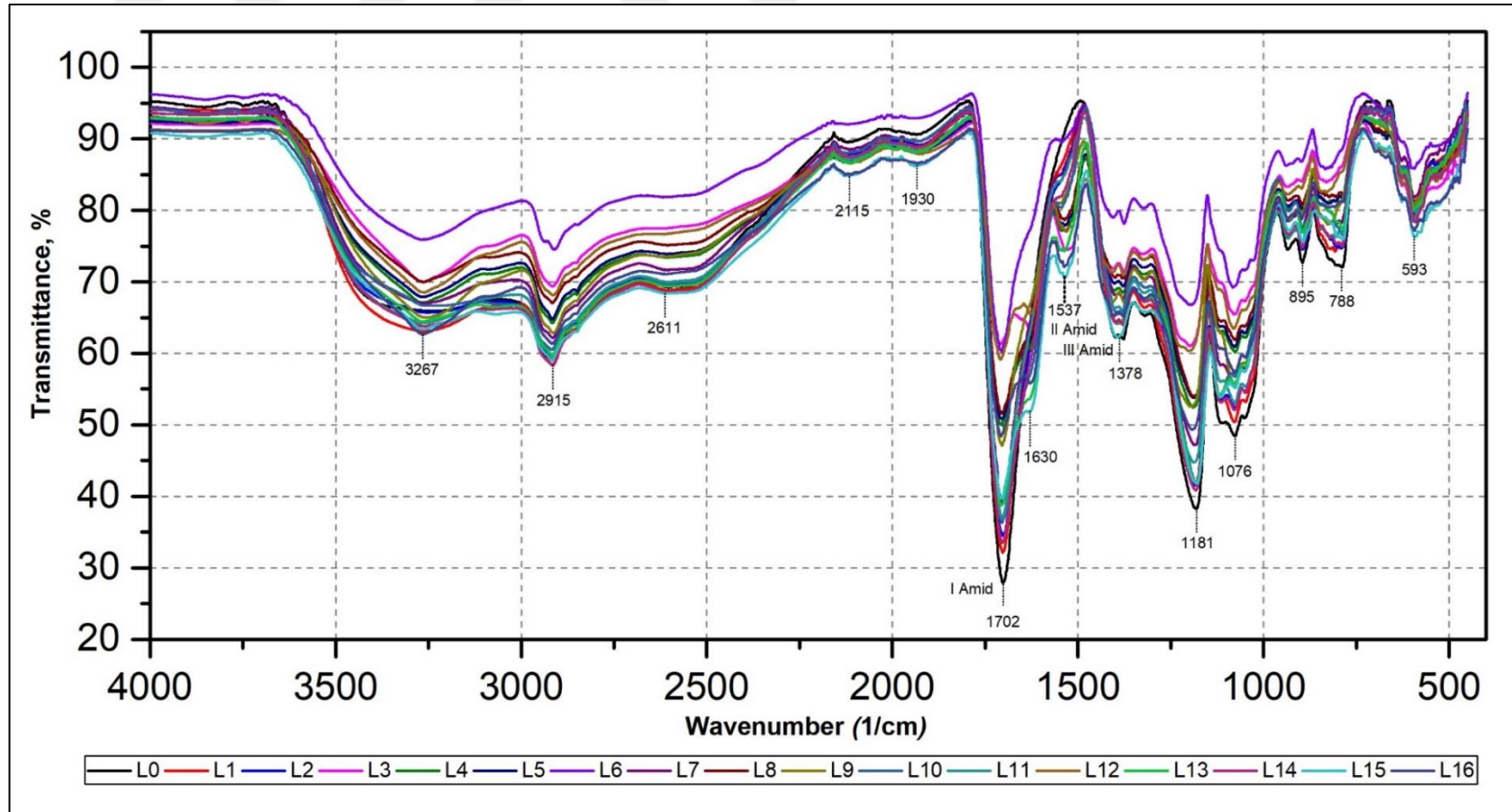
Şekil 3.47. L9-L12 kodlu kompozitlerin toplu DTG eğrileri



Şekil 3.48. L13-L16 kodlu kompozitlerin toplu DTG eğrileri

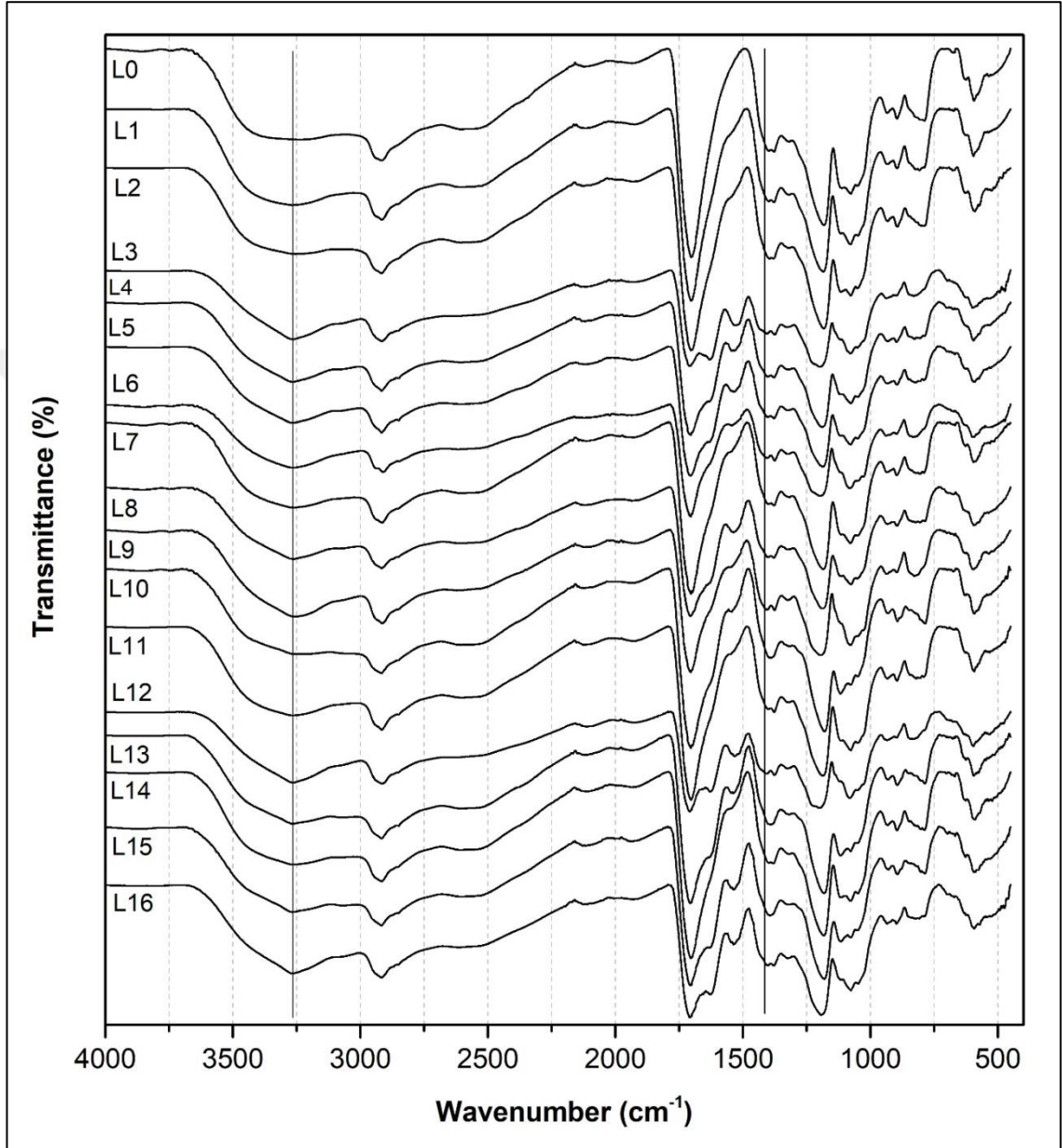
3.2.6. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin FTIR Analizi

Üretilmiş olan biyokompozit numunelerinin FTIR eğrileri elde alınmıştır. Şekil 3.49’da numunelerin FTIR eğrileri bir araya getirilmiş olarak sunulmuştur



Şekil 3.49. Üretilmiş biyokompozit numunelerinin FTIR eğrileri

Şekil 3.50’de söz konusu FTIR eğrileri birbirinden ayrıştırılmış şekilde verilmiştir.



Şekil 3.50. Üretilmiş numunelerin FTIR eğrileri

3.2.7. Üretilmiş Numunelerin Isıl Parametrelerinin Analizi

Üretilmiş numuneler 0°C, 10°C, 20°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta ölçülmüş olup ısı iletkenlik katsayılarının normal ortam şartlarındaki değerleri Tablo 3.16’da yer almaktadır.

Tablo 3.16. Üretilmiş numunelerin ısı geçirgenliği ölçüm sonuçları

Deney Kodu	Kalınlık, mm	0°C (W/mK)	Kalınlık, mm	10°C, (W/mK)	Kalınlık, mm	20°C (W/mK)
L1	8,6	0,0454	8,1	0,0467	8,3	0,0505
L2	10,2	0,0456	9,9	0,0473	10,3	0,0499
L3	11,8	0,0438	11,3	0,0450	11,2	0,0471
L4	14,1	0,0414	13,9	0,0437	13,9	0,0453
L5	14,6	0,0411	14,2	0,0427	15	0,0464
L6	17	0,0390	16,4	0,0405	16,5	0,0443
L7	11,5	0,0401	10,2	0,0439	10,6	0,0473
L8	11,8	0,0486	11,2	0,0492	11,9	0,0526
L9	15,9	0,0432	15,2	0,0510	15	0,0483
L10	13,3	0,0395	13	0,0420	11,9	0,0458
L11	19	0,0399	18,5	0,0425	18,9	0,0469
L12	18,3	0,0412	17,8	0,0429	17,3	0,0445
L13	16,9	0,0394	16,4	0,0414	16,9	0,0442
L14	17,3	0,0386	16,8	0,0402	17,2	0,0433
L15	13,6	0,0426	13,2	0,0448	13,5	0,0474
L16	17,9	0,0421	17,2	0,0440	16,9	0,0465
L0	17,7	0,0592	17,3	0,0628	16,5	0,0716

Tablodan görüldüğü gibi üretilmiş numunelerin kalınlıkları farklıdır ve bu da numunelerin ısı parametrelerini kıyaslamaya imkan vermemektedir. Buna göre de ısı geçirgenlik katsayısının yerine numunelerin ısı direnci kullanılacaktır. Bu amaçla aşağıdaki formül üzere ısı direnç değerleri hesaplanmış ve Tablo 3.17'ye aktarılmıştır:

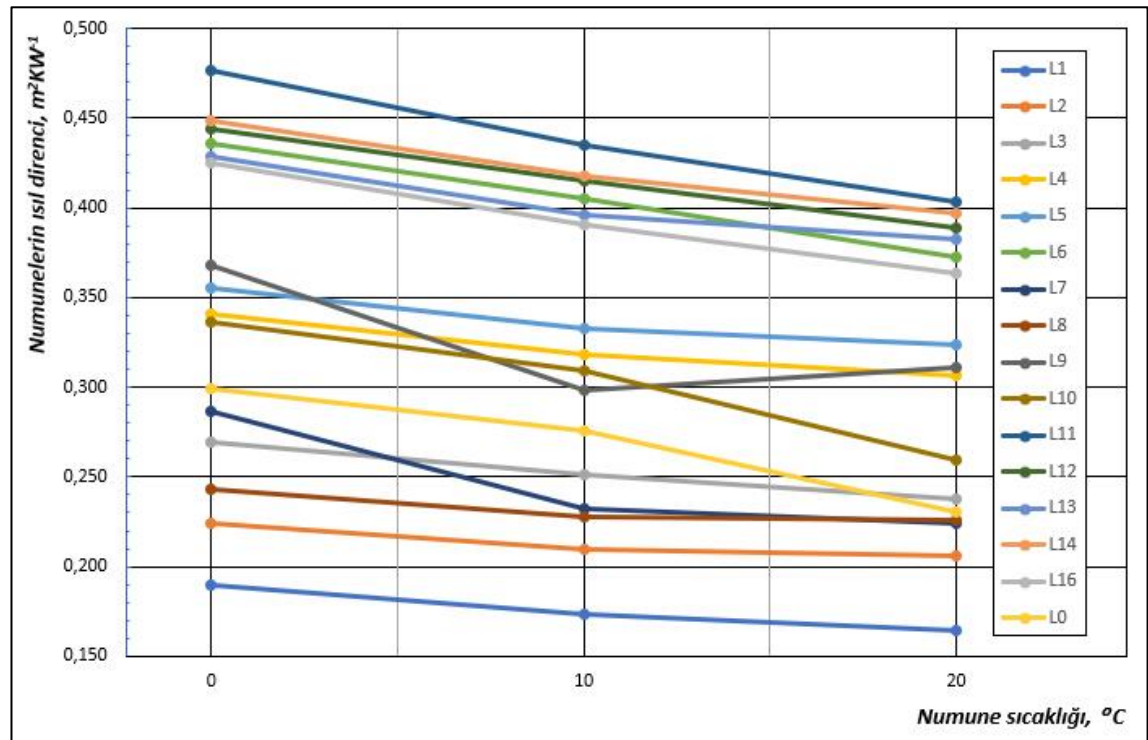
$$R = \frac{\delta}{\lambda}$$

Burada R – numunenin ısı direnci [m^2KW^{-1}], λ - numunenin ısı geçirgenlik katsayısı [$Wm^{-1}K^{-1}$], δ - malzemenin kalınlığıdır [m].

Tablo 3.17. Üretilmiş numunelerin ısıl direnci

Deney Kodu	Numunelerin ısıl direnci, m^2KW^{-1}		
	0°C	10°C	20°C
L1	0,189	0,173	0,164
L2	0,224	0,209	0,206
L3	0,269	0,251	0,238
L4	0,341	0,318	0,307
L5	0,355	0,333	0,323
L6	0,436	0,405	0,372
L7	0,287	0,232	0,224
L8	0,243	0,228	0,226
L9	0,368	0,298	0,311
L10	0,337	0,310	0,260
L11	0,476	0,435	0,403
L12	0,444	0,415	0,389
L13	0,429	0,396	0,382
L14	0,448	0,418	0,397
L15	0,319	0,295	0,285
L16	0,425	0,391	0,363
L0	0,299	0,275	0,230

Şekil 3.51’de üretilmiş 17 numune için ısıl direncin sıcaklığa göre değişim eğrileri verilmiştir.



Şekil 3.51. Numunelerin sıcaklığa bağlı ısıl direnç değişim eğrileri

Normal sıcaklığa yakın olan 20°C'e uygun ısıl direnç değerleri alınarak Design-Exper programında analize tabi tutulmuştur. Tablo 3.18'de söz konusu verilere uygun ANOVA tablosu yer almıştır.

Tablo 3.18. Üretilmiş numunelerin ısı geçirgenliğine ait ANOVA tablosu

0°C sıcaklık

Fit Summary

Response 2: Kop_uz

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.0202		0.4883	0.1810	Suggested
2FI	0.4063		0.5536	-0.1188	
Quadratic	0.0594		0.9965		Suggested
Cubic					Aliased

Fit Statistics

Std. Dev.	0.0186		R²	0.9854
Mean	0.3494		Adjusted R²	0.9562
C.V. %	5.34		Predicted R²	0.7610
			Adeq Precision	18.5669

ANOVA for 2FI model

Response 1: STR-0grad

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.1172	10	0.0117	33.71	0.0006	significant
A-PVA	0.0002	1	0.0002	0.6893	0.4442	
B-Su	0.0897	1	0.0897	258.18	< 0.0001	
C-SA	0.0099	1	0.0099	28.56	0.0031	
D-Liq	0.0007	1	0.0007	2.07	0.2097	
AB	0.0009	1	0.0009	2.66	0.1638	
AC	0.0004	1	0.0004	1.21	0.3215	
AD	0.0015	1	0.0015	4.44	0.0891	
BC	0.0002	1	0.0002	0.6963	0.4421	
BD	0.0008	1	0.0008	2.17	0.2010	
CD	0.0127	1	0.0127	36.47	0.0018	
Residual	0.0017	5	0.0003			
Cor Total	0.1189	15				

Factor coding is **Coded**.

Sum of squares is **Type III - Partial**

10°C sıcaklık

Fit Summary

Response 2: Kop_uz

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.0002		0.7950	0.6675	Suggested
2FI	0.0237		0.9530	0.6267	Suggested
Quadratic	0.8992		0.8754		
Cubic					Aliased

Fit Statistics

Std. Dev.	0.0182		R²	0.9843
Mean	0.3192		Adjusted R²	0.9530
C.V. %	5.71		Predicted R²	0.6267
			Adeq Precision	17.3252

ANOVA for 2FI model

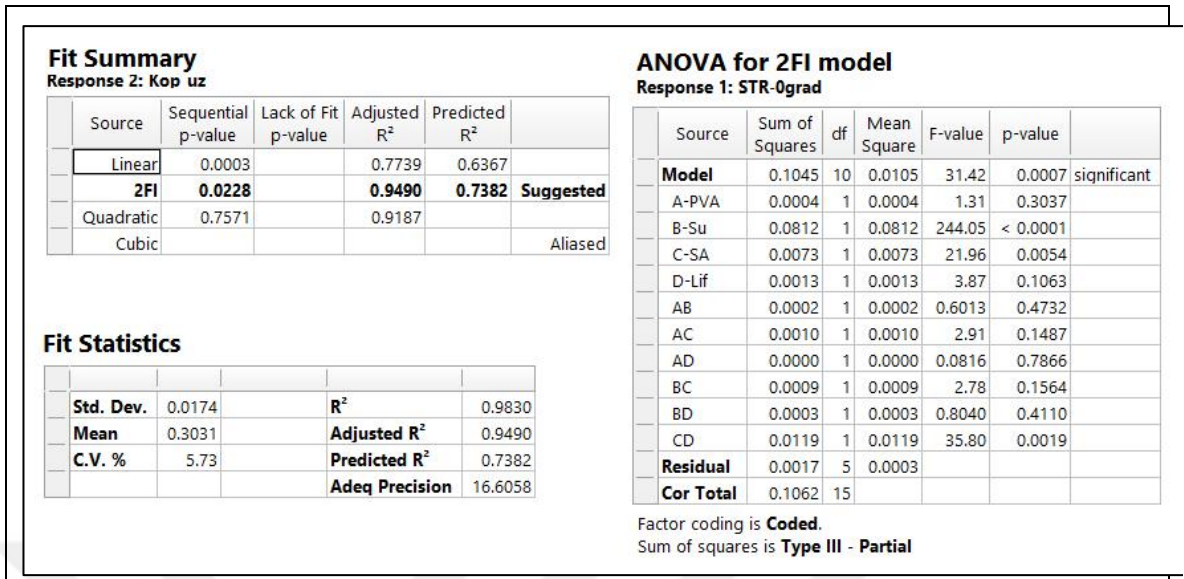
Response 1: STR-0grad

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.1045	10	0.0105	31.42	0.0007	significant
A-PVA	0.0004	1	0.0004	1.31	0.3037	
B-Su	0.0812	1	0.0812	244.05	< 0.0001	
C-SA	0.0073	1	0.0073	21.96	0.0054	
D-Lif	0.0013	1	0.0013	3.87	0.1063	
AB	0.0002	1	0.0002	0.6013	0.4732	
AC	0.0010	1	0.0010	2.91	0.1487	
AD	0.0000	1	0.0000	0.0816	0.7866	
BC	0.0009	1	0.0009	2.78	0.1564	
BD	0.0003	1	0.0003	0.8040	0.4110	
CD	0.0119	1	0.0119	35.80	0.0019	
Residual	0.0017	5	0.0003			
Cor Total	0.1062	15				

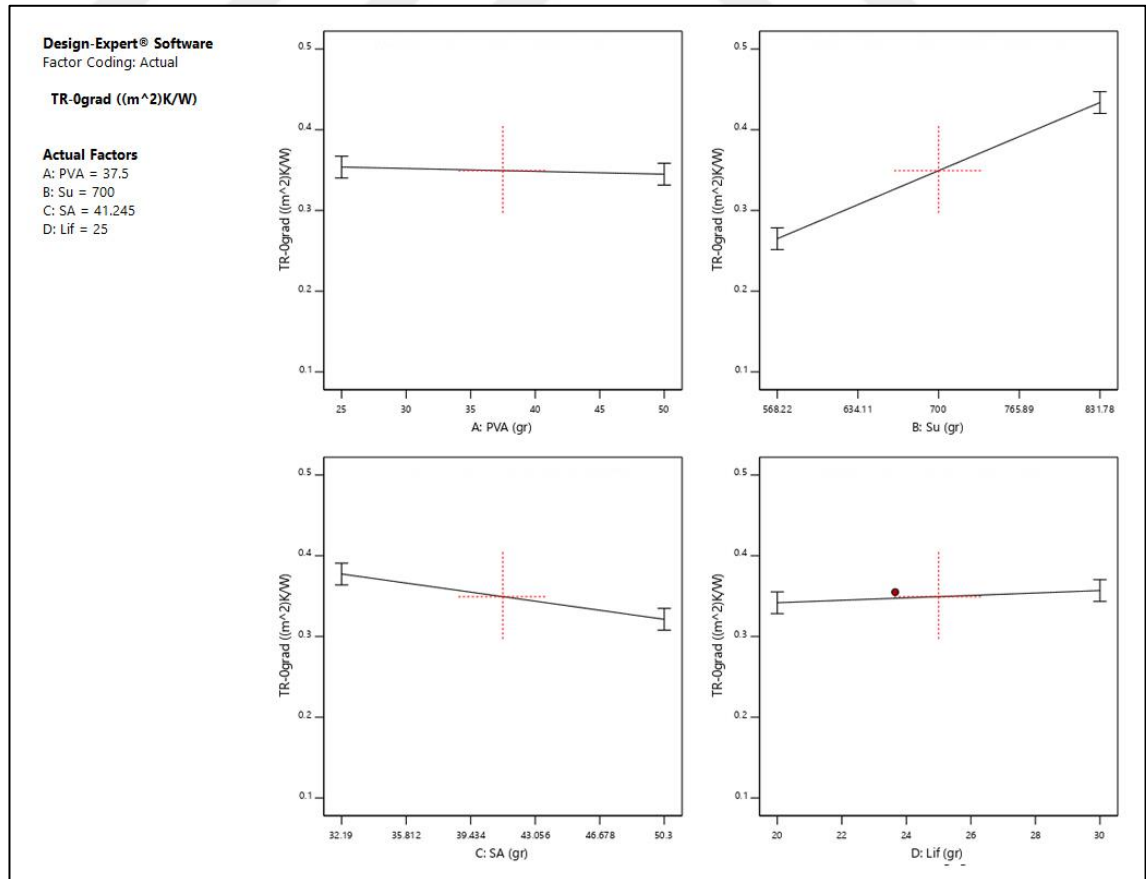
Factor coding is **Coded**.

Sum of squares is **Type III - Partial**

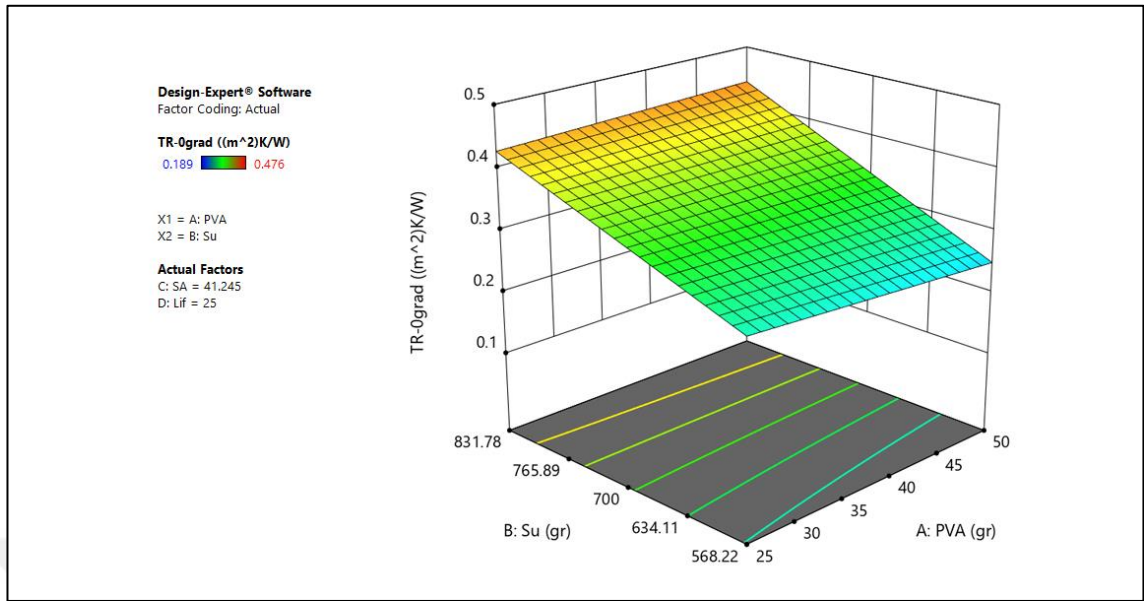
20°C sıcaklık



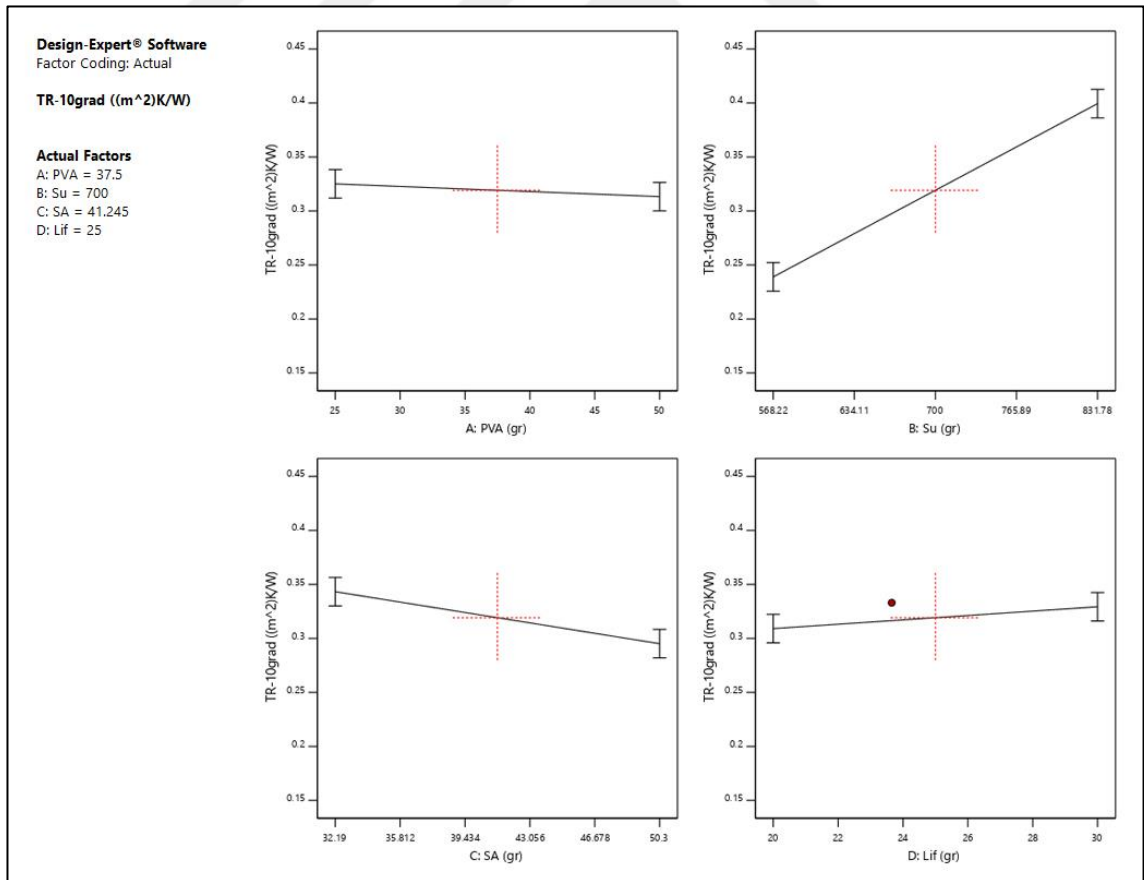
Şekil 3.52 ve 3.53’de 0°C, Şekil 3.54 ve 3.55’te 10°C, Şekil 3.56 ve 3.57’de ise 20°C’de numune parametrelerine göre ısı direncin tepki yüzeyi ve kesitleri verilmiştir



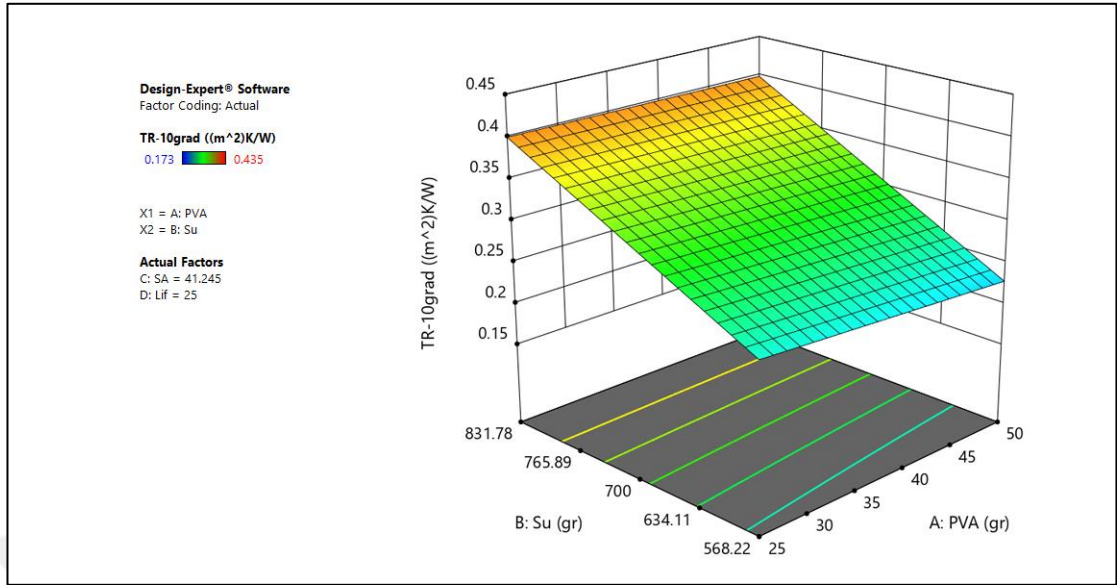
Şekil 3.52. Numune parametrelerinin 0°C’de numunenin ısı direncine etkileri



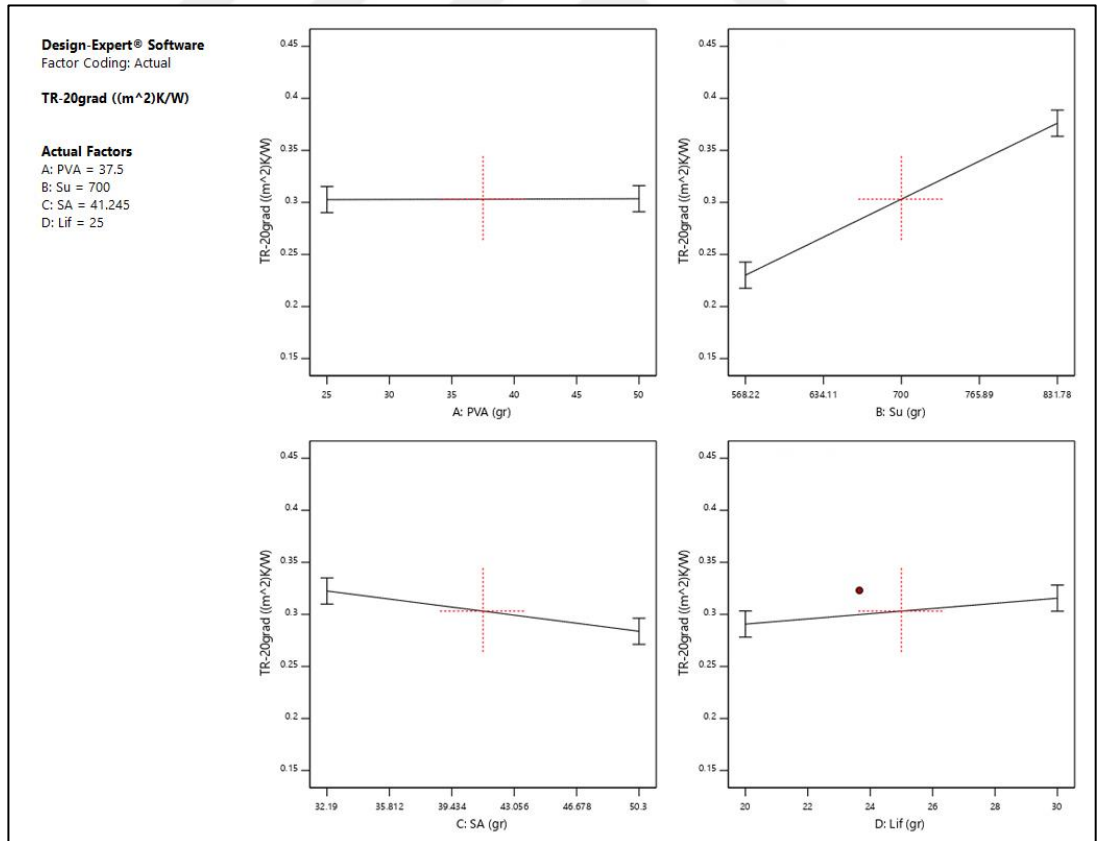
Şekil 3.53. Numunelerin 0°C’de ısıl direncinin tepki yüzeyi



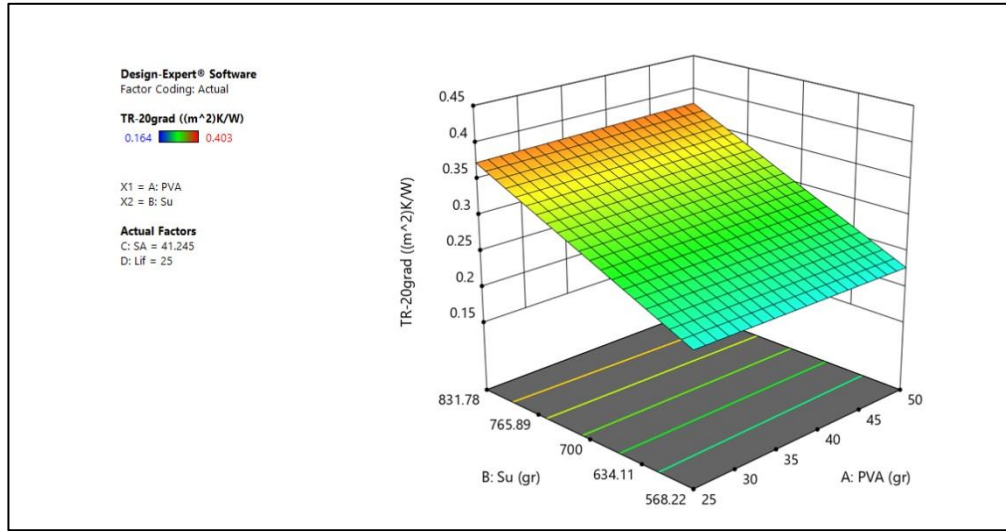
Şekil 3.54. Numune parametrelerinin 10°C’de numunenin ısıl direncine etkileri



Şekil 3.55. Numunelerin 0°C’de ısııl direncinin tepki yüzeyi



Şekil 3.56. Numune parametrelerinin 20°C’de numunenin ısııl direncine etkileri



Şekil 3.57. Numunelerin 20°C’de ısı direncinin tepki yüzeyi

Bütün faktörleri belirlenmiş aralıklarda dikkate almak suretiyle optimizasyon meselesine bakılmıştır ve en yüksek ısı dirence sahip örneğin L11, en düşük ısı dirence sahip örneğin ise L1 kodlu örnekler olduğu görülmüştür (Şekil 3.53)

3.2.8. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Hava Geçirgenliği Analizi

Üretilmiş numunelerin üç tekrarlı olmak üzere hava geçirgenlik değerleri ölçülmüş olup hava geçirgenlik değerleri Tablo 3.19’da verilmiştir.

Tablo 3.19. Üretilmiş Numunelerin Hava Geçirgenliği Sonucu

Deney kodu	1.ölçüm(mm/s)	2.ölçüm(mm/s)	3.ölçüm(mm/s)	Ortalama
L0	33	32	32	32,333
L1	31	30	34	31,667
L2	36	32	32	33,333
L3	31	30	31	30,667
L4	31	32	31	31,333
L5	32	32	32	32,000
L6	37	34	35	35,333
L7	32	32	32	32,000
L8	35	31	31	32,333
L9	35	35	32	34,000
L10	70	69	68	69,000
L11	43	38	36	39,000
L12	36	35	36	35,667
L13	53	50	47	50,000
L14	49	44	42	45,000
L15	32	32	32	32,000
L16	35	35	35	35,000

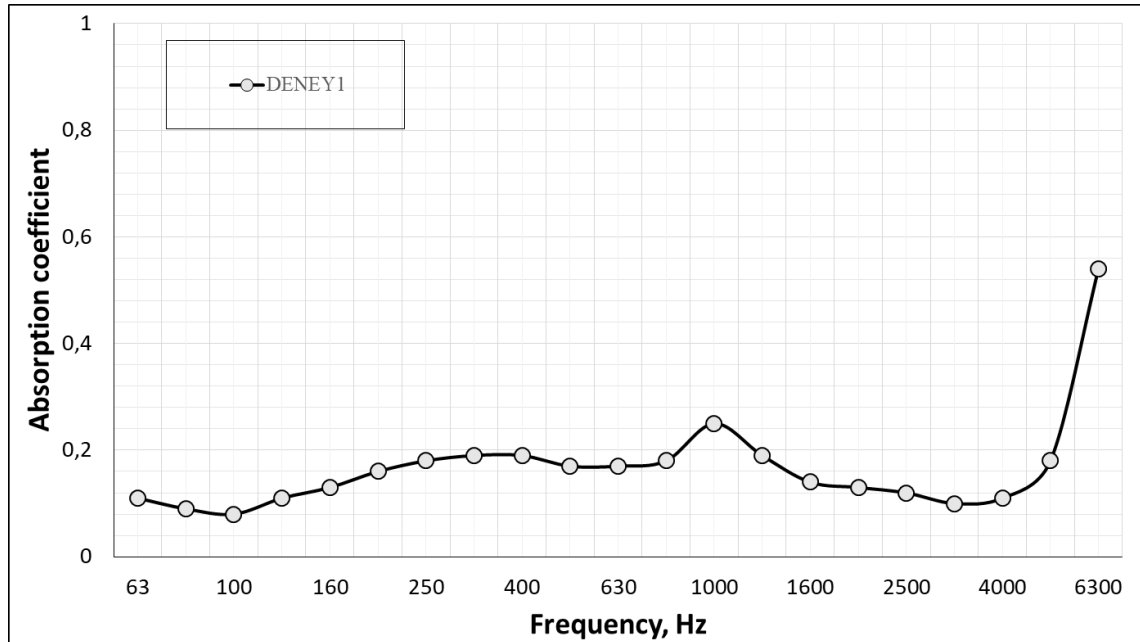
Tablo 3.20’de üretilmiş numunelerin hava geçirgenliğine ait ANOVA tablosu verilmiştir.

Tablo 3.20. Üretilmiş numunelerin hava geçirgenliğine ait ANOVA tablosu

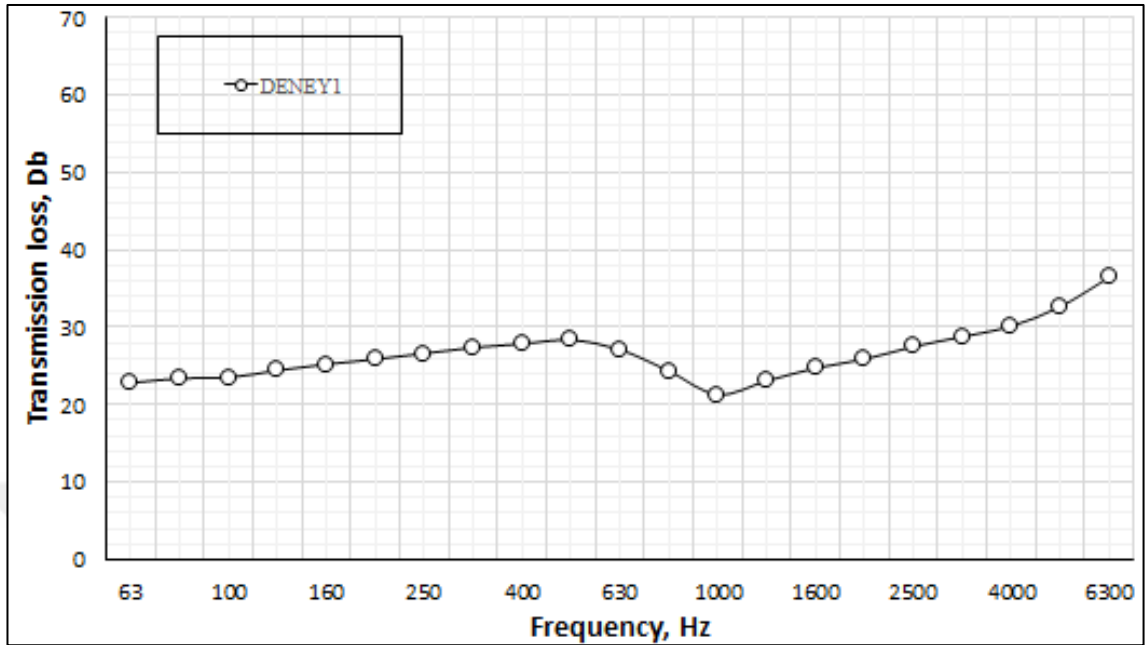
Fit Summary Response 1: HG						ANOVA for Quadratic model Response 1: HG						
Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²		Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Linear	0.0716		0.3387	-0.0589		Model	1480.24	14	105.73	15.74	0.1953	not significant
2FI	0.7324		0.1472	-1.3635		A-PVA	488.16	1	488.16	72.68	0.0743	
Quadratic	0.1881		0.9322		Suggested	B-Su	196.68	1	196.68	29.29	0.1163	
Cubic					Aliased	C-SA	0.6926	1	0.6926	0.1031	0.8022	
						D-Liq	80.35	1	80.35	11.96	0.1792	
						AB	68.04	1	68.04	10.13	0.1938	
						AC	2.01	1	2.01	0.2993	0.6813	
						AD	204.53	1	204.53	30.45	0.1141	
						BC	0.8911	1	0.8911	0.1327	0.7776	
						BD	17.11	1	17.11	2.55	0.3564	
						CD	5.79	1	5.79	0.8625	0.5235	
						A ²	294.11	1	294.11	43.79	0.0955	
						B ²	0.0361	1	0.0361	0.0054	0.9534	
						C ²	1.61	1	1.61	0.2394	0.7103	
						D ²	11.41	1	11.41	1.70	0.4166	
						Residual	6.72	1	6.72			
						Cor Total	1486.96	15				

3.2.9. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Akustik Analizi

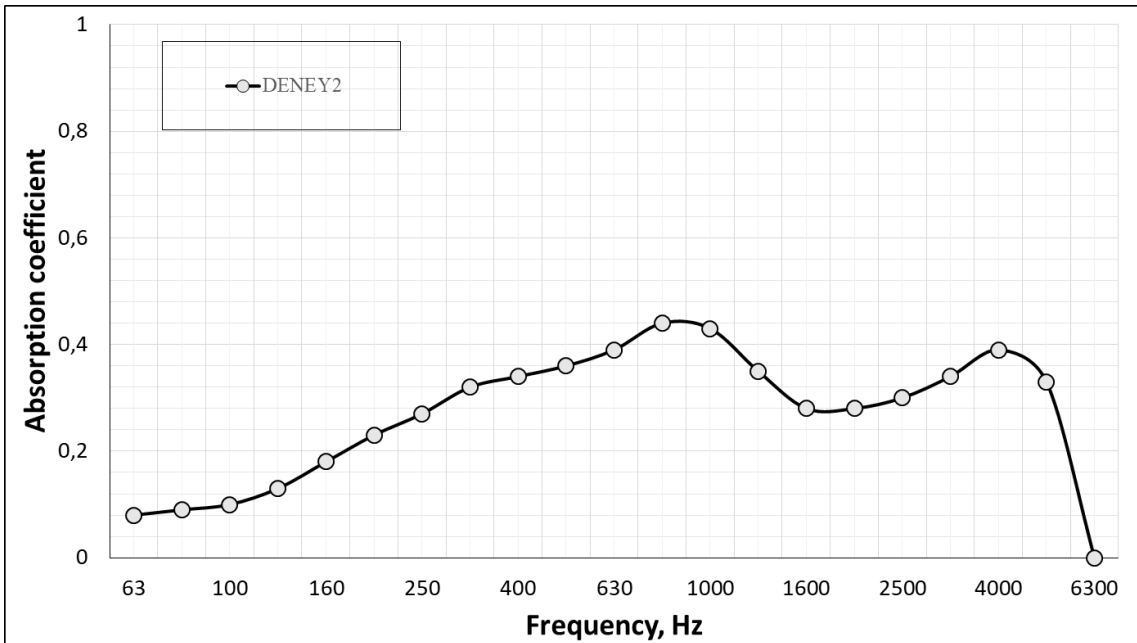
Liyofilizasyon yöntemiyle üretilmiş numunelerin empedans tüpünde akustik özelliklerine bakılmıştır. Deney planında PVA, sitrik asit, lif ve su oranlarının farklı miktarlarda kullanılmasıyla üretilen numunelerin ses yalıtım özelliklerinin nasıl değiştiği görmek istenmiştir. Örneklerin ses emilim katsayısının ve ses iletim kaybının ses frekansına göre değerleri Şekil 3.58-3.91 arasında grafik halinde verilmiştir.



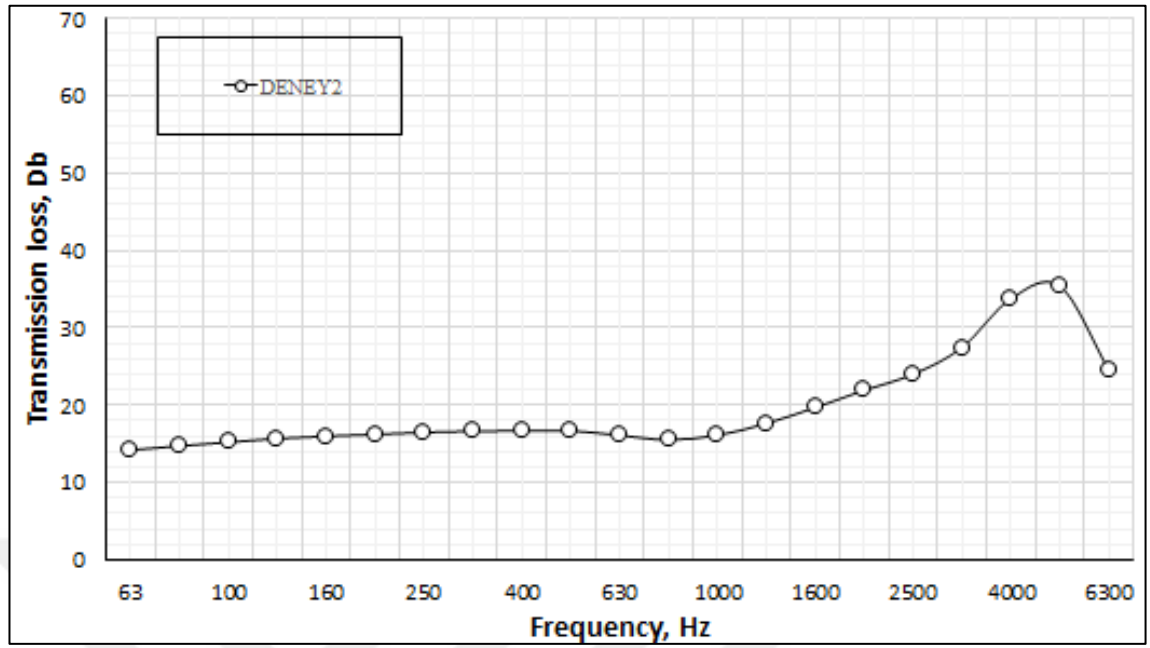
Şekil 3.58. L1 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi



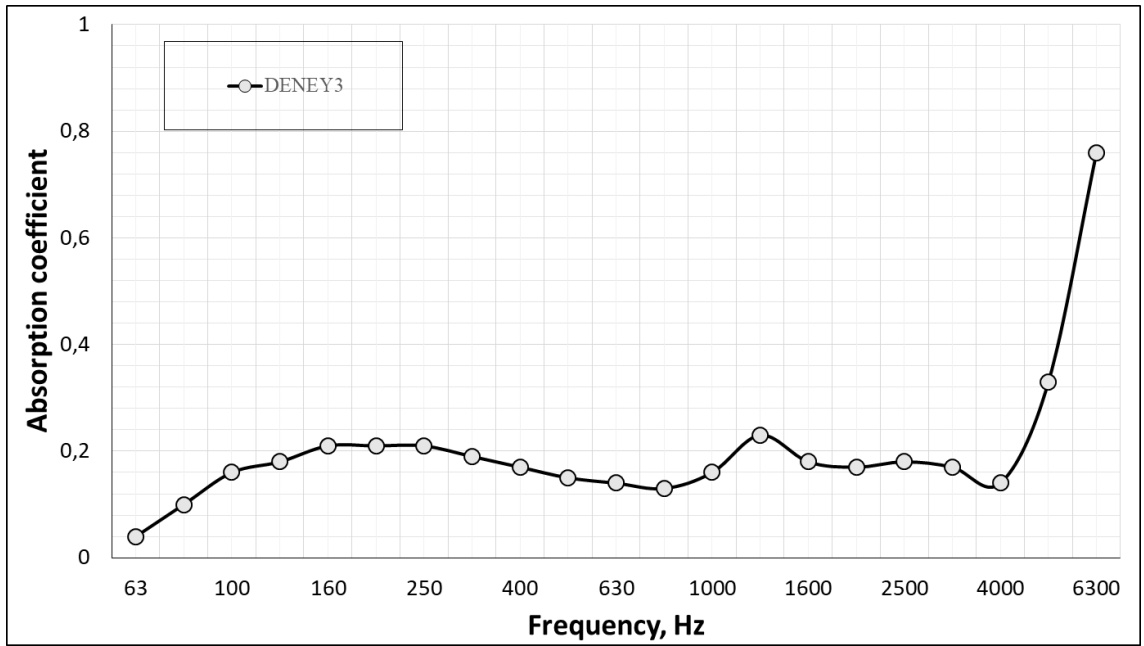
Şekil 3.59. L1 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi



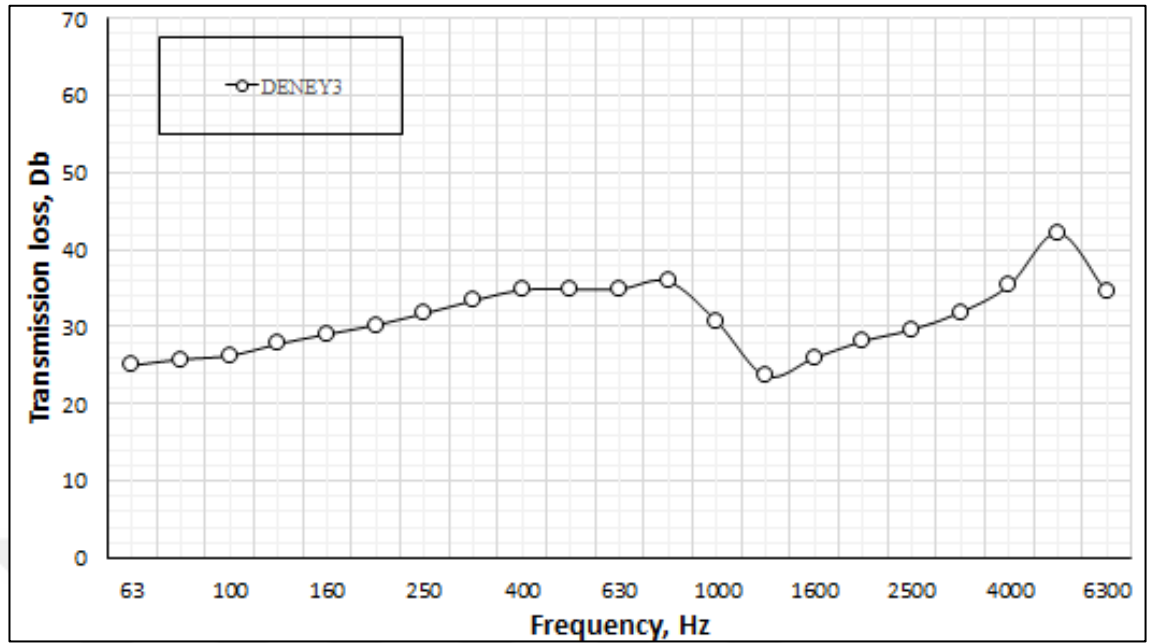
Şekil 3.60. L2 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi



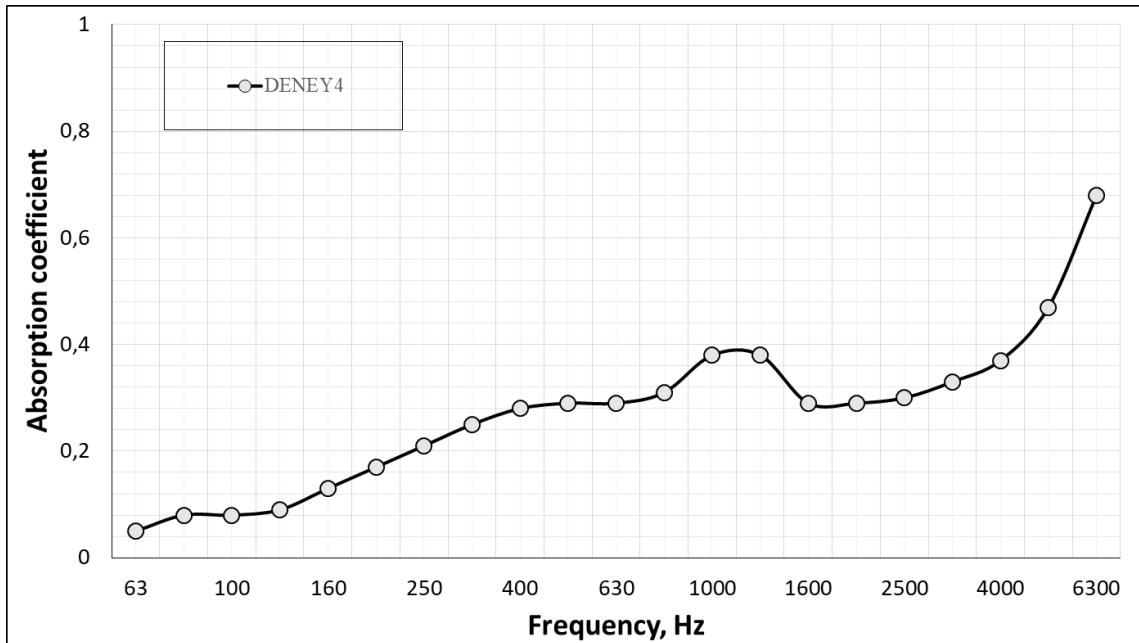
Şekil 3.61. L2 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi



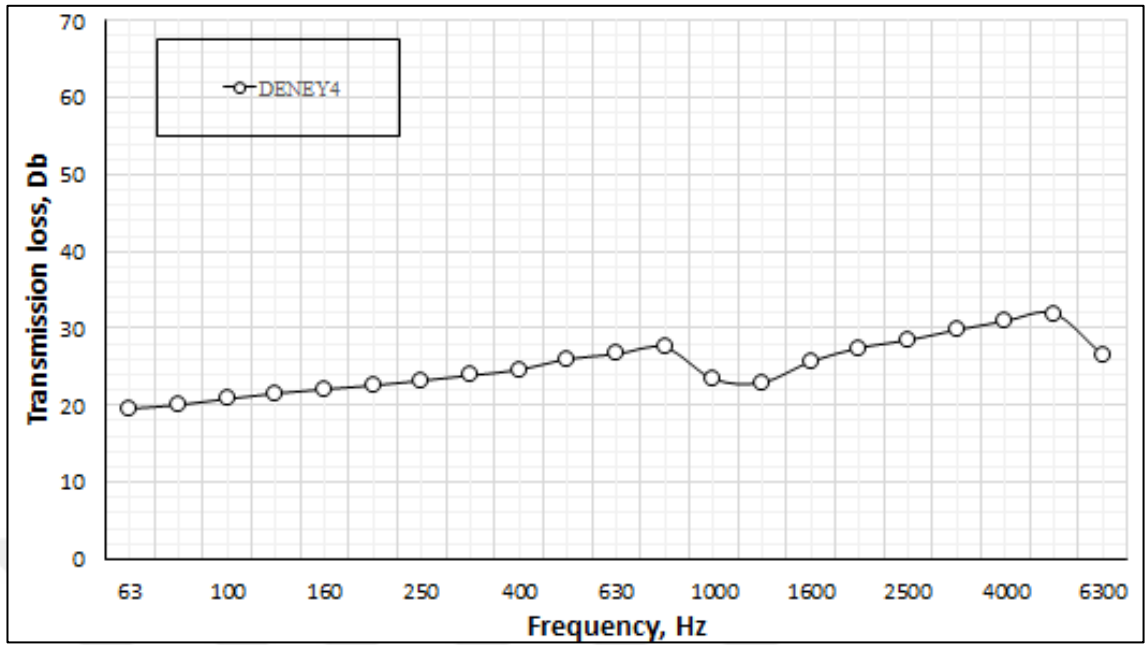
Şekil 3.62. L3 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi



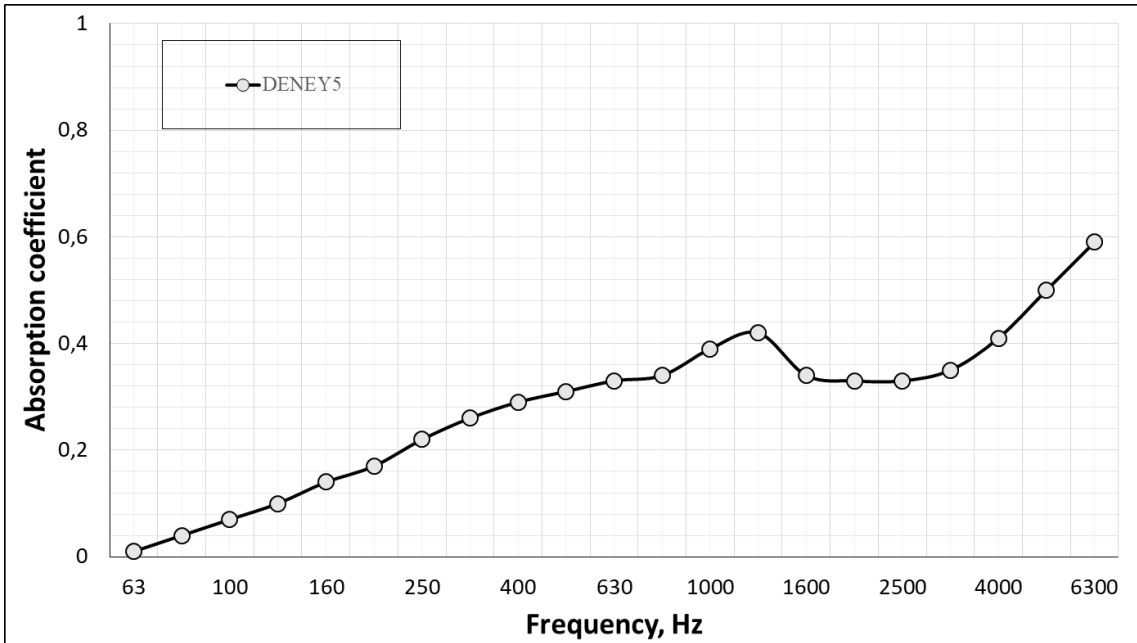
Şekil 3.63. L3 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi



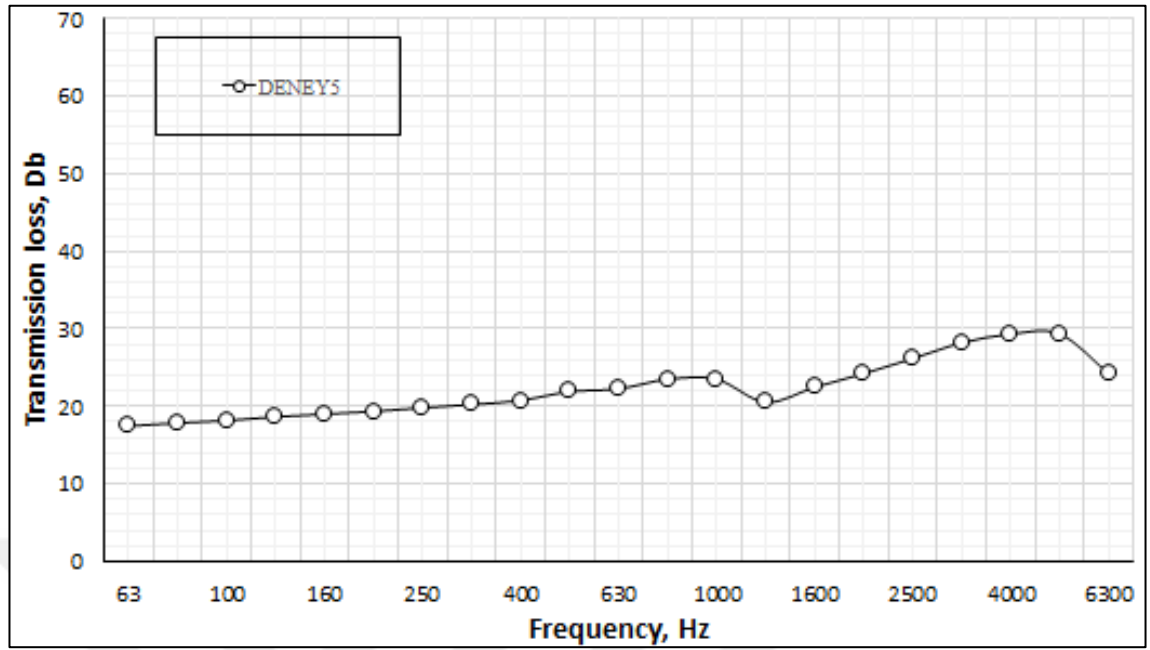
Şekil 3.64. L4 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi



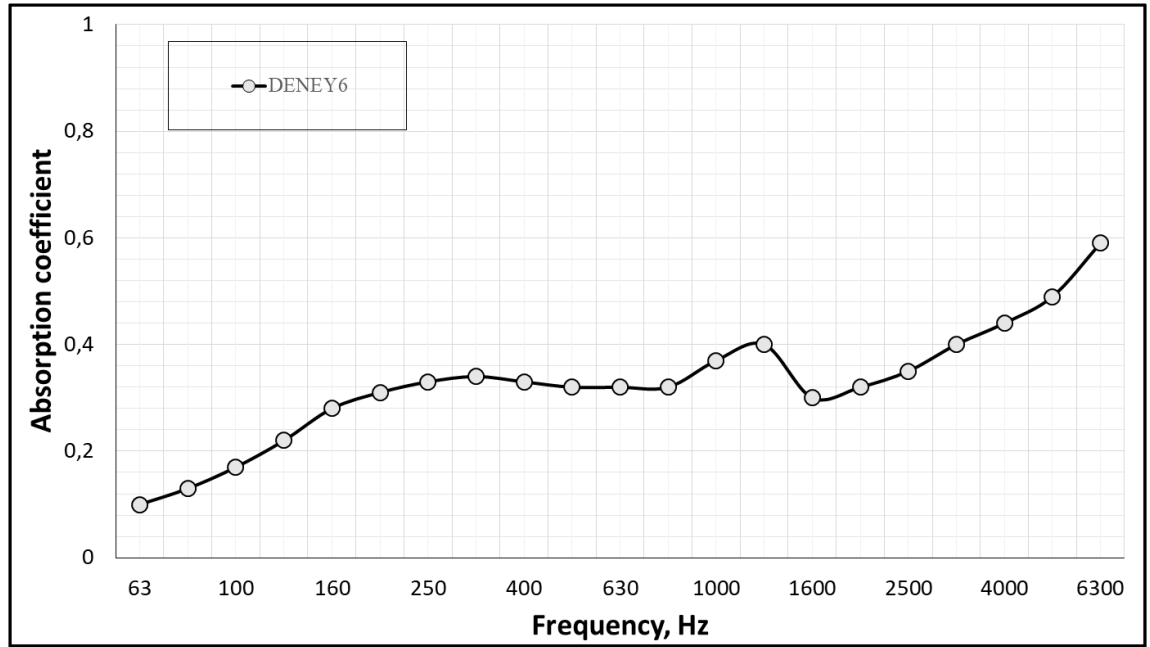
Şekil 3.65. L4 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi



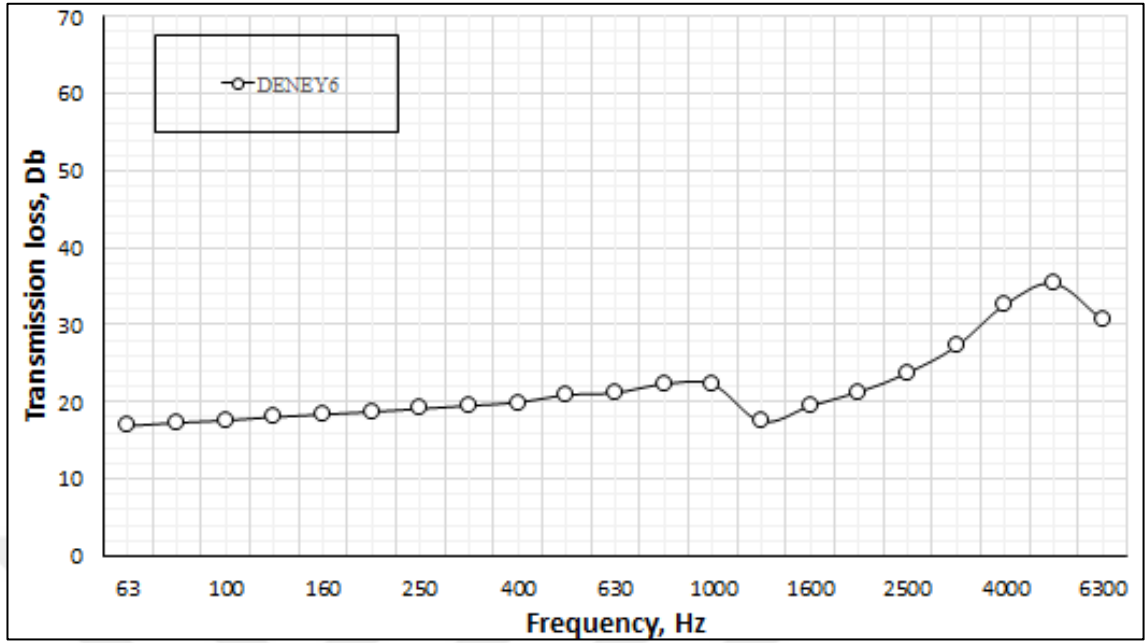
Şekil 3.66. L5 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi



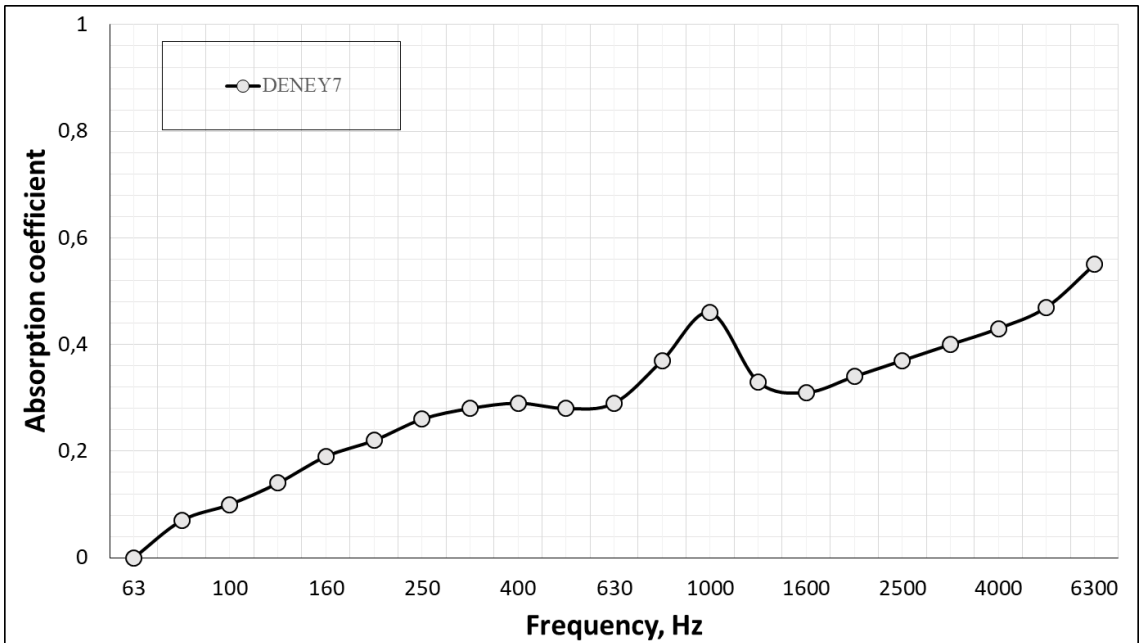
Şekil 3.67. L5 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi



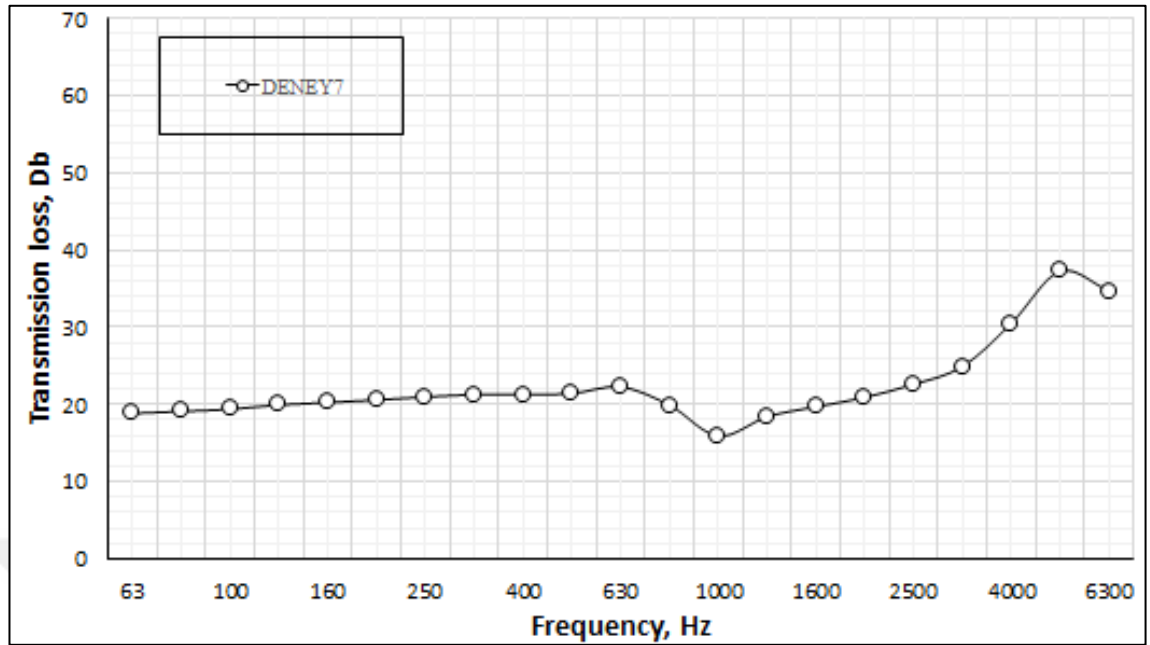
Şekil 3.68. L6 kodlu numuneye ait ses emilim katsayısı eğrisi



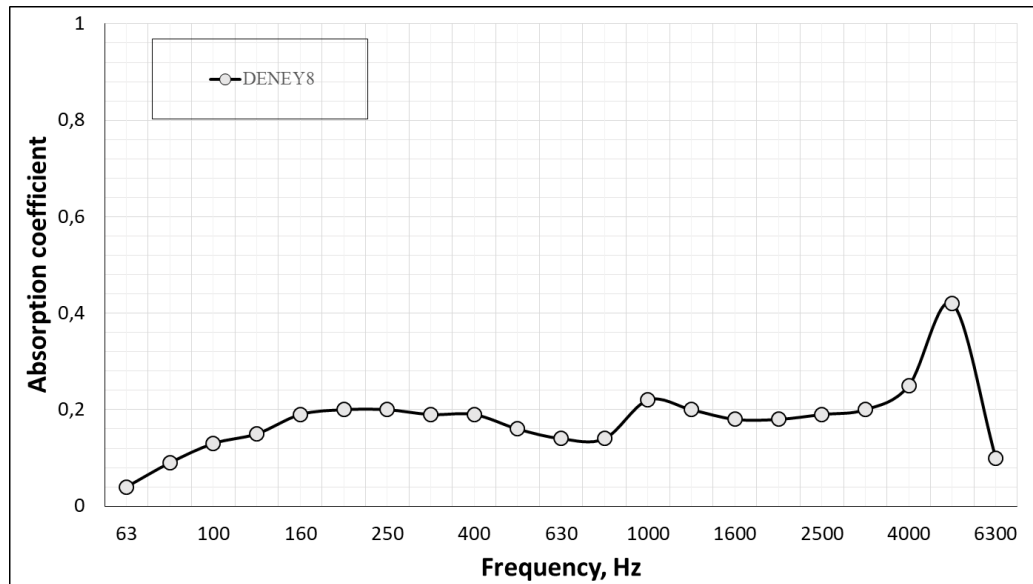
Şekil 3.69. L6 kodlu numuneye ait ses iletim kaybı eğrisi



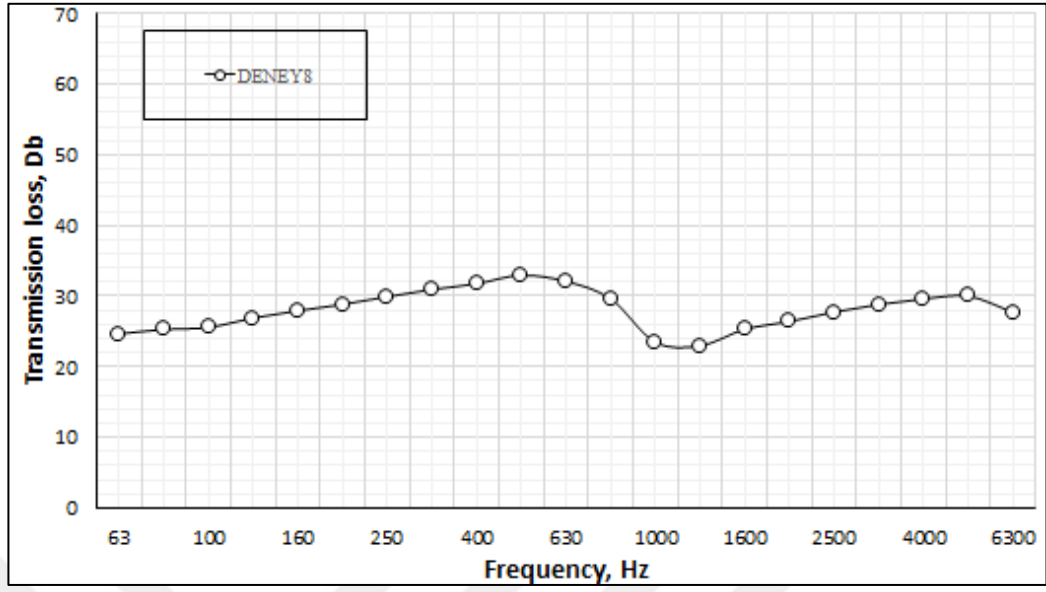
Şekil 3.70. L7 kodlu numuneye ait ses emilim katsayısı eğrisi



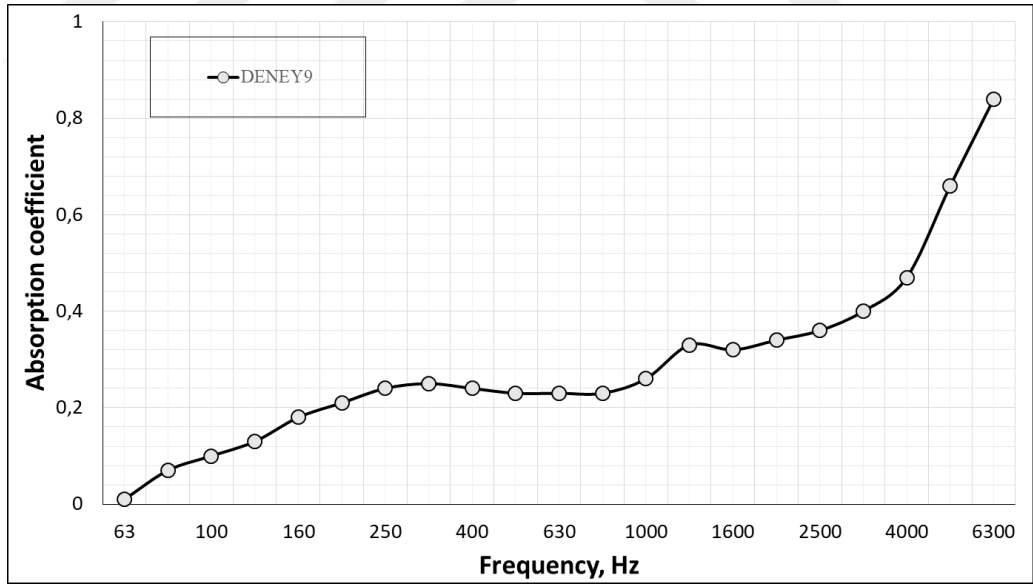
Şekil 3.71. L7 kodlu numuneye ait ses iletim kaybı eğrisi



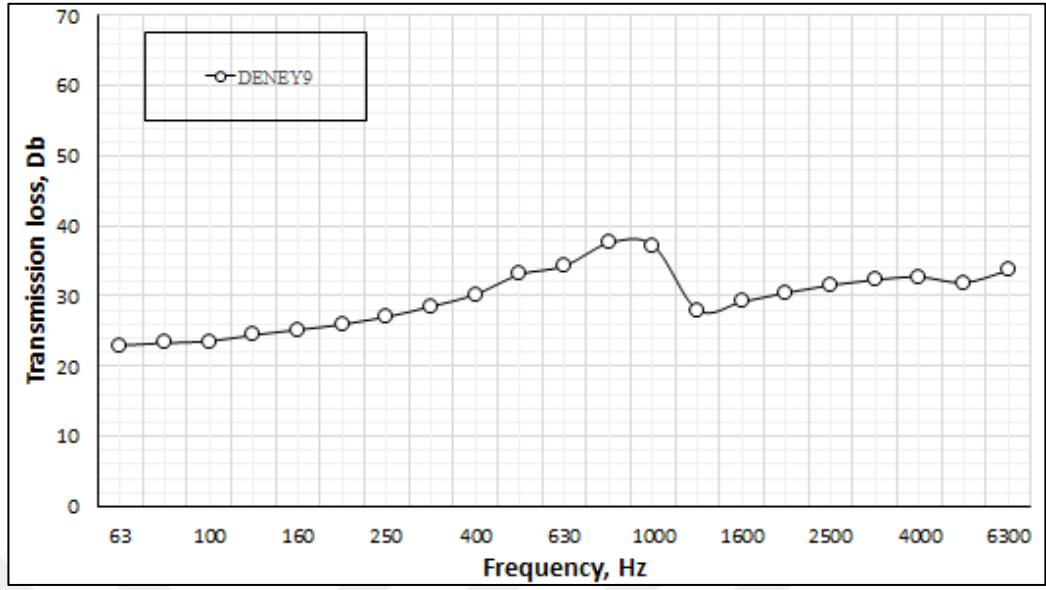
Şekil 3.72. L8 kodlu numuneye ait ses emilim katsayısı eğrisi



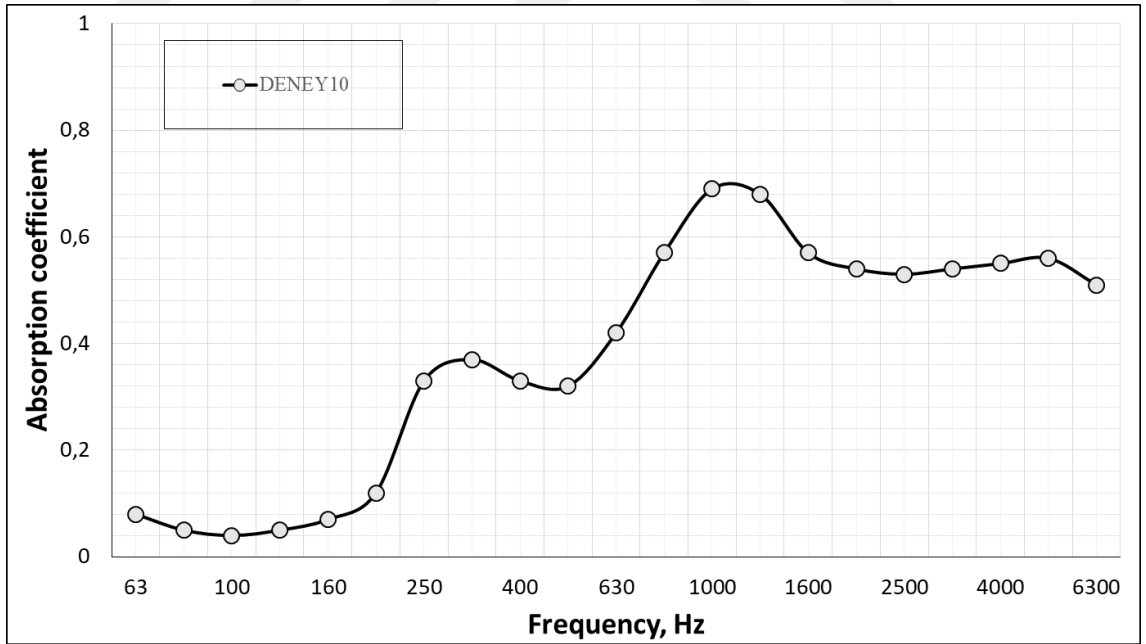
Şekil 3.73. L8 kodlu numuneye ait ses iletim kaybı eğrisi



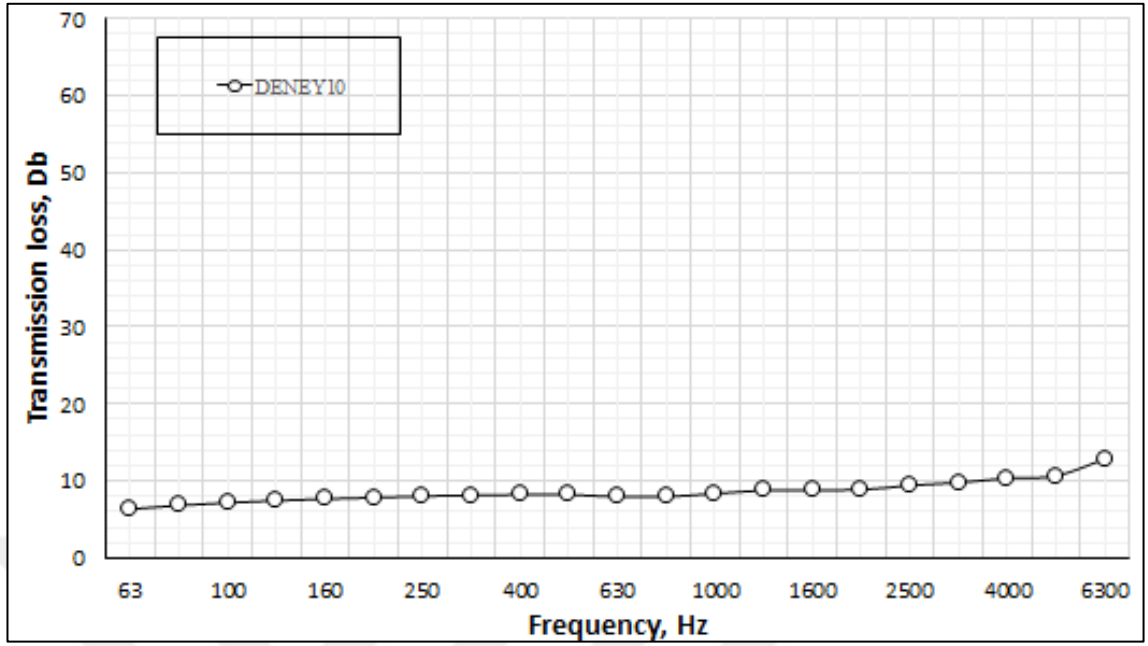
Şekil 3.74. L9 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi



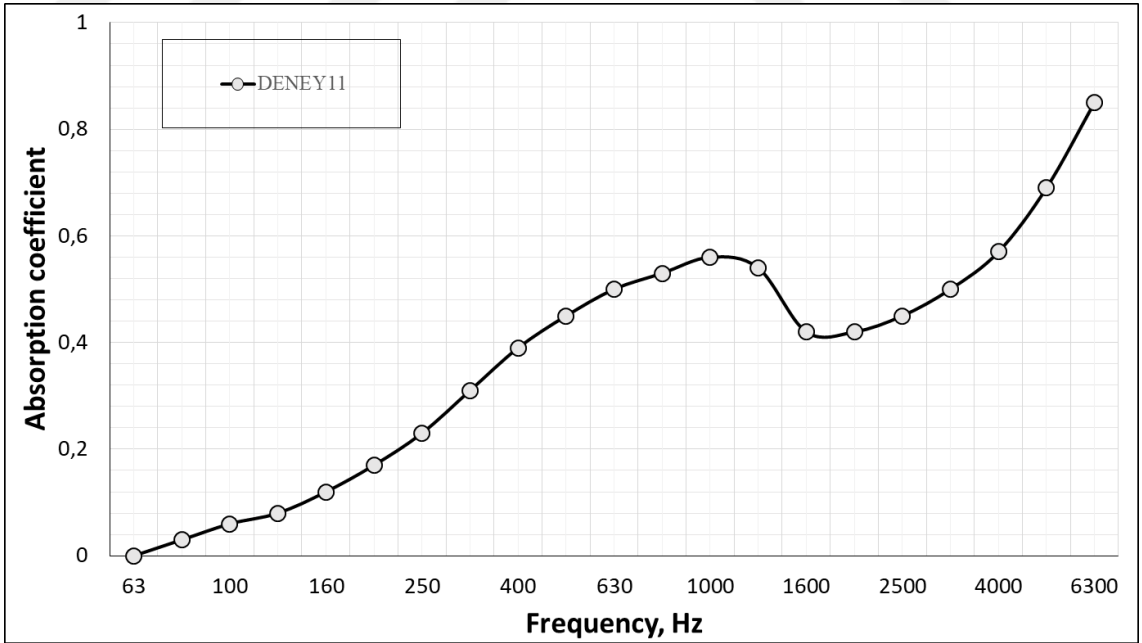
Şekil 3.75. L9 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi



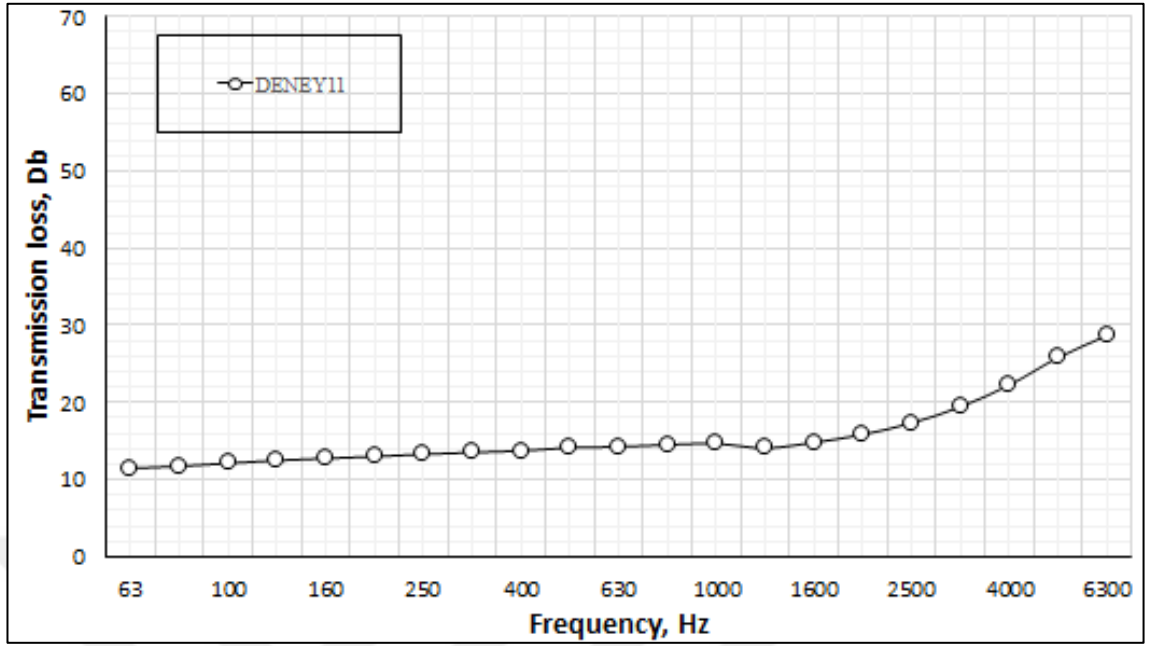
Şekil 3.76. L10 kodlu numuneye ait ses emilim katsayısı eğrisi



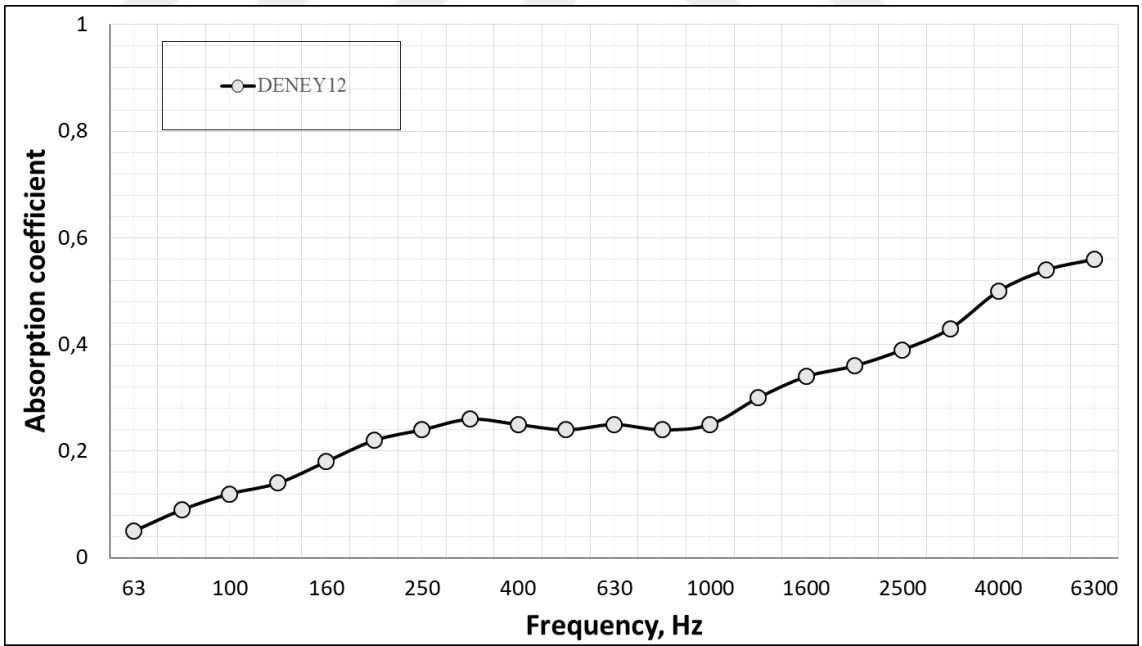
Şekil 3.77. L10 kodlu numuneye ait ses iletim kaybı eğrisi



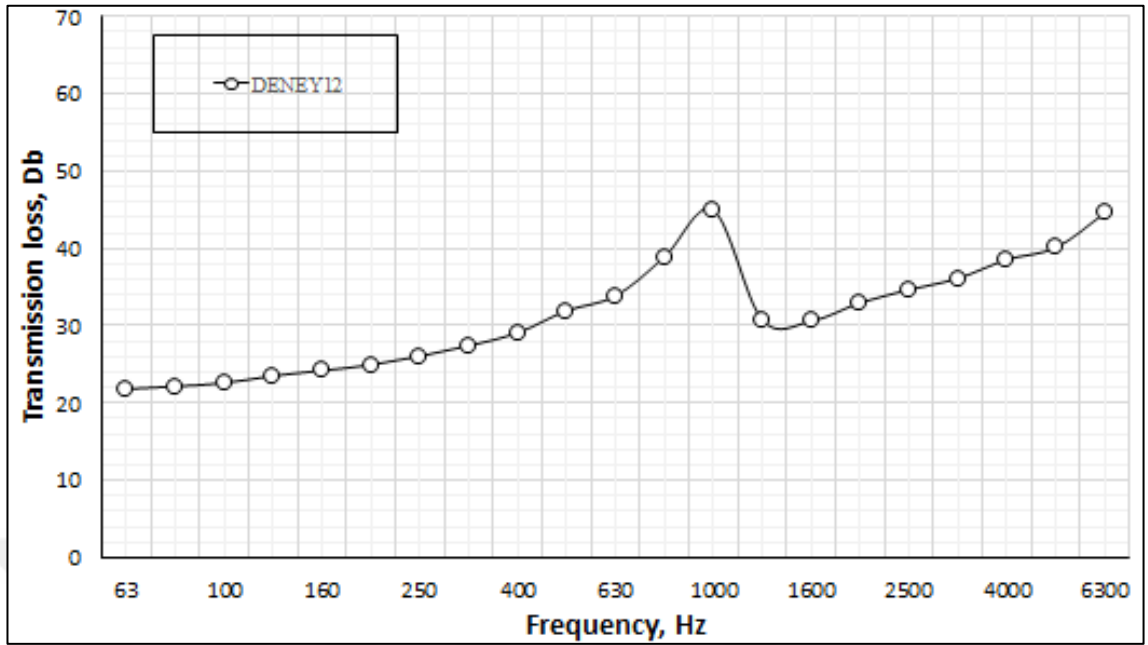
Şekil 3.78. L11 kodlu numuneye ait ses emilim katsayısı eğrisi



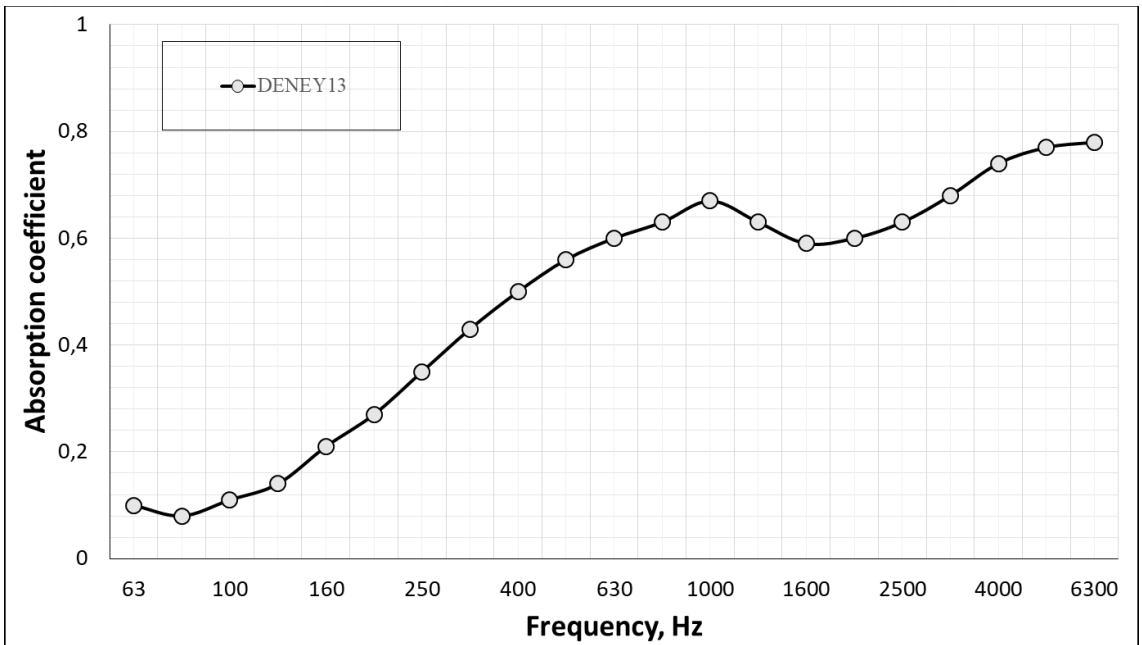
Şekil 3.79. L11 kodlu numuneye ait ses iletim kaybı eğrisi



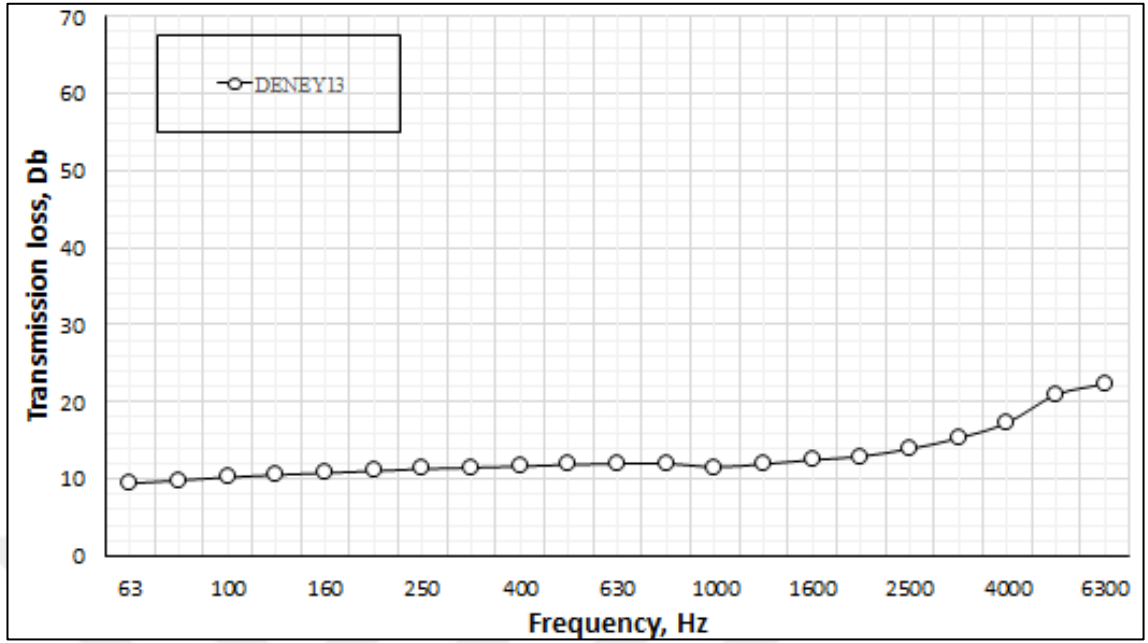
Şekil 3.80. L12 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi



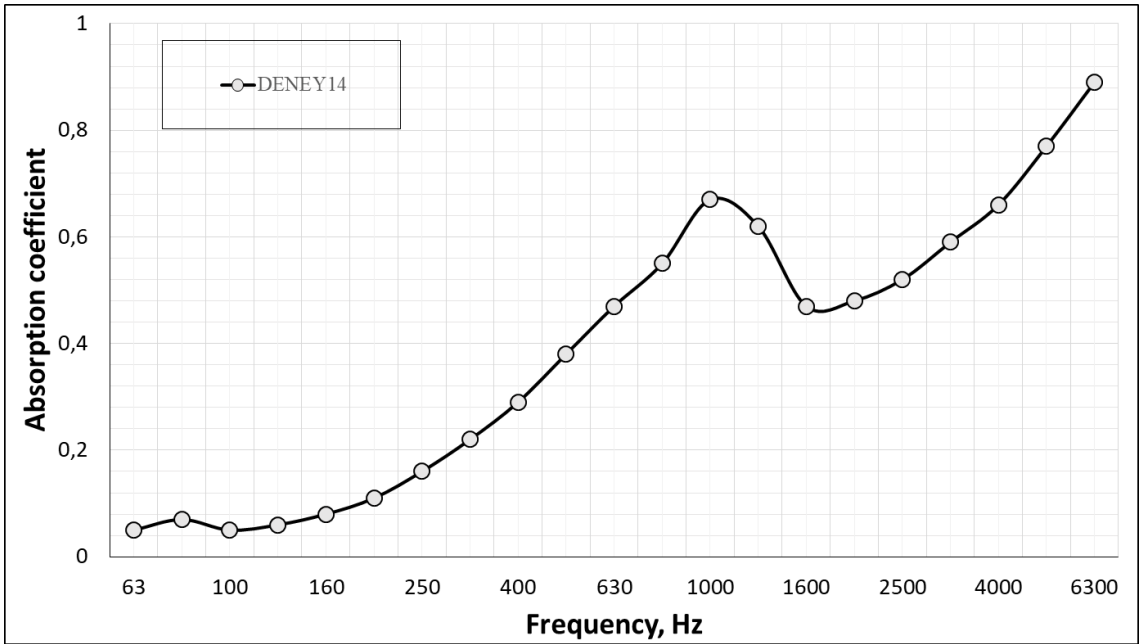
Şekil 3.81. L12 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi



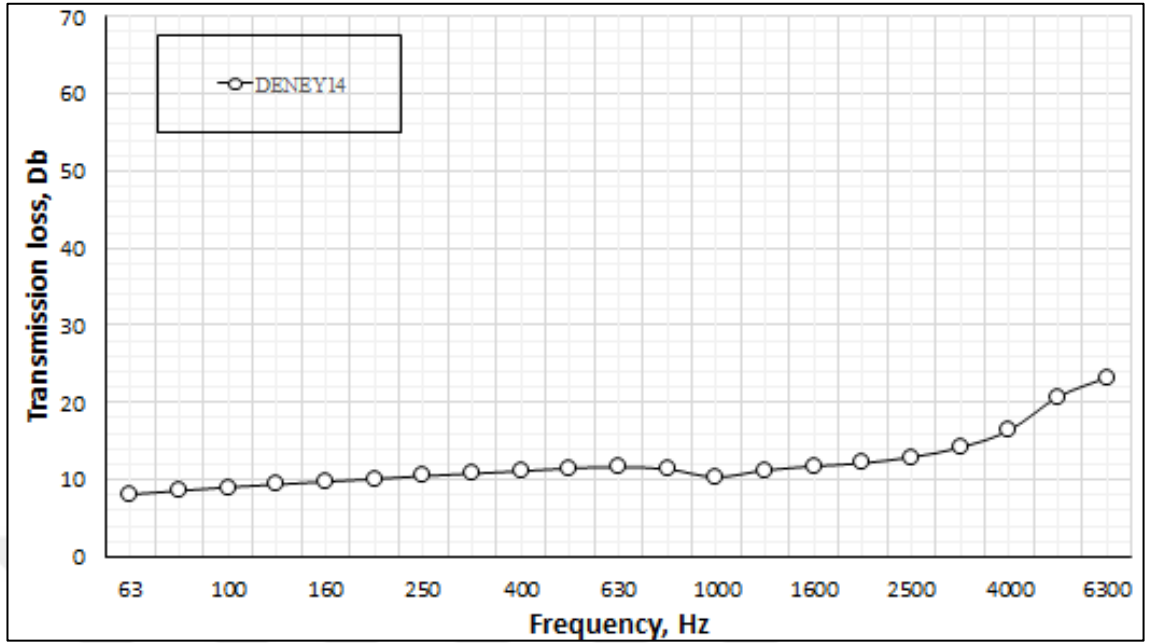
Şekil 3.82. L13 kodlu numuneye ait ses emilim katsayısı eğrisi



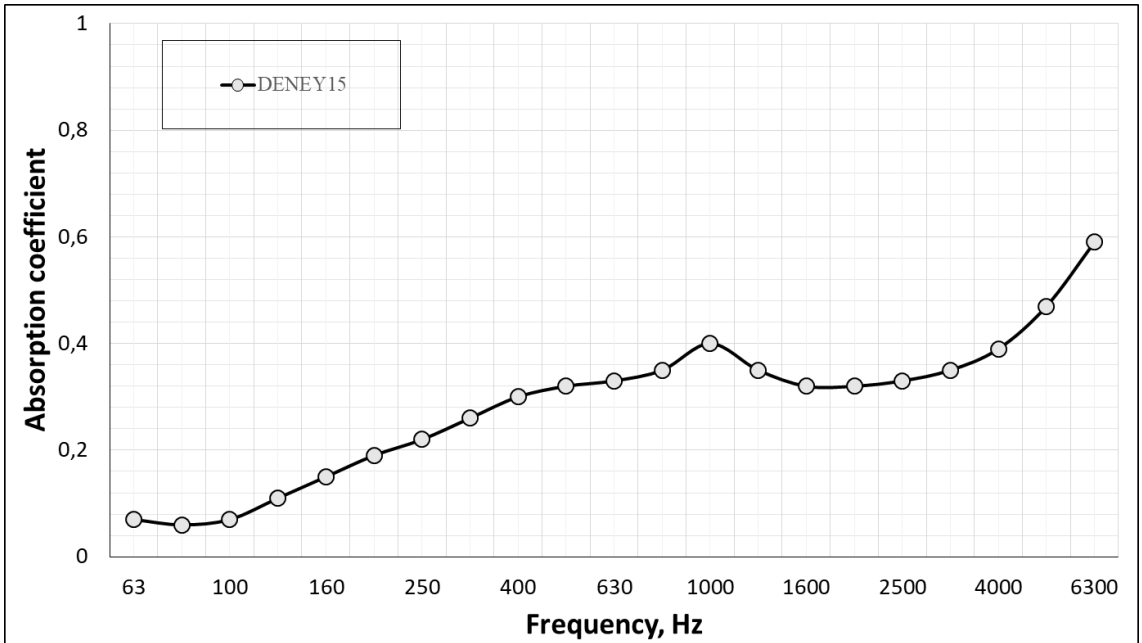
Şekil 3.83. L13 kodlu numuneye ait ses iletim kaybı eğrisi



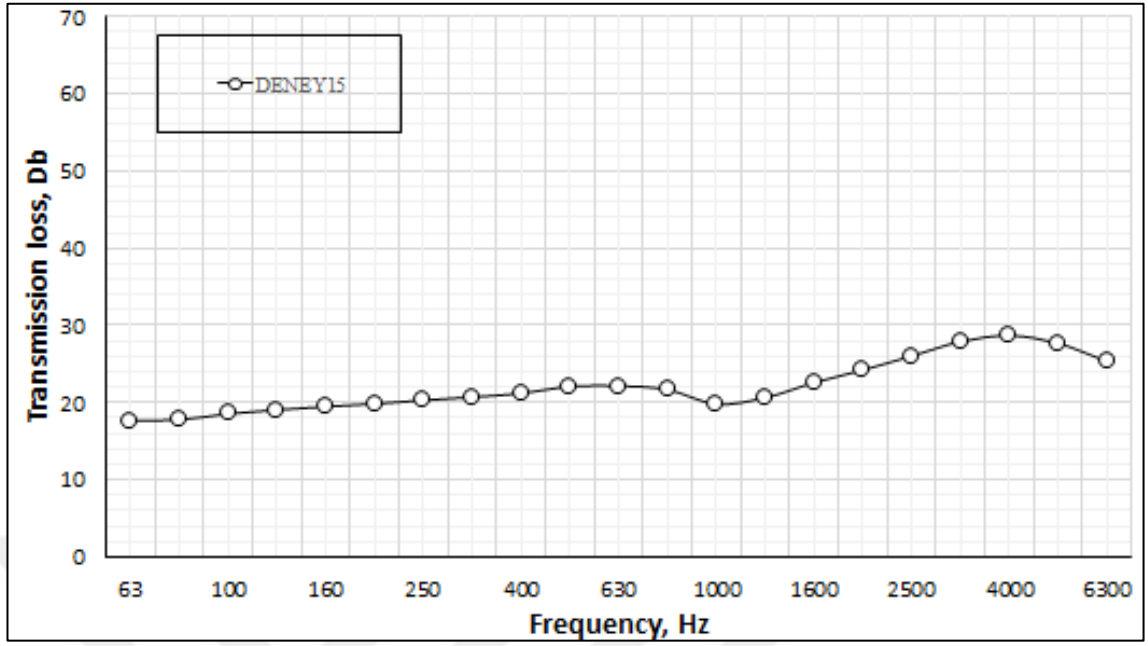
Şekil 3.84. L14 kodlu numuneye ait ses emilim katsayısı eğrisi



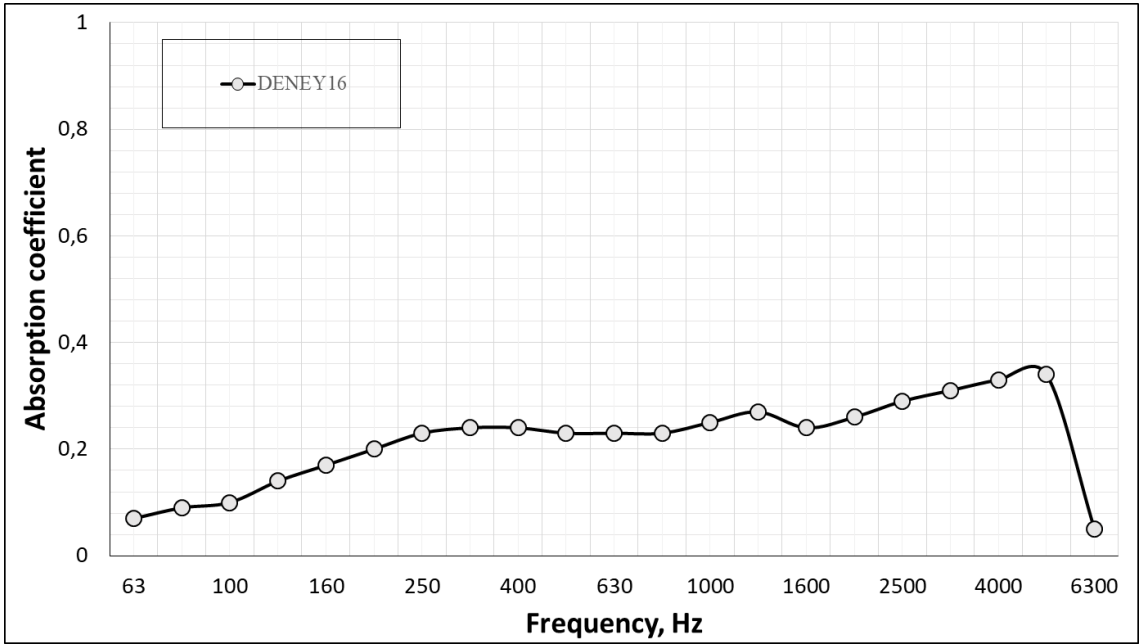
Şekil 3.85. L14 kodlu numuneye ait ses iletim kaybı eğrisi



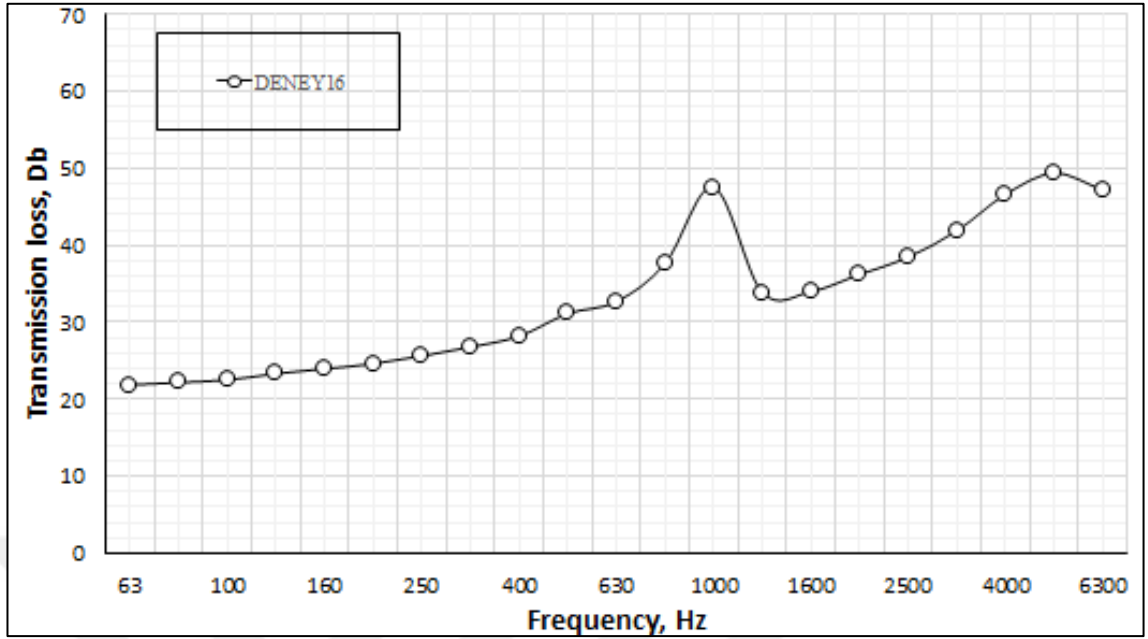
Şekil 3.86. L15 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi



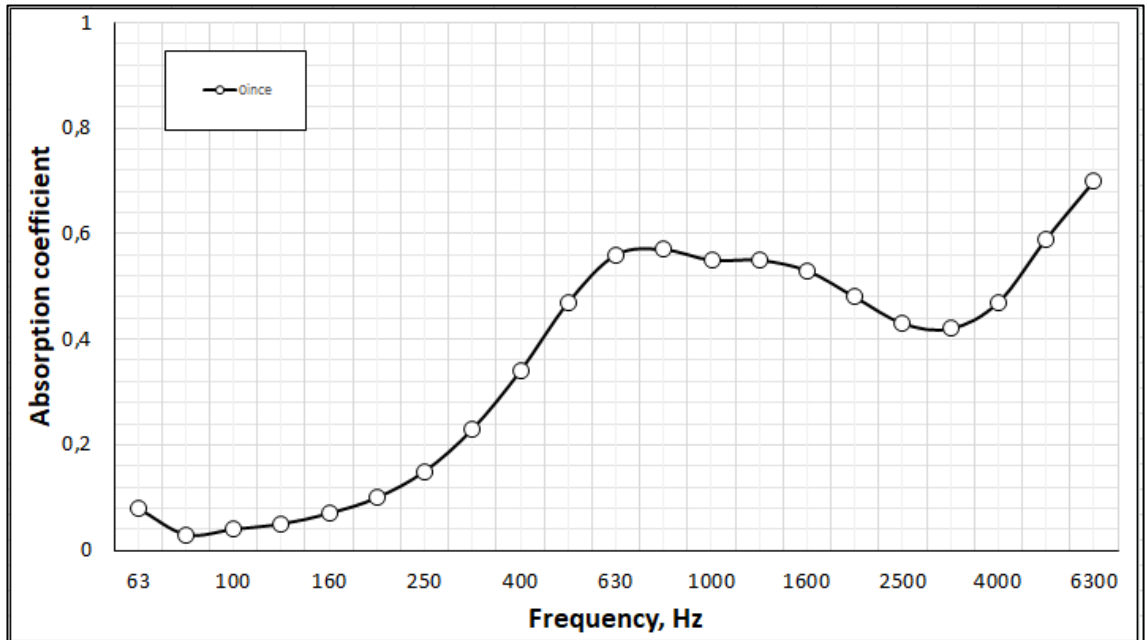
Şekil 3.87. L15 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi



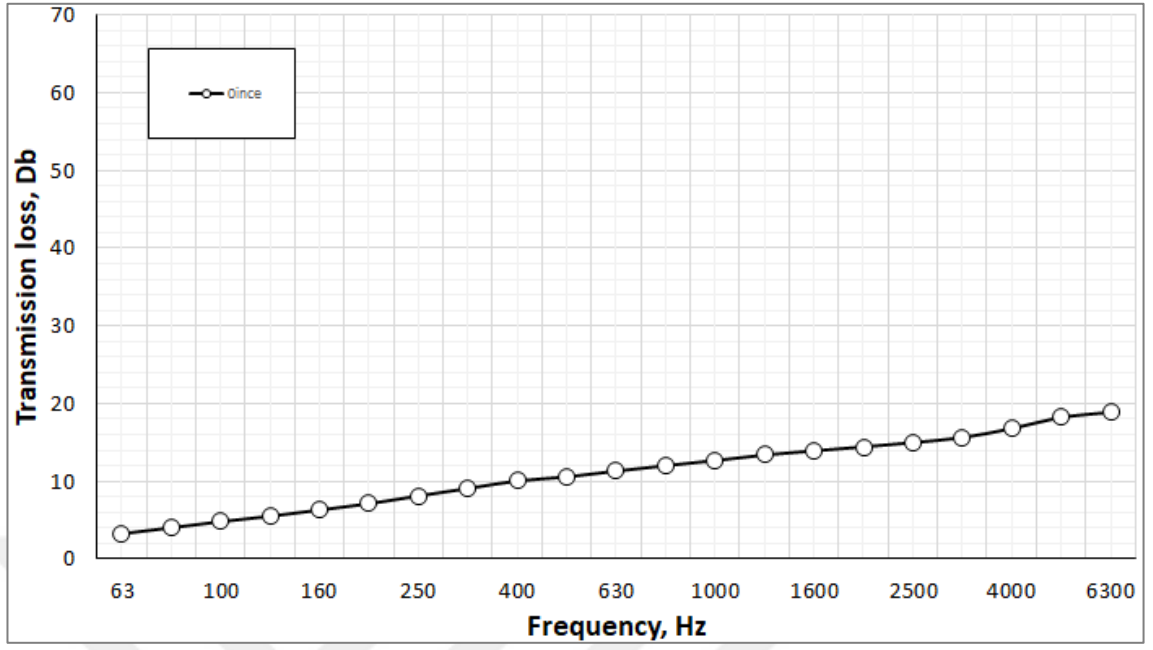
Şekil 3.88. L16 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi



Şekil 3.89. L16 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi



Şekil 3.90. L0 kodlu numunenin ses emilim katsayısı eğrisi



Şekil 3.91. L0 kodlu numunenin ses iletim kaybı eğrisi

4. BÖLÜM

TARTIŞMA ve SONUÇLAR

4.1. Tavuk Tüylerinin Lif Üretimine Hazırlanması

4.1.1. Tüylerin Yıkaması ile İlgili Sonuçlar

Tavuk tüylerinin lif üretimine hazırlanması aşamasında yıkama işleminden sonra tüylerde kalan hoş olmayan kokuyu gidermek amacıyla deneysel yıkamalar yapılmıştır. Farklı programlar üzere gerçekleştirilmiş yıkamalardan önce ve sonra tüyler alınmış numuneler normal ve sıcaklık ortamında ekstrakte edilerek GC-MS analizine tabi tutulmuştur. Analiz sonuçları Tablo 3.1-3,7’de verilmiştir.

Saf su ile yıkanmış tüylerde (Y1 Kod) açığa çıkan uçucu bileşikler Tablo 3.1’ de verilmiştir. Bu tablodan görüldüğü gibi Y1 kodlu yıkama sonrası tüylerin normal şartlarda 72 saat tutulmuş numunesindeki uçuculaşan maddeler esasen yağ asitleridir ki, bunların da önemli kısmını n-Hexadecanoic ve Oktodecanoic asitler oluşturmaktadır. Bu yağ asitleri tüyler üzerinde bulunan yağlardaki hidrolitik değişikliklerin ürünüdür. 80°C sıcaklıkta tutulmuş numunede bu asitlerin miktarı önemli derecede azalmış, karşılığında cis-Vaccenic asit miktarı artmıştır. Diğer taraftan sıcak ortamda tutulmuş numunenin analiz sonuçlarında yağ asitlerinin toplam alanı normal ortamda tutulmuş numune ile karşılaştırıldığında sıcaklık etkisiyle %24,8 oranında azalma göstermiştir. Bu, daha yıkanmamış tüyler üzerinde bulunan diğer maddelerin sıcaklık ortamında yağ asitleriyle katıldıkları reaksiyonlar sonucu uçucu maddelerin bir kısmının uçucu olmayan maddelere dönüşmesinden kaynaklanmaktadır.

NaClO ve noniyonik YAM ile yıkanmış tüylerde (Y2 Kod) kromatografik analiz sonucu açığa çıkan bileşikler Tablo 3.2’de görmek mümkündür.

Tablo 3.2'deki sonuçlara bakıldığında yüzey aktif madde ve NaClO kullanarak gerçekleştirilen yıkama sayesinde tüyler üzerinde bulunan yabancı maddelerin ve yağ asitlerinin büyük çoğunluğunun önemli miktarda azalmış olduğu görülmüştür. Tablo 2'deki sonuçları Tablo 1'deki verilerle kıyasladığımızda kromatogram üzerinde yağ asitlerinin ve diğer maddelerin kaplamış olduğu piklerin toplam alanının nerede ise bin kat azaldığı görülmektedir. Bu, çok kuvvetli bir baz olan sodyum hipokloritin etkisiyle yağ asitlerinin büyük kısmının sabunlaşmasının bir sonucudur. Benzeri reaksiyonlar aminoasitlerle de gitmektedir. Ortaya çıkan OH grupları ortamın pH'nı düşürür, biraz daha kuvvetlenmiş asidik ortamda HClO ve OCI^- ionlarının etkisi ile tüyler üzerindeki yağların hidrolizi devam eder. Sıcaklık etkisi altında tutulmuş numunelerde bazı yağ asitlerinin başka yağ asitlerine dönüştüğü ve gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucu aldehitler gibi yeni bileşenlerin ortaya çıktığı görülmüştür. Bunların dışında bir de doymuş hexadecanoic ve octadecanoic asitlerin metil esterleri ve octadecanoic asidin 2,3-dihydroxypropyl esteri görülmüştür.

Yüzey aktif maddeler bu reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan maddeleri gidermekle tüyleri önemli derecede temizlemiş, ancak kokuya sebebiyet veren maddeleri tam olarak giderememiştir. Y2 kodlu yıkama sonrasında tüylerdeki koku önemli miktarda azalmış durumdadır. Ancak sıcak ortamda oluşan düşük moleküllü aldehitlerden kaynaklı olarak açığa çıkan koku yoğunlaşmaktadır. Söz konusu yöntemle yıkanmış tüylerden elde edilen tavuk tüyü lifleri üzerinde sıcak ortam şartlarında işlem yaparken daha fazla koku çıktığı görülmüştür.

NaClO ve YAM ile yıkanmış tüylerde daha titiz bir temizleme yapmak ve olumsuz kokuları gidermek amacıyla yıkanmış tüylere ozonlama uygulanmıştır. Bu yıkama işlemi Y3 olarak kodlanmıştır ve Tablo 3.3'te bu yıkama sonrası tüylerden alınmış numunelerin GC-MS analizlerinin sonuçları verilmiştir. Bu tablodaki GC-MS analizi sonuçlarına bakarken yağ asitlerinin oluşturduğu piklerin alanlarının ve aynı zamanda bileşikler sayısının oldukça azaldığı net bir şekilde görülmektedir. Bu, yıkama sonrasında kurutulmuş tüylere uygulanan ozonlama işleminin sonucudur. Bu işlem sırasında NaClO ve YAM ile yıkama sonrası kalmakta olan yağların ve yağ asitlerinin oksitleşmesi sonucu uçucu aldehitler ortaya çıkmıştır. Neticede açığa çıkan uçucu bileşiklerin kromatogramdaki toplam pik alanının ozonlama yapılmadan gerçekleştirilen

yıkamaya ait koromatogramdaki bileşiklerin toplam pik alanına oranla 50 kat daha azaldığı görülmektedir (Tablo 3.2 ve Tablo 3.3).

Y4 şeklinde kodlanmış yıkama Y2 kodlu yıkamanın gerçekleştirilmesinden sonra tüylerdeki yağların kalıntısı olan yağ asitlerini nötrleştirmek amacıyla tüylere NaOH çözeltisi ile işlem uygulanmasını öngörmektedir. Yapılan yıkama işlemlerinin sonunda tüylerden alınan ekstraktların GC-MS analizi sonuçları göstermiştir ki, ortaya çıkan koku tüyler üzerindeki yağların yıkama neticesinde hidrolize uğrayarak yağ asitleri oluşturmaya bağlıdır. Bu sonuçlar Tablo 3.4'ten izlenebilir. Tabloda düşük ve yüksek sıcaklıklarda elde edilen numunelere ait kromatogramlar diğer yıkama işlemlerine ait kromatogramlarla karşılaştırıldığı zaman açığa çıkan uçucu bileşenlerin toplam pik alanlarının önemli derecede düştüğü görülmektedir. Kendi içerisinde kıyaslandığı zaman sıcaklık etkisiyle açığa çıkan maddelerin toplam pik alanının normal ortamda ortaya çıkan uçucu maddelerin toplam pik alanından çok da farklı olmadığı görülmektedir. Bu ise sıcaklık etkisi ile tüyler üzerindeki kokunun artmayacağı anlamına gelmektedir. Durum gerçekleştirilmiş işlemlerle doğrulanmıştır.

Y1 kodlu yıkama sonrası tüylere uygulanan polar çözücülerden etanol ile yapılmış işlem Y5 şeklinde kodlanmıştır. Bu uygulamanın ardından elde edilen GC-MS kromatogramları Tablo 3.5'te verilmiştir. Y5 kodlu yıkama işlemi sonucu elde edilen numunelerden normal ortamda alınan ekstrakta yapılan kromatografik analizde ortaya çıkan uçucu bileşiklerin toplam pik alanının Y4 kodlu yıkamaya ait analizdeki sonuçlara yakın çıktığı dikkat çekmektedir. Buna rağmen Y5 ile yapılan yıkama sonucu elde edilen numunelerde sıcaklık etkisiyle uçucu bileşenlerin pik alanının çok arttığı görülmüştür. Bu, etanolle yıkanmış tüylerin düşük sıcaklıklarda nispeten az koku verse de sıcak işlemler zamanı tüylerin kokusunun önemli derecede artacağı anlamına gelmektedir. Bunun gerçekten böyle olduğu görülmüştür.

Y2 kodlu yıkamaya ait işlemlerin ultrason banyosunda gerçekleştirilmesi ile yapılan yıkama Y6 şeklinde kodlanmıştır. Bu proses sonuçlarına ait kromatogramda açığa çıkan uçucu bileşiklerin oluşturduğu piklerin toplam alanı Y2 kodlu yıkamaya ait kromatogramdaki bileşiklerin toplam alanına göre ortalama 50 kat daha azalmıştır (Tablo 3.6). Bununla birlikte sıcak ortamın etkisiyle uçucu maddelerin sayısının azaldığı fakat parçalanmış maddelerin bir kısmının yağ asidine dönüşerek toplam pik alanını az da olsa artırdığı gözlemlenmiştir.

Ultrason banyosunda kimyasal kullanılması ile yıkanan tüylere kurutulduktan sonra ozonla kuru yıkama yapılmıştır. Bu yapılan işlemler toplamı Y7 ile kodlanmış ve uygun kromatografik analiz sonucu elde edilen bileşikler Tablo 3.7’de verilmiştir. Bu tabloya bakıldığında, uçucu bileşiklerin toplam pik alanlarının Y6 kodlu yıkama sonrası yapılan kromatografik analize göre arttığı görülmektedir. Aynı durum sıcaklık ortamında da karşımıza çıkmaktadır. Bunun sebebi ozonun yüksek oksitleştirme kabiliyetine bağlıdır. Büyük ihtimalle ozon, tüyler üzerinde bulunan, ancak yıkama ile uzaklaştırılamayan uçucu olmayan maddelerin bazılarını da parçalayarak uçucu duruma getirmiştir. Bu, ultrasonla yıkamadan sonra ozonlama işleminin durumu olumsuz etkilediği anlamına gelmektedir. Böyle ki, Tablo 3.6 ve Tablo 3.7’ye baktığımızda Y6 ve Y7 kodlu yıkama sonuçları arasında ciddi bir fark olduğu görülmektedir.

Yapılan analizler sonucu gerçekleştirilmiş yıkama işlemleri arasında yıkama sonrasında ortaya çıkan uçucu maddeler açısından en iyi neticenin Y4 yöntemi ile (yani NaClO ve YAM ile yapılmış esas yıkama sonrasında tüylere NaOH çözeltisi ile işlem yapılması ile) elde edildiği görülmüştür. Literatürde birçok araştırmacıların tüylerin yıkanması ve temizlenmesi amacıyla polar çözücülerden etanol kullandığını görmekteyiz. Normal ortam şartlarında NaOH çözeltisi ve etanol ile işlem sonuçları nerede ise aynıdır. Ancak sıcak ortamda tüylere işlem yaparken etanolle yıkanmış tüylerden koku çıktığı görülmektedir. Bütün bunların dışında bu iki yöntemi maliyet ve sanayiye uygulanabilirlik açılarından kıyasladığımızda NaOH kullanımı ile gerçekleştirilen yöntemin daha avantajlı olduğu düşünülmektedir.

4.1.2 ve 4.1.3 bölümlerinde söz konusu yıkama yöntemleri tüylerden üretilmiş liflerin özellikleri açısından kıyaslanmıştır.

4.1.2. Farklı Yöntemlerle Yıkanmış Tüylerin FTIR Analizi Sonuçları

Şekil 3.1a’dan görüldüğü gibi, tüm spektrumlarda karakteristik pikler birbirine benzerdirler ve literatürle karşılaştırılabilir niteliktedirler (Ma ve diğerleri, 2016; Sharma ve diğerleri, 2017). Bu, yıkamanın nasıl yapılırsa yapılsın tüylerin kimyasal yapısını etkilemediğini göstermektedir. Tüm spektrumlar, baskın olarak peptit bağlarına (–CONH) yönelik karakteristik iletim bantları gösterir. Şekilde bunlar Amid A, Amid B, Amid I, Amid II ve Amid III olarak adlandırılmıştır. 3261 cm^{-1} ’lik bir iletim bandının varlığı, OH ve NH gruplarının (Amid A) gerilme titreşimlerini gösterir. 3070 cm^{-1}

iletim bandı, Amid B'yi gösterir. 2923 cm^{-1} bandı, CH_3 grubunun simetrik germe titreşimi ile ilişkilidir. $2800\text{-}1800\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki bantlar, $\text{C}=\text{N}$ bağının titreşimlerine, karboksilik ve amino asitlere bağlanabilir. 1624 cm^{-1} frekanslı güçlü iletim bandı, $\text{C}=\text{O}$ (Amid I) gerilmesine atfedilir. 1512 cm^{-1} iletim bandı, $\text{N}-\text{H}$ bükülmesinin ve $\text{C}-\text{H}$ gerilmesinin (Amid II) sonucudur. 1234 cm^{-1} frekansındaki zayıf bant, CN gerilmesi ve NH bükülmesinin bir türevi olan ve $\text{C}=\text{O}$ bükülmesi ve $\text{C}=\text{C}$ gerilme titreşiminin bir miktar katkısı olan Amid III ile ilişkilidir.

Yıkamamış tüylerin spektrumunun 1737 cm^{-1} frekansında yağ asidi esterinin $\text{C}=\text{O}$ grubunun değerlik titreşimleri izlenebilir (Şekil 3.1b). Bu şeridin varlığı, büyük olasılıkla tüylerin yapısal bileşimi ile ilgili olmayıp tüylerin yüzeyindeki yağ kalıntılarına işaret eder. Özellikle tüylerin NaOH kullanımı ile gerçekleştirilen Y4 kodlu yıkama sonrası karboksilik asitlere atfedilen bantların iletim yoğunluğundaki nispi değişim, yağ asitlerinin ve bunların esterlerinin yanı sıra yağ hidrolizinin bir ara ürünü olan aldehitlerin azaldığını gösterir. Bu yöntemle yıkandıktan sonra, 1700 cm^{-1} 'de $\text{C}=\text{O}$ 'nun değerlik titreşimleri nerede ise ortadan kalkmıştır. 1850 cm^{-1} 'de aldehitlerde bulunan CH grubunun zayıf titreşimleri de ortadan kalkmış durumdadır. Ancak, diğer yıkamaların tüy spektrumlarında gözlemlenmektedirler. Bütün bunlar, NaOH kullanımı ile gerçekleştirilen Y4 kodlu yıkama yönteminin yağ kalıntılarını gidermek açısından daha verimli olduğunu teyit etmektedir. GC-MS analizinin sonuçları da aynı sonuçlara yol açtı.

4.1.3. Farklı Yöntemlerle Yıkamış Tüylerin SEM Analiz Sonuçları

Çalışmada belirlenen hedeflerden biri tavuk tüylerinin yüzey yapısının yıkma sürecinde korunması olmuştur. Liflerin iç yapısının korunması da istenen bir durumdur. Farklı varyantlar üzere yıkanan tüylere ait SEM görüntüleri sırasıyla lifin yüzeyi, lifin orta kısmında en kesiti ve gözeneklerin yapısı olmak üzere alınmıştır.

Saf su ile yıkamış (Y1 kod) tüylere ait SEM görüntüleri Şekil 3.2' de verilmiştir. Yağ ve diğer maddelerin parçacıklarının iyi bir temizleme yapılmadığından tüylerin üzerinde kaldığı görülmektedir. Ancak hiçbir önemli işlem yapılmadığı için tüyleri yapısı orijinal durumunu korumaktadır.

Y2 kodlu yıkama işlemine maruz bırakılmış tüylere ait SEM görüntüleri Şekil 3.3' de verilmiştir. Şekilden liflerin içyapısının bozulmadığı, gözeneklerin etkilenmediği ve liflerin önemli derecede temizlenmiş olduğu görülmektedir.

Y2 kodlu yıkama sonrası ozonlamaya maruz kalmış (Y3 kodlu yıkama) olan tüylerden alınmış SEM görüntüleri Şekil 3.4' de verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü üzere tüylerin iç yapısı ve gözenekleri ozonla yapılmış işlem sonrası belirli oranda etkilenmiştir: gözeneklerin duvarlarındaki büzölmeler ve gözeneklerin küçölmesi bu etkinin sonucudur. Şekil 3.8'de de benzeri sonuçlar görölmektedir. Çünkü Y7 kodlu yıkama ozonlama işlemi içermektedir. Bu işlemler sonucu tüycüklerin üzerindeki çengelciklerin önemli miktarda azaldığı görölmektedir. Şekil 3.8 ile Şekil 3.7'yi kıyasladığımızda liflerin içyapısı açısından benzer görüntülerin ortaya çıkması ultrason etkisinden kaynaklanabilir.

Y2 kodlu yıkamadan sonra NaOH ile işlem gören tüylere (Y4 kod yıkama) ait SEM görüntüleri Şekil 3.5'de, etanol ile işlem gören tüylere ait SEM görüntüleri ise Şekil 3.6'da yer almaktadır. Bu resimlere baktığımızda NaOH ile işlem görmüş tüylerin biraz daha fazla etkilendiğı görölmektedir.

4.1.4. Yıkanmış Tüylerin Mekanik Analiz Sonuçları

Yapılan yıkama işlemlerinin tüy liflerinin mekanik özelliklerine etkisinin ne yönde olduğunu anlamak adına numunelere çekme testi yapılmıştır. Test sonuçları Tablo 3.8'de yer almıştır. Test sonuçlarına göre NaOH ile sonlandırılan yıkama tüy liflerinin mekanik özellikleri açısından en iyi sonucu vermese de sonuçlar yıkanmamış tüylerin mekanik özelliklerinden daha olumsuz değildir.

4.2. TT Materyallerinden Üretilen Biyokompozit Yapılara Ait Sonuçlar

Tavuk tüyünün lif ve sap kısımlarına ayrıştırılması sonrası elde edilen materyallerden biyolojik olarak bozulabilen gözenekli yapılar üretilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik, akustik, yapısal, higroskopik ve termal analizleri gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Tavuk Tüyü Liflerinden Biyokompozit Numunelerinin Üretimi

Tavuk tüylerinden elde edilmiş lif materyalinden kompozit yapılar üretilmiştir. Tüy liflerinden biyolojik olarak bozulabilir kompozitlerin üretimi 2.3.4 bölümünde tasarlanmış olan deney planı üzere gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.9'da üretilmiş numunelerin resmi verilmiştir.

4.2.2. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Yoğunluk Analizi Sonuçları

Üretilmiş numunelerin yoğunlukları Design-Expert programına aktarılmıştır. Design-Expert'te gerçekleştirilmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 3.10 ve Şekil 3.10'da verilmiştir. Bu sonuçlardan görüldüğü gibi faktörlerin sonuç parametreye, yani numunelerin yoğunluğuna etkisi doğrusal karakter taşımaktadır ve karışımdaki lif miktarı etkili değildir. Bu, tavuk tüyü liflerinin özgül ağırlığının çok düşük olmasına bağlıdır.

Şekil 3.10 ve 3.11'e göre karışımda PVA ve sitrik asit miktarının artması kompozitin özgül ağırlığının artmasına yol açmaktadır ve bu doğaldır. Çünkü kompozitin ağırlığı artmaktadır. Yine aynı şekillerden görüyoruz ki, çözelti hazırlanması sırasında kullanılan su miktarının artması kompozitin özgül ağırlığının azalmasına sebep olmuştur. Bunun nedeni su miktarının artmasıyla karışımdaki maddelerin daha iyi çözülmesi ve suyun buharlaştırılmasından sonra daha kompakt bir şekilde yerleşmesidir. Netice olarak kompozitin hacmi azalmış ve bundan dolayı özgül ağırlık artmıştır.

4.2.3. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Yapısal Analiz Sonuçları

Üretilen numunelerde tavuk tüyü liflerinin matris malzemesi içerisinde nasıl dağıldığını görebilmek adına SEM analizi gerçekleştirilmiştir. Numuneler Tablo 2.6' da bahsedilen deney planına göre üretilmiştir. Her bir numuneden alınan SEM görüntüleri Şekil 3.13-3.29 'da verilmiştir. Numunelerin 40X, 1,50 KX ve 10,00 KX oranlarında büyütülmüş görüntüleri elde edilmiştir.

Numunelerden alınmış SEM görüntülerini bu numunelerin içerdikleri lif miktarına göre iki grupta değerlendirmişizdir. İlk gruba dahil ettiğimiz L3, L7, L8, L12, L13, L14, L15, L16 kodlu numuneler 28,02 gr lif içermektedir. Bu numunelerin SEM görüntülerine bakıldığında matris malzemesi içerisinde liflerin belirli bir yön olmadan dağılmış

olduğu görülebilir. En iyi dağılım L12 ve L13 kodlu numunelerde sağlanmıştır. PVA'nın nispeten fazla kullanıldığı numunelerde liflerin birçok durumlarda matris malzeme içerisine tamamen gömülmüş olduğu gözlemlenmektedir. Bu, numunenin mekanik özellikleri açısından iyi olsa da yalıtım özellikleri açısından gözeneklerin tutulmasına neden olduğu için iyi bir sonuç vermeyecektir.

İkinci gruptaki numunelerde dağılımın daha iyi olduğu ve liflerin matris içerisine gömülmediği ortaya çıkmaktadır ki, bu da her halde numunede PVA miktarının daha az olmasına bağlıdır. Bu gruba L1, L2, L6, L9, L10, L11 kodlu numuneler dahildir.

L4 ve L5 kodlu numunelerde sırasıyla 33,65 gr ve 23,65 gr lif kullanılmıştır. SEM görüntülerine göre diyebiliriz ki, lif miktarının artması numunede gözenekliliğin artmasına getirmektedir ve bu da numunenin ısı veya ses yalıtım özelliklerinin iyileşmesini temin edecektir.

Tüm bunları göz önünde bulundurarak tavuk tüyü liflerinin takviye malzemesi olarak kullanıldığı PVA esaslı kompozit üretiminde karışım oranlarının amaca bağlı olarak belirlenmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır.

4.2.4. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Mekanik Analiz Sonuçları

Tavuk tüyü liflerinden üretilmiş biyokompozit numunelerin mekanik özellikleri ölçülmüş, ölçüm sonuçları Tablo 3.11'de verilmiştir. Sonuçlar Design-Expert-11 programına aktarılmış ve istatistiksel analize tabi turulmuştur. Tablo 3.12'de numunelerin kopma mukavemeti için varyans analizi sonuçları, Şekil 3.30 ve 3.31'de ise numune parametrelerine göre kopma mukavemetinin tepki yüzeyi ve kesitleri verilmiştir.

Tablo 3.12'den görüldüğü üzere deney faktörlerinin kopma mukavemetine etkisi parabolik karakter taşımaktadır. Bununla birlikte su, sitrik asit ve lif miktarının ikinci dereceden katsayılarının, ikili etkilerinden ise AB, AD, BD ve CD karışımlarının etkisinin önemsiz olduğu görülmektedir. Kompozitin kopma mukavemetine en çok etki eden faktörün PVA miktarı (A faktörü) olduğu görülmektedir (Şekil 3.30). Etki pozitif karakter taşımaktadır. Yani kompozitteki PVA miktarı arttıkça kompozitin kopma mukavemeti de artmaktadır. Çözelti hazırlarken kullanılan sitrik asit miktarı (C faktörü) PVA miktandan sonra en çok etki eden faktördür. Ancak etkisi negatiftir. Böyle ki,

çözeltideki sitrik asit miktarının artması ile kompozitin kopma mukavemeti düşmektedir. Su miktarının (B faktörü) da etkisi negatiftir. Her halde çözeltide su miktarı ile sitrik asit miktarının artması PVA'nın liflerle olan etkileşimini önemli derecede azaltmıştır. Lif miktarının (D faktörü) kompozitin kopma mukavemetine etkisi önemli ve pozitif karakter taşımaktadır. PVA, su ve sitrik asit miktarının uygun değerler aldığı numunede kompozitin kopma mukavemeti, içerisinde lif olmayan aynı kalınlıkta PVA numunesinin kopma mukavemetinin 7,5 katına çıkabilir (Tablo 3.11).

Tablo 3.13'de numunelerin kopma uzaması için varyans analizi sonuçları verilmiş ve kopma uzamasına deney faktörlerinin etkisini ifade eden modelin ikinci dereceli polinom olduğu ve önemli olduğu görülmüştür. ANOVA tablosundan A, B, AB, AD, BC, CD, A^2 , C^2 ve D^2 katsayılarının sonuç parametreye etkisinin önemsiz olduğu görülmektedir. Ayrı ayrı faktörlerin kompozitin kopma uzamasına etkisi hakkında ise diyebiliriz ki, bu açıdan en etkili parametre negatif etki ile lif miktarıdır. Kompozitteki lif miktarı (D faktörü) arttıkça kompozitin kopma uzaması azalmaktadır. Sitrik asit miktarının (C faktörü) artması ise kopma uzamasının yükselmesine sebep olur. Kompozitteki PVA miktarının (A faktörü) kopma uzamasına etkisi çok da önemli görünmese de negatif karakterlidir. Su miktarının (B faktörü) sonuç parametreye etkisi ise pozitif katsayılı önemli parabolik etkidir. Tablo 3.11'e göre ise üretilmiş yapıların hiç birisi karışimsız PVA kadar yüksek kopma uzaması verememiştir. Design Expert'te bakılmış optimizasyon meselesi de bunu göstermektedir.

Tablo 3.14'de numunelerin kopma gerginliği için varyans analizi sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre tüm faktörlerin kopma gerginliğine etkisi lineer karakter taşımakla birlikte kompozit yapıda lif miktarının (D faktörü) etkisi de önemli değildir. Faktörlerden PVA miktarı (A faktörü) kopma gerginliğine en çok etki eden faktördür ve bu etki pozitif karakter taşımaktadır. Lif miktarının etkisi de önemli olmasa da pozitif karakterlidir. Su miktarı (B faktörü) ile sitrik asit miktarının (C faktörü) etkileri ise negatif karakter taşımaktadır. Benzeri sonuçlar kopma mukavemeti için de alınmıştı ve Tablo 3.11'de L0 numunesi en yüksek kopma mukavemeti ve kopma gerilmesine sahiptir.

Tablo 3.15'de elastikiyet modülü için varyans analizi sonuçları verilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre faktörlerin kompozit yapının elastikiyet modülüne etkisi tam olmayan 2. Dereceden polinomla anlamlı olarak ifade edilmektedir. Yine ANOVA tablosuna

göre D, AB, AD, BD ve CD model üyelereinin sonuç parametreye olan etkisi anlamsız görünmektedir. Şekil 3.36'da PVA ve lif miktarının artması kompozit yapı numunelerinin elastikiyet modülünü artırmakta, su ve sitrik asit miktarı ise azaltmaktadır. Tablo 3.11'e baktığımızda elastikiyet modülü açısından en iyi numunenin yine L4 olduğu görülmektedir.

4.2.5. Termogravimetrik Analiz (TGA) Sonuçları

Elde edilen kompozit yapıların ısı dayanımı, yani bileşimi ve yapıyı yüksek sıcaklıklarda muhafaza etme yeteneği, dinamik bir modda TGA yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

Isı dayanımı için kriter olarak numunenin %10'luk ve %90'lık bir ağırlık kaybına karşılık gelen ilk bozunma sıcaklığı ve tam bozulma sıcaklığı kabul edilmiştir.

Kıyaslama amacıyla lif dolgusuz PVA bazlı yapının termal imhasının termogramı Şekil 3.39'da verilmiştir. Lif içeren kompozit numunelerinin termooksidatif imhasının TG ve DTG eğrileri ise Şekil 3.38'den izlenebilir. Bu eğrileri kıyasladığımızda kompozit yapılarda lif kullanımı ve kullanılan lifin miktarının üretilmiş kompozitlerin ısıl dayanımını etkilediği görülmektedir.

Şekil 3.41'de L1-L4 gurubuna dahil kompozit numunelerine ait TG eğrileri verilmiştir. Bu eğrilerden görüldüğü gibi dört numunenin tamamında ilk derin kütle kaybı 200°C sıcaklığın altında yaşanmaktadır. PVA ve sitrik asit karışımından oluşturulmuş L0 numunesi için bu sıcaklık 126°C teşkil etse de içeriğinde lif olan numuneler için daha yüksektir. Yapıdaki lif miktarının ortalama değere sahip olduğu L3 numunesinde en yüksektir, ancak bu numunede başlangıç kütle kaybı en azdır. Lif miktarının en az olduğu L2 numunesinde daha yüksek, hiç olmadığı L0 numusinde en yüksektir.

Şekil 3.42-Şekil 3.44'de benzer durumlar söz konusudur.

Buradan böyle bir sonuca varabiliriz ki, PVA ve SA çözeltisine tavuk tüyü lifi dahil etmekle ve dahil edilen lif niktarının artmasıyla kompozitin termooksidatif destruksiyonu surasında başlangıç kütle kaybetme sıcaklığı yükselmekte, kütle kaybı ise azalmaktadır.

Bizim elde ettiğimiz TG eğrilerinin tepkime adımlarının anlaşılabilmesi yeterince zordur. Buna göre de DTG eğrilerinin gözden geçirilmesine ihtiyaç vardır.

Şekil 3.45-Şekil 3.48’de üretilmiş kompozit yapılara ait DTG eğrilerinin yer aldığı grafikler verilmiştir. DTG eğrileri maddelerin sıcaklık altında kütle kaybının zamana göre türevinden oluşturulduğu için kütle kaybı hızını ifade etmektedir. Şekil 3.38’de L0 kodlu numunenin DTG eğrisi verilmiştir. Eğri TG eğrisine uygun olarak numunenin kütle kaybı hızını göstermektedir. Eğrilerdeki derinlikler kütle kaybının yoğunlaşması anlamına gelmektedir. Destruksiyonun başlangıç aşamasında PVA-SA karışımından oluşturulmuş yapı destekte olmaya 38°C sıcaklıkta başlamış ve 72°C sıcaklıkta yoğunlaşmıştır. İkinci böyle yoğunlaşma 215°C sıcaklıkta, üçüncüsü 326°C ve dördüncüsü 421°C sıcaklıkta olmuştur. Numunenin destrüksiyon sürecinin ikinci aşamasında kütle kaybı birinciye göre çok büyük bir hızla gerçekleşerek üçüncü ve dördüncü aşamalarda tedricen düşmektedir. Numunelerin tamamında süreç bu şekilde işlemektedir, ancak kütle kaybı hızı ve sıcaklığı üretim parametrelerine göre değişmektedir.

Şekil 3.45’den görüldüğü üzere L1-L4 numunelerine ait DTG eğrileri L0 kodlu numunenin DTG eğrisine benzemektedir. Şekildeki L1 ve L2 kodlu numunelere ait eğrilerden görülmektedir ki, numuneye dahil edilmiş lif miktarının artmasıyla 1. tepkime aşamasında kütle kaybı hızı belirli oranda artarak 2. aşamada azalmakta, 3. Ve 4. aşamalarda nerede ise değişmemektedir. Diğer grafiklerde de aynı kanunauygunluk devam etmektedir.

Şekil 3.41-Şekil 3.44’deki grafiklerdeki eğrilerden görüldüğü gibi deney parametreleri numunelerin kütle kaybını etkilemiştir. Numuneler %10, %50 ve %90 oranında kütle kayıplarını farklı sıcaklıklarda görmüşler. 1. Numune grubundaki L1 ve L2 numuneleri birbirinden sadece içerdikleri lif miktarına göre seçilirler (Tablo 2.6). L3 ve L4 numuneleri ise PVA miktarına göre farklılaşmaktadırlar (yine Tablo 2.6). Şekil 3.40’da bütün numunelerin %10’luk kütle kaybına uygun sıcaklığın L0 numunesine göre sağa doğru kaydığını, yani arttığını görmekteyiz. Tablo 4.1’de tüm numuneler için %10, %50 ve %90 kütle kaybının hangi sıcaklıklarda gerçekleştiğini gösteren tablo verilmiştir.

L2 numunesinde kompozit üretiminin diğer parametrelerinin sabit kalması şartlarında lif miktarının azalması başlangıç ve son kütle kaybı sıcaklıklarının azalmasına getirmiştir. L3 numunesinde ise kompozitteki PVA miktarının L4 numunesine göre fazla olması ters sonuç vermiştir. Bu o demektir, belirli oranda kütle kaybını sağlayan sıcaklıkların

numunelere göre değişmesi kompozitlerin birim hacminde madde miktarına, yani kompozitin yoğunluğuna bağlı değildir.

L1-L4 numunelerinin tamamı L0 numunesinden farklı olarak %90 kütle kaybına ulaşmadan imha olmuştur. İçeriğinde lif oranı en düşük olan L2 numunesi daha düşük sıcaklıkta; 513°C’de, PVA oranı en yüksek olan L4 numunesi ise 534°C’de kömürleşmiştir. Tüm diğer üretim şartlarının aynı olup sadece numunedeki PVA miktarının değişmesinin aynı olduğu L11 ve L12 numunelerinin termogramlarına baktığımızda yine PVA miktarının azalmasının yapının kütle kaybı sıcaklıklarının ve imha sıcaklığının yükselmesine getirdiğini görebiliriz (Şekil 3.43).

Tablo 4.1. Numunelerin %10, %50 ve %90 kütle kaybının gerçekleştiği sıcaklıklar

Numune kodu	%10 kütle kaybı sıcaklığı, °C	%50 kütle kaybı sıcaklığı, °C	%90 kütle kaybı sıcaklığı, °C	Kayıtlar
L0	156	303	462	
L1	172	316	533	533°C’de %88 kütle kaybı ile imha olmuştur
L2	168	321	513	513°C’de %86 kütle kaybı ile imha olmuştur
L3	197	358	530	530°C’de %83 kütle kaybı ile imha olmuştur
L4	181	336	534	534°C’de %88 kütle kaybı ile imha olmuştur
L5	177	331	534	534°C’de %88 kütle kaybı ile imha olmuştur
L6	186	346	534	534°C’de %88 kütle kaybı ile imha olmuştur
L7	180	336	575	575°C’de %89 kütle kaybı ile imha olmuştur
L8	177	341	530	530°C’de %87 kütle kaybı ile imha olmuştur
L9	182	343	509	509°C’de %90 kütle kaybı ile imha olmuştur
L10	168	303	585	585°C’de %89 kütle kaybı ile imha olmuştur
L11	183	350	555	555°C’de %90 kütle kaybı ile imha olmuştur
L12	202	371	600	600°C’de %89 kütle kaybı ile imha olmuştur
L13	177	328	626	526°C’de %88 kütle kaybı ile imha olmuştur
L14	182	350	550	550°C’de %88 kütle kaybı ile imha olmuştur
L15	171	318	563	563°C’de %87 kütle kaybı ile imha olmuştur
L16	164	310	500	500°C’de %89 kütle kaybı ile imha olmuştur

4.2.6. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin FTIR Analizi Sonuçları

PVA ve sitrik asit arasında çarpaz bağlar oluştuğunu, bu maddelerin TTL ile bağ yapıp yapmadığını görebilmek için üretilmiş olan biyokompozit numunelerinin FTIR eğrileri alınmıştır. Şekil 3.49'da numunelerin FTIR eğrilerinin bir araya getirilmiş resmi verilmiştir. L0 kodlu numune içeriğinde lif olmayan PVA ve sitrik asit ile üretilmiş numunedir.

Şekilde 3500-3200 bant genişliği bölgesi -O-H ve -N-H (amid A) gruplarının gerilme titreşimine atfedilir (Pavia ve ark., 2014). 3287-2611 cm^{-1} frekans aralığı yapıda bulunan C-H, O-H, N-H bağlarını ifade etmektedir. 3000-2800 cm^{-1} aralığındaki bant genişliği -CH₃ simetrik germe titreşimi ile ilişkilidir (Edwards ve ark., 1998). 1650-1750 cm^{-1} frekans aralığı =CH, -C=C, -C=O bağlarına, 1700-2000 cm^{-1} aromatik bileşiklere, 1600-1700 cm^{-1} aminlere, 1450-1550 cm^{-1} frekans CH₂, 1300-1450 ve 2650-300 CH₃ bağlarına denk gelmektedir.

1700 bandı çarpaz bağlayıcı olarak kullanılan sitrik asitin karakteristik karboksil grubuna sahip asit kökündeki karbonil gruplarını temsil etmektedir. L3 kodlu numune, L4, L5, L8, L12, L13, L15 ve L16 numunelerin 1700-1600 frekans aralığında karbonil gruplarında pik kaymaları gerçekleşmiştir. Bu durum sitrik asitin PVA ile etkileşim içinde olduğunu göstermektedir.

Güçlü iletim bandı 1700-1600 cm^{-1} aralığında meydana gelen C=O grubunun (I amid) gerilmesi ile açıklanır (Sharma ve ark., 2017). 1580-1480 cm^{-1} aralığındaki geçiş bandı (II amid), N-H bükme ve C-H germeyi ifade etmektedir (Eslahi ve ark., 2013). Kompozit dışında serbest tavuk tüylerinde yeterince kuvvetli olan bu bandın zayıflamış olması tüy liflerinin diğer bileşenlerle etkileşimin bir sonucu olmalıdır. 1300-1220 cm^{-1} aralığındaki zayıf bant C-N gerilmesi ve N-H eğilmesinin bir türevi olan III amid ile ilişkilidir (Vasconcelos ve ark., 2008). Sonucu pikin şekil değiştirmesi de bizce bir etkileşim sonucudur. Bu pikler (I amid, II amid ve III amid) TTL ile ilgilidir.

Bütün bunlar PVA, sitrik asit ve tüy liflerinin etkileşim içerisinde olduğunu göstermektedir.

4.2.7. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Isıl Analiz Sonuçları

Üretilmiş numuneler 0°C, 10°C, 20°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta ölçülmüş olup ısı iletkenlik katsayılarının değerleri Tablo 3.16'da yer almaktadır. Deney planı üzere üretilmiş numunelerin kalınlıklarını da dikkate alabilmek için kompozit numunelerin ısı direnç değerleri hesaplanmış (Tablo 3.17) ve Şekil 3.51'de numunelerin sıcaklığa bağlı olarak ısı direnç değişim eğrileri verilmiştir.

Şekil 55'den görüldüğü üzere üretilen numunelerin ortam sıcaklığına bağlı olarak ısı direnç değerlerinin değişim karakteri neredeyse aynıdır. Belirlenmiş deney alanında ortam sıcaklığının artmasıyla numunelerin ısı direncinin düştüğü görülmektedir. Tüm durumlarda L11 kodlu numune en yüksek, L1 kodlu numune ise en düşük ısı direncine sahiptir.

Üretilmiş biyokompozit numunelerin ısı direnç değerleri Design-Expert-11 programına aktarılmış ve istatistiksel analize tabi tutulmuştur. Tablo 3.18'de 0°C, 10°C ve 20°C sıcaklıklarda numunelerin ısı direnci için varyans analizi sonuçları verilmiştir. Tablodan görüldüğü üzere her üç sıcaklık için elde edilmiş modeller tam olmayan kuadratik modeller olarak anlamlıdır, uyum istatistikleri kabul edilebilir niteliktedir. Diğer bir deyişle deneylerde gürültü oranı yüksek değildir. Tablodan görüldüğü gibi her üç sıcaklık durumunda numunelerin ısı direncine suyun ve sitrik asit miktarının lineer etkisi ve sitrik asitle kompozitteki lif miktarının karışık etkilerinin dışında diğer model katsayıları önemli değildir. Kompozitte PVA miktarının ısı direncine olan etkisinin önemli olmayacak kadar düşük olması dikkat çekmektedir.

Şekil 3.52 - 3.57'de farklı sıcaklıklarda numune parametrelerine göre numunelerin ısı direncinin tepki yüzeyi ve kesitleri verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi her üç sıcaklıkta numunelerin ısı direncine etki eden en önemli parametre çözelti hazırlanmasında kullanılan su miktarıdır. Çözelti hazırlanması sırasında kullanılan su sonra malzemedeki kenarlaştırılacağı için onun etkisi büyük ihtimalle malzemenin gözenekli iç yapısını ısı direnç açısından olumlu bir şekilde düzenlemesiyle bağlıdır. Çözeltilerin hazırlanmasına kullanılan su miktarının artması ile numunelerin ısı direnci artmaktadır.

Malzemenin ısı direncine en az etki eden parametre kompozite dahil edilen PVA miktarıdır. Grafiklerden görüldüğü gibi düşük sıcaklıklarda az da olsa negatif karakterli

bir etki hissedilmektedir. Ancak bu etki sıcaklığın artmasıyla azalarak tamamen yok olmaktadır.

Çözeltide çarpaz bağlayıcı olarak kullanılan sitrik asit miktarı numunelerin ısıl direncine önemli derecede etki eden ikinci parametredir. Etki negatif karakterlidir, yani sitrik asit miktarının artması numunelerin ısıl direncinin düşmesine neden olmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla bu etki hissedilemeyecek derecede azalma eğilimindedir.

Kompozite dahil edilmiş lif miktarının kompozit örneklerinin ısıl direncine pozitif bir etkisi vardır. Bu etki büyük ihtimalle malzeme içerisinde gözenekli içyapı oluşturmada liflerin pozitif iştirakine bağlıdır. Sıcaklığın artmasıyla lif miktarının numunenin ısıl direncine olan etkisi önce bir azalma, sonra ise artma göstermektedir.

4.2.8. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Hava Geçirgenliği Sonuçları

Üretilmiş numunelerin üç tekrarlı olmak üzere hava geçirgenlik değerleri ölçülmüş olup ortalama hava geçirgenlik değerleri Tablo 3.19’da verilmiştir. Design-Expert 11 programı ile üretilmiş numunelerin hava geçirgenlik değerlerinin varyans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 3.20’de yer almıştır. Tablodan görüldüğü gibi model katsayılarının tamamı önemsiz olmuştur.

4.2.9. Üretilmiş Biyokompozit Numunelerinin Akustik Ölçüm Sonuçları

Liyofilizasyon yöntemiyle üretilmiş numunelerin empedans tüpünde akustik özelliklerinden ses yutma katsayısı ve ses iletim değerleri ölçülmüştür. Deney planına göre üretilmiş kompozit numunelerinin ses yalıtım özelliklerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Örneklerin ses emilim katsayısının ve ses iletim kaybının ses frekansına göre değerleri Şekil 3.58-3.91 arasında grafik halinde verilmiştir. Grafikler göstermiştir ki, üretilmiş numunelerin ses yalıtım özellikleri yüksek değildir. Tekstil malzemelerinin yüksek frekansta ses yutumlarının yüksek olduğu göz önünde bulundurulursa deney planında orta frekanslar için (1000-5000 frekans) en iyi ses yutum değerinin L13 kodlu numunede elde edildiği, bunun sebebi olarak muhtemelen L13 kodlu numunedeki su miktarının en yüksek seviyede olmasıdır. Su miktarının artması kompozitteki gözenek ve gözenek boyutlarını belirlediği düşünülürse ses yutumu için belirleyici olduğu düşünülebilir.

Ses iletim kayıplarına bakıldığında üretilen numunelerin ses iletim kaybı değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. En iyi ses iletim kaybı değeri L16 kodlu numunede elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak matris malzemesi olarak kullanılan PVA'nın tüylerin gözeneklerini kapatmaması olarak düşünülebilir. En düşük ses iletim kaybı değerinin L10 kodlu numunede elde edilmiştir.



5. BÖLÜM

GENEL SONUÇLAR

Tez çalışması kapsamında tavuk tüylerini kullanarak biyolojik olarak bozunabilir gözenekli ve farklı kalınlıklara sahip kompozit yapılar üretilmesi ve bu yapıların özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

1. Tavuk tüylerinin kullanım alanında kısıtlayıcı özellik gösteren kokuya sebep olan maddeler tespit edilip, giderilmesi yönünde çeşitli yıkamalar gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında yapılan çalışmalarla yıkama sonrasında tüylerde kalan koku problemini aradan kaldıracak yıkama yöntemi geliştirilmiştir.
2. Kompozit üretimi için çözelti hazırlama ve kalıplama tekniği seçilmiş, nihai ürün elde etmek için liyofilizasyon yöntemi tercih edilmiştir.
3. Üretilecek yapılar için takviye malzemesi olarak tavuk tüyü lifi, matris malzemesi olarak suda çözülebilir polivinil alkol tercih edilmiştir. Üretim yöntemi ve malzeme içerikleri tezin ilgili kısımlarında belirtilmiştir.
4. Tez çalışmasındaki deneyler planlanırken deneysel tasarım gerçekleştirilmiştir. Kompozit numuneleri üretim parametrelerinin kompozitin özelliklerine etkisini görebilmek adına Design-Expert 11 programından yararlanarak çok faktörlü deney planı tasarlanmıştır. Numuneler bu plan üzere üretilmiş ve uygun standartlara dayanarak test edilmiştir.
5. Elde edilen sonuçlar yorumlanmış, üretim faktörlerinin üretilmiş kompozitlerin özelliklerine etkileri ortaya çıkarılmıştır.

KAYNAKLAR

- Agnihotri, S., Mukherji, S. 2012. Antimicrobial chitosan–PVA hydrogel as a nanoreactor and immobilizing matrix for silver nanoparticles. **Applied Nanoscience**, 2(3):179-188.
- Ahlatcı, H., Candan, E., Çimenoglu, H. 2003. %60 SiC-Al kompozitlerin aşınma davranışına SiC partikül boyutunun etkisi. **İTÜ Dergisi/d Mühendislik**, 3:37-42.
- Akar, Y.2019. Polivinil Alkol Katkılı Na-Bentonit Kompozitlerin Yapısal, Termal ve Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 96s.
- Alias, N.F., İsmail, H. 2020. Influence of filler loading on properties of polyvinyl alcohol and eggshell powder biocomposite, **폴리머**, 45(2):191-199.
- Ali, M. E., Yong, C. K., Ching, Y. C., Chuah, C. H., Liou, N. S. 2015. Effect of single and double stage chemically treated kenaf fibers on mechanical properties of polyvinyl alcohol film. **BioResources**, 10(1): 822-838.
- Alonso, R.S., Sanches, R., Marciccano, J.J.P. 2013. Chicken feather- study of physical properties of textile fibers for commercial use. **Textile and Fashion Technology**, 3(2): 29-38s.
- Anonim, 2016. (internet: <http://www.turkchem.net/kompozit-malzemeler-ve-ozellikleri.html>), (Erişim tarihi 26/04/2021).
- Anonim, 2018. Kompozit malzemeler ile ilgili genel bilgiler ders notları, (https://kisi.deu.edu.tr/mehmet.zor/composite%20materials/2-Genel_bilgiler.pdf), (Erişim tarihi: 26/04/2021).
- Anonim, 2018a (<https://pagev.org/termoplastikler>), (Erişim tarihi 26/04/2021).
- Anonim, 2018b. Karbon fiber elyaf pultrüzyon borular nasıl üretilir. (<https://www.kompozitshop.com/karbon-fiber-elyaf-pultrüzyon-borular-nasil-uretilir>), (Erişim tarihi: 01.05.2021).
- Anonim, 2021a (<https://debis.deu.edu.tr/userweb/mehmet.aktas/Kompozit%20Malzemeler/Ders%20%203/3.pdf>), (Erişim tarihi:02.05.2021).

- Anonim, 2021b. (internet: <http://kompozithayalleri.com/matris-nedir>),(son erişim tarihi: 26/04/2021).
- Anonim, 2021c. (<http://en.wikipedia.org/wiki/Elastomer>),(Erişim tarihi: 26/04/2021).
- Aranberri, I., Montes, S., Wesolowska, E., Rekondo, A., Wrzesniewska-Tosik, K.2019. Improved thermal insulating properties of renewable polyol based polyurethane foams reinforced with chicken feathers, **Polymer Science**, **11**(12): 2-16.
- Arunkumar, C., Megwal, H.S., Borkar S.P., Bhongade, A.L., 2013. Recycling of chicken feather and wool fibre waste into reinforced multilayer composite - a review, Technical textile, **Journal Of The Textile Association**, 2: 371-378.
- Aslam, M., Kalyar, M.A., Raza, A.Z. 2018. Polyvinyl alcohol: a review of research status and use of polyvinyl alcohol based nanocomposite, **Polymer Engineering and Science**, **58**(12): 2119-2132.
- Avcı, B., Bağış, C., Yıldızcı, E.Ş., Bozkurt, F., Başboğa, İ.H., Mengeloğlu, F. 2015. Çapraz bağlama pva esaslı biyobozunur kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine etkisi, **Selçuk-Teknik Dergisi**, **14**(2): 988-996.
- Aydın, M.R. Acar, V. Yapıcı, F. Yıldız, K. Topçu, M.V. Gündoğdu, Ö.,2018. Inter-ply hibrit kompozit yapılarda elyaf diziliş sıralamasının mekanik ve dinamik özelliklere etkisi. **Iğdır University Journal of the Institute of Science and Technology**, **8**(3): 255-263.
- Bana, R., Banthia, A. K. 2007. Green composites: development of poly(vinly-alcohol)-wood dust composites, **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, **46**: 821–829.
- Bayraktar, Ö. 2016. Ön Gerilimli Karbon Elyaf Takviyeli Kompozit Üretimi İçin Sistem Tasarımı, İmalatı ve Kompozit Malzeme Üretimi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 107s.
- Bharat, K,N., Basavarajappa S.,2016. Applications of biocomposite materials based on natural fibers from renewable resources: a review. **Science Engineering Of Composite Materials**. **23**(2): 123–133.
- Beşergil, B., 2016. Kompozitler Temel İlkeler Test Metotları. Gazi Kitabevi, İlksan Matbaası, Ankara, 730 s.

- Bülbül, B.,2020, Al-Ni/GO ve Al-Ni/TiO₂ Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Üretilmesi ve Karakterizasyonu, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Batman,117s.
- Carruthers, J. 2018. What is compressing moulding, (<https://coventivecomposites.com/explainers/compression-moulding>), (Erişim tarihi: 01.05.2021).
- Chang, B.P., Mohanty, A.K., Misra, M., 2020. Studies on durability of sustainable biobased composites: a review. **The Royal Society Of Chemistry**, **10**: 17955-17999.
- Choudary, R. B., Krishna, N. N., Bhargava, N. R. M. R. 2018. Study on cff-polyester composites. **Materials Today: Proceedings**, **5**(2): 8514-8522.
- Choudary, R. B., Nehanth, R. 2019. Effects of fibre content on mechanical properties of chicken feather fibre/pp composites. **Materials Today: Proceedings**, **18**: 303-309.
- Çavuşoğlu, J.2009. Surface Modification of Polyvinyl Alcohol Films by Functionalized Soybean Oil Triglycerides, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Master thesis, İstanbul, 80p.
- Daran, Y. 2016. Kompozit Plakalarda Farklı Tabaka Sayısı, Farklı Yapı ve İstifleme Sırasına Bağlı Optimum Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir,101s.
- Dinkçi, H. 2020. Vakum torbalamada basınç değişkeninin karbon elyaf matrisli epoksi yapılarda estetik ve mekanik özelliklere etkisi. **Uluslararası Bilim, Teknoloji ve Tasarım Dergisi**, **1**(1):1-21.
- Durgun, İ. 2014. Vakum İnfüzyon Yöntemi ile Kompozit Parça Üretimi. *Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, 26-27.
- Edwards H, Hunt D, Sibley M. 1998. FT-Raman spectroscopic study of keratotic materials: horn, hoof and tortoiseshell. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, **54**(5):745.
- Erdal, M. İpek, H. ŞAŞ, H.S. 2009. İleri kompozit malzemelerin reçine transfer kalıplama yöntemiyle üretiminde kalıp içi reçine akışının modellenmesi. **Makina Tasarım ve İmalat Dergisi**,**11**(1): 22-33.

- Eslahi N, Dadashian F, Nejad NH. 2013. An investigation on keratin extraction from wool and feather waste by enzymatic hydrolysis. **Preparative Biochemistry and Biotechnology**, **43**(7): 624.
- Farhad, A., Sahadat, H., Tanvir, S, M., Samina, A., Sarwaruddin, C. 2021. Physico-mechanical properties of treated chicken feather -reinforced unsaturated polyester resin based composites, **Nano Hybrids and Composites**, **32**: 73-84.
- Gholamali, I., Asnaashariisfahani, M., Alipour, E.2020. Silver nanoparticles incorporated in pH-sensitive nanocomposite hydrogels based on carboxymethyl chitosan-poly (vinyl alcohol) for use in a drug delivery system. **Regenerative Engineering and Translational Medicine**, **6**(2): 138-153.
- Işık, A. 2008. Kompozit Malzemedен İmal Edilmiş Bir Takviye Elemanının Eğilme ve Burulma Yüğü Altında Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,102s.
- Kaya, Ali İhsan, 2016. Kompozit malzemeler ve özellikleri. **Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi**, **29**: 38-45.
- Kocatepe, S., 2015. Kuş Tüylerinden Tekstil Amaçlı Protein Esaslı Materyaller Üretiminde Hazırlık İşlemleri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 138s.
- Kocatepe, S., 2019. Tavuk Tüyü Liflerinden Ses Yalıtım Amaçlı Dokusuz Yüzey Yapılarının Geliştirilmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri, 230s.
- Kocatepe, S., Erol, M., Paşayev, N. 2018. Tavuk tüyü liflerinden kimyasal bağlama yöntemi ile üretilmiş ses yalıtım malzemelerinin akustik özelliklerinin değerlendirilmesi. 1. *International Technological Sciencesand Design Symposium*, Giresun, Turkey.
- Krstić, J., Spasojević, J., Radosavljević, A., Šiljegović, M., & Kačarević-Popović, Z. 2014. Optical and structural properties of radiolytically in situ synthesized silver nanoparticles stabilized by chitosan/poly (vinyl alcohol) blends. **Radiation Physics and Chemistry**, **96**:158-166.
- Loganathan, M., Dinesh, S., Vijayan, V., Ranjithkumar, M., Rajkumar, S. 2020. Experimental Investigation of Tensile Strength of Fiber Reinforced Polyester by

- Using Chicken Feather Fiber, **Journal of New Materials For Electrochemical Systems**, 23(1): 40-44.
- Ma B, Qiao X, Hou X, Yang Y. 2016. Pure keratin membrane and fibers from chicken feather. **International Journal of Biological Macromolecules**, 89: 614-621.
- Marten, F.L., “Vinly Alcohol Polymers” Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, John Wiley, Sons Inc., 1-16 (2000).
- Mazumdar, S.K., 2002. Composites Manufacturing: Materials, Product, and Process Engineering, CRC Press, Boca Raton, FL.
- McKittrick, J., Chen, P. Y., Bodde, S. G., Yang, W., Novitskaya, E. E., & Meyers, M. A. (2012). The structure, functions, and mechanical properties of keratin. **Jom**, 64(4): 449-468.
- Meriç, A, B. 2009. Pultrüzyon Yöntemiyle Ctp Üretimi ve Üretim Parametrelerinin Malzeme Nihai Özelliklerine Etkisi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 112s.
- Nowruzi, R., Heydari, M., Javanbakht, V. 2020. Synthesis of a chitosan/polyvinyl alcohol/activate carbon biocomposite for removal of hexavalent chromium from aqueous solution, **International Journal of Biological Macromolecules**, 147: 209-216.
- Paşayev, N. 2017. Fiber production from chicken feather with industrial method. **Bulletin of The Kyiv National University of Technologies and Design**, 110(3): 10-112.
- Paşayev, N., Tekoğlu, O., & Kocatepe, S. 2018. The Use of Chicken Feather Fibers as Insulation Material For Winter Top Clothing . ICENS 2018 (pp.41-46). Kiev, Ukraine.
- Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., & Vyvyan, J. A. 2014. *Introduction to spectroscopy*. Cengage learning.
- Peng, H., Wang, S., Xu, H., Hao, X. 2017. Preparation, properties and formation mechanism of cellulose/polyvinyl alcohol bio-composite hydrogel membranes, **New Journal of Chemistry**, 41(14): 6564-6573.
- Reddy, N., Yang, Y. 2007. Structure and Properties of Chicken Feather Barbs As Natural. **Journal of Polymers and The Enviroment** 15: 81-87s.

- Reddy, N., Chen, L., & Yang, Y. 2013. Biothermoplastics from hydrolyzed and citric acid crosslinked chicken feathers. **Materials Science and Engineering**, 33(3): 1203-1208.
- Prochon, M., Dzeikala, O. 2021. Biopolymer composites as an alternative to materials for the production of ecological packaging, **Polymers**,13(592): 1-19.
- Ouakarrouch, M., El Azhary, K., Laaroussi, N., Garoum, M., & Kifani-Sahban, F. 2020. Thermal performances and environmental analysis of a new composite building material based on gypsum plaster and chicken feathers waste. **Thermal Science and Engineering Progress**, 19: 100642.
- Sabarish,P., Unnikrishnan, G. 2018. Polyvinyl alcohol/carboxymethyl cellulose/ZSM-5 zeolite biocompositemembranes for dye adsorption applications, **Carbohydrate Polymers**, 199:129-140.
- Saravanan K., 2012. Exploration on amino acid content and morphological structure in chicken feather fiber. **Journal of Textile and Apparel Technology and Management**, 7(3):1-6.
- Sari, Nasmi Herlina, Suteja, 2021. Polimer Termoset. Penerbit Deepublish, Sleman (Yogyakarta), 231s.
- Sharma, S., Gupta, A., Chik, S. M. S. T., Kee, C. Y. G., Podder, P. K., Subramaniam, M., Thuraisingam, J. 2017. Study of different treatment methods on chicken feather biomass. **IIUM Engineering Journal**, 18(2), 47-55.
- Sharma S., Gupta A., Saufi S.M., Kee C.Y.G., Podder P.K., Subramaniam M., Thuraisingam J. 2017. **IIUM Engineering Journal**, 18(2): 47-55.
- Sreenivasan, D. P., Sujith, A., & Rajesh, C. 2019. Cure characteristics and mechanical properties of biocomposites of natural rubber reinforced with chicken feather fibre: Effect of fibre loading, alkali treatment, bonding and vulcanizing systems. **Materials Today Communications**, 20: 100555.
- T.S. Gaaz, A.B. Sulong, M.N. Akhtar, A.A. Kadhum, A.B. Mohamad, and A.A. Al-Amiery. 2015. Properties and applications of polyvinyl alcohol, halloysite nanotubes and their nanocomposites, **Molecules**, 20: 22833-22884.
- Turgut,T., Kayran,A., Alemdaroğlu N. 2007. Vakum torbalama yöntemi ile kompozit malzemedan yapı üretimi örnek bir havacılık uygulaması. **Mühendis ve Makine Dergisi**, 48(566): 14-21.

- Oluba, O. M., Osayame E., Shoyombo, A. O., 2021. Production And Characterization Of Keratin-Starch Bio-Composite Film From Chicken Feather Waste And Turmeric Starch, **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, **33**: 101996.
- Özder C. 2016. Titanyum Dioksitin Polivinil Alkol(PVA) Esaslı Biyobozunur Kompozit Filmlerin UV-Yaşlanma Üzerine Etkisi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli,65s.
- Özkan, S., Demir, F. 2020. The hybrid effects of PVA fiber and basalt fiber on mechanical performance of cost effective hybrid cementitious composites, **Construction and Building Materials**, **263**: 120564.
- Ozmen, U., Baba, BO. 2017. Thermal characterization of chicken feather/pla biocomposites, **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, **129**(1): 347-355.
- Uppalapati, G., Gunji, S., Malkapuram, R. 2020. Morphological characterization of chicken feather rachis, neem sawdust, and high density polyethylene (hdpe) reinforced composite material, **Annales De Chimie-Science Des Materiaux** ,**44**(6): 399-406.
- Uslu, H. 2010. Au/(Co, Zn-Katkılı) Polivinil Alkol/N-Si Schottky Engel Diyotlarının Hazırlanması ve Elektriksel Özelliklerinin Aydınlatma Şiddetine Bağlı İncelenmesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara,126s.
- Vasconcelos, A., Freddi, G., Cavaco-Paulo, A. 2008. Biodegradable materials based on silk fibroin and keratin. **Biomacromolecules**, **9**(4): 1299-1305.
- Verma, A., Negi, P., Singh, VK. 2018. Experimental Analysis on Carbon Residuum Transformed Epoxy Resin: Chicken Feather Fiber Hybrid Composite, **Materials Science; Polymer Science**, **40**(7): 2690-2699.
- Yan, J., Li, M., Wang, H., Lian, X., Fan, Y., Xie, Z., Niu, B., Li, W. 2021. Preparation and property studies of chitosan-PVA biodegradable antibacterial multilayer films doped with Cu₂O and nano-chitosan composites, **Food Control**, **126**: 108049.
- Jaya, H., AbdulKadir, H. K., Noriman, N. Z., Omar, S. D., Mazelan, A. H., Latip, N. A., Aini, A. K. 2018. The influences of chicken feather loading on tensile and physical properties of r-hdpe/eva/cff composites, **Materials Science and Engineering**, **454**(1): 012190.

- Yetilmezsoy, K., 2008. Tavuk Çiftliği Atıklarının Havasız Çamur Yataklı Reaktörde Arıtılabilirliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 235s.
- Zanela, J., Casagrande, M., Reis, M.O., Grossmann, M.V.E., Yamashita, F. 2017. Biodegradable sheets of starch/polyvinyl alcohol (PVA): effects of pva molecular weight and hydrolysis degree, **Waste Biomass Valor**, **10**: 319–326.
- Zhan, M., Wool, R.P., 2011. Mechanical properties of chicken feather fibers. **Polymer Composites**, **32**(6): 937–944.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Zübeyde ARABACILAR

Uyruğu: Türkiye (TC)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı	2021
Lisans	Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği	2018
Lise	Behice Yazgan Kız Anadolu Lisesi	2013

YABANCI DİL

İngilizce