

**T.C.  
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT SERT POLİÜRETAN  
KÖPÜKLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
İYİLEŞTİRİLMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan  
Hâle ASLANTAŞ**

**Danışman  
Doç. Dr. Bilal DEMİREL**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi  
tarafından FYL-2018-8082 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Ocak 2020  
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.

Adı ve Soyadı: Hâle ASLANTAŞ

İmza:



## YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI

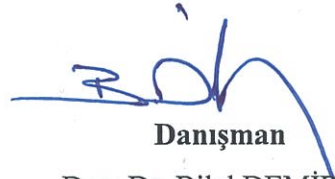
“Elyaf Takviyeli Kompozit Sert Poliüretan Köpüklerin Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.



**Hazırlayan**

Hâle ASLANTAŞ

İmza



**Danışman**

Doç. Dr. Bilal DEMİREL

İmza



**Malzeme Bilimi ve Mühendisliği ABD Başkanı**

Doç. Dr. Mustafa Serdar ÖNSES

İmza

**Doç. Dr. Bilal DEMİREL** danışmanlığında **Hâle ASLANTAŞ** tarafından hazırlanan “**Elyaf Takviyeli Kompozit Sert Poliüretan Köpüklerin Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği** Anabilim Dalında **yüksek lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

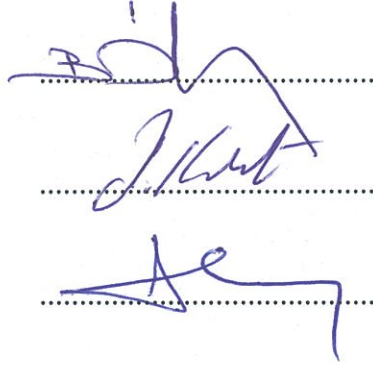
06 / 01 / 2020

**JÜRİ:**

Danışman : Doç. Dr. Bilal DEMİREL

Üye : Prof. Dr. Bülent KURT

Üye : Doç. Dr. Soner SAVAŞ

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 04/02/2020 tarih ve 2020/10-11...sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca üzerimden asla fedakarlığını ve yardımlarını esirgemeyen, benimle her türlü tecrübesini ve bilgi birikimini paylaşan çok değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Bilal DEMİREL'e çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez konumun belirlenmesinde bana yol gösteren, tezim süresince ortak bir çalışma yapmama ve değerli çalışanları ile fikir alışverişinde bulunmama olanak sağlayan TURKUAZ SERAMİK A.Ş.'ye çok teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım esnasında bana yardımcı olan sevgili arkadaşım Mehmet ENGÜR'e çok teşekkür ederim.

Hayatımın her noktasında olduğu gibi yüksek lisans tezimde de bana sonsuz güven duyan , maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen, üzerimden şefkatlerini asla eksik etmeyen canım aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Hâle ASLANTAŞ  
Ocak 2020, KAYSERİ

# ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT SERT POLİÜRETAN KÖPÜKLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Hâle ASLANTAŞ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2020  
Danışman: Doç. Dr. Bilal DEMİREL

## ÖZET

Seramik sağlık gereçleri sektöründe mamul alma destek aparatı olarak çeşitli özelliklerde polimer malzeme kullanılmaktadır. Bunların içerisinde en çok kullanılan malzemelerden biri sert poliüretan köpük malzemelerdir. Sert poliüretan köpükler düşük yoğunlukları, iyi mekanik özellikleri ve düşük ısı ve ses iletkenlikleri nedeniyle başta yapı/İNŞAAT sektörü ve soğutma endüstrisi olmak üzere birçok alanda tercih edilmektedir. Sert poliüretan köpükler, temel olarak bir diizosiyanat ile bir diolün, şişirici bir gaz varlığında reaksiyonu sonucu meydana gelmektedir.

Bu çalışmanın amacı geleneksel seramik döküm sektöründe kullanılan sert poliüretan köpüklerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesidir. Kullanım yeri itibarıyla yüksek mukavemet ve düşük deformasyon gerektiren bu malzemelerin polipropilen elyaf takviyesi ile en iyi ürün özellikleri verecek malzemenin üretilmesi ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, polipropilen elyaf takviyeli kompozit sert poliüretan köpük yapılar üretilmiştir. Yapılara uygulanan eğme ve basma testleri sonucunda, elyaf takviyeli yapıların mukavemet değerlerinin taksisiz yapılarla oranla daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. Elyaf takviyeli sert köpük yapıların mekanik özelliklerinin elyafın tipine, elyaf oranına ve elyafın uzunluğuna bağlı olduğu anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** sert poliüretan köpükler, polipropilen elyaf, kompozit malzemeler, mekanik özellikler

# MECHANICAL PROPERTIES OF FIBER REINFORCED COMPOSITE RIGID POLYURETHANE FOAM MATERIALS

Hâle ASLANTAŞ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, January 2020

Supervisor: Assoc. Prof. Bilal DEMİREL

## ABSTRACT

In the ceramic sanitary ware sector, polymeric materials are used in various specifications as finished product support. One of the most commonly used materials is rigid polyurethane foam. Due to their low density, reasonable mechanical properties and very good thermal and sound insulation properties, rigid polyurethane foams find themselves in many areas, especially in the building / construction sector and the refrigeration industry. The rigid polyurethane foam basically reacts with a diisocyanate in the presence of a diol, a blowing gas.

The purpose of this work is to improve the mechanical properties of rigid polyurethane foams used in the traditional ceramic casting industry. It is aimed to produce the material which gives the best product properties with polypropylene fiber reinforcement and to improve the mechanical properties of these materials which require high strength and low deformation.

In this thesis, polypropylene fiber reinforced composite rigid polyurethane foam structures were produced. As a result of the bending and compression tests applied to the structures, fiber reinforced rigid polyurethane structures showed high strength values compared to those of rigid polyurethane structures. It has been found that the mechanical properties of the fiber-reinforced rigid foam structures depend on the type of fiber, the fiber content, and the length of the fiber.

**Keywords:** rigid polyurethane foams, polypropylene fibers, composite materials, mechanical properties

## İÇİNDEKİLER

### ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT SERT POLİÜRETAN KÖPÜKLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	iii
KABUL VE ONAY .....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET .....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
KISALTMALAR.....	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xvi
GİRİŞ .....	1

## 1. BÖLÜM

### GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

<b>1.1. Polimerler .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.1. Termoplastik Polimerler .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1.2. Termoset Polimerler .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.3. Elastomerler .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2. Poliüretanlar .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3. Poliüretan Köpükler.....</b>	<b>6</b>
<b>1.3.1. Poliüretan Köpüklerin Bileşenleri.....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.1.1. Polioller .....</b>	<b>9</b>
<b>1.3.1.2. İzosiyanatlar .....</b>	<b>10</b>
<b>1.3.1.3. Katalizörler .....</b>	<b>11</b>
<b>1.3.1.4. Kabartıcı Ajanlar .....</b>	<b>11</b>

1.3.2. Poliüretan Köpük Çeşitleri .....	11
1.3.2.1. Sert Poliüretan Köpükler .....	11
1.3.2.2. Yarı-Sert (İntegral) Poliüretan Köpükler.....	12
1.3.2.3. Esnek Poliüretan Köpükler .....	13
1.4. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Üretim Yöntemleri .....	13
1.5. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Mekanik Özellikleri .....	14
1.6. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Kullanım Alanları .....	15
1.7. Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Kompozit Malzemeler .....	16
1.7.1. Polipropilen .....	16
1.7.2. Polipropilen Elyafların Özellikleri ve Sınıflandırılması.....	17
1.7.3. Polipropilen Elyafların Genel Kullanım Alanları .....	17

## 2. BÖLÜM

### MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal .....	19
2.1.1. Sert Poliüretan Köpük Malzemenin Karışım Oranları .....	19
2.1.1.1. Poliöl .....	20
2.1.1.2. İzosiyanat .....	21
2.1.2. Polipropilen Elyaf ve Özellikleri .....	22
2.1.3. Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Üretimi .....	25
2.1.3.1. Sert Poliüretan Köpük Karışımının Hazırlanması .....	25
2.1.3.2. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Kalıplanması .....	26
2.1.3.3. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Kalıplardan Çıkarılması .....	27
2.2. Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Üretim Planı .....	28
2.3. Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük Malzemelere Uygulanan Testler ....	28
2.3.1. Yoğunluk Tespiti.....	29
2.3.2. Eğilme Testi ve Mekanik Özelliklerin Tespiti .....	31
2.3.3. Basma Testi ve Mekanik Özelliklerin Tespiti .....	32
2.3.4. Termogravimetrik Analiz (TGA) .....	35
2.3.4. Optik Mikroskop (OM) Analizi.....	36

2.3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi.....	37
--------------------------------------------------------	----

### 3. BÖLÜM

#### BULGULAR

3.1. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Yoğunluk Sonuçları .....	39
3.2. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Eğilme Testi Sonuçları.....	40
3.2.1. Takviyesiz Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Eğilme Testi Sonuçları .....	40
3.2.2. Mono Polipropilen Elyaf Takviyeli Kompozit Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Eğilme Testi Sonuçları .....	40
3.2.3. Fibril (Mesh) Polipropilen Elyaf Takviyeli Kompozit Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Eğilme Testi Sonuçları .....	52
3.3. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Basma Testi Sonuçları .....	56
3.3.1. Takviyesiz Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Basma Testi Sonuçları .....	56
3.3.2. Mono Polipropilen Elyaf Takviyeli Kompozit Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Basma Testi Sonuçları .....	57
3.3.3. Fibril (Mesh) Polipropilen Elyaf Takviyeli Kompozit Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Basma Testi Sonuçları.....	73
3.4. Termogravimetrik Analiz Sonuçları .....	79
3.4.1. Takviyesiz Sert Poliüretan Köpük Malzemesinin TGA Sonuçları .....	79
3.4.2. Mono Polipropilen Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük Malzemesinin TGA Sonuçları .....	80
3.4.3. Fibril (Mesh) Polipropilen Elyaf Malzemesinin TGA Sonuçları.....	81
3.4.4. Monofilament Polipropilen Elyaf Malzemesinin TGA Sonuçları .....	81
3.5. Optik Mikroskop (OM) Analiz Sonuçları .....	82
3.5.1. Takviyesiz Sert Poliüretan Köpük Malzemenin Optik Mikroskop Analiz Sonuçları.....	82
3.5.2. Mono Polipropilen Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Optik Mikroskop Analiz Sonuçları.....	83
3.5.3. Fibril (Mesh) Polipropilen Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Optik Mikroskop Analiz Sonuçları .....	85

<b>3.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları.....</b>	<b>86</b>
<b>3.6.1. Takviyesiz Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin SEM Analiz Sonuçları</b>	
.....	<b>86</b>
<b>3.6.2. Mono Polipropilen Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin</b>	
<b>SEM Analiz Sonuçları .....</b>	<b>86</b>
<b>3.6.3. Fibril (Mesh) Polipropilen Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük</b>	
<b>Malzemelerin SEM Analiz Sonuçları.....</b>	<b>88</b>

#### **4. BÖLÜM**

##### **TARTIŞMA - SONUÇ VE ÖNERİLER**

<b>4.1. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Yoğunluk Sonuçları .....</b>	<b>90</b>
<b>4.2. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Eğilme Testi Sonuçları.....</b>	<b>92</b>
<b>4.2.1. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Eğilme Dayanımı Sonuçları.....</b>	<b>93</b>
<b>4.2.2. Sert Poliüretan Köpük Yapıların Eğilme Modülü Sonuçları .....</b>	<b>96</b>
<b>4.2.3. Sert Poliüretan Köpük Yapıların Eğilme Uzaması Sonuçları .....</b>	<b>99</b>
<b>4.3. Sert Poliüretan Köpük Yapıların Basma Test Sonuçları .....</b>	<b>102</b>
<b>4.3.1. Sert Poliüretan Köpük Yapıların Basma Dayanımı Sonuçları .....</b>	<b>103</b>
<b>4.3.2. Sert Poliüretan Köpük Yapıların Basma Kısılması Sonuçları .....</b>	<b>106</b>
<b>4.4. Genel Sonuçlar ve Öneriler .....</b>	<b>109</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>111</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>116</b>

## KISALTMALAR

<b>PU</b>	: Poliüretan
<b>PUR</b>	: Rijit Poliüretan
<b>SPK</b>	: Sert Poliüretan Köpük
<b>TDI</b>	: Toluen Diizosiyanat
<b>MDI</b>	: Difenilmetan Diizosiyanat
<b>PMDI</b>	: Polimerik Difenilmetan Diizosiyanat
<b>HCFC-142B</b>	: 1,1-Dikloro-1-floretan
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>TGA</b>	: Termogravimetrik Analiz
<b>DTA</b>	: Diferansiyel Termo Gravimetrik Analiz
<b>DTA</b>	: Diferansiyel Termal Analiz
<b>OM</b>	: Optik Mikroskop
<b>SEM</b>	: Taramalı Elektron Mikroskobu

## TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Sert poliüretan köpük özellikleri [34].....	20
Tablo 2.2. Poliöl'ün fiziksel ve kimyasal özellikleri [34].....	21
Tablo 2.3. İzosiyanatın fiziksel ve kimyasal özellikleri [34].....	21
Tablo 2.4. Polipropilen elyafların özellikleri ve uygulama alanları [31].....	24
Tablo 2.5. Sert poliüretan köpük malzemelerin üretim planı .....	28
Tablo 2.6. Sert poliüretan köpük yapıları uygulanan testler .....	29
Tablo 3.1. Sert poliüretan köpük yapıların yoğunluk sonuçları.....	39
Tablo 3.2. Takviyesiz sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	40
Tablo 3.3. % 0,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	41
Tablo 3.4. % 1 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	41
Tablo 3.5. % 1,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	42
Tablo 3.6. % 2 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	43
Tablo 3.7. % 0,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	44
Tablo 3.8. % 1 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	45
Tablo 3.9. % 1,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	45
Tablo 3.10. % 2 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	46
Tablo 3. 11. % 0,5 Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	47
Tablo 3.12. % 1 Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	48
Tablo 3. 13. % 0,5 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	48

Tablo 3. 14. % 1 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	49
Tablo 3.15. % 1,5 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	50
Tablo 3.16. % 1,5 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	51
Tablo 3.17. % 0,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	52
Tablo 3.18. %1 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	53
Tablo 3.19. %1,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	54
Tablo 3.20. %0,5 Fibril 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	55
Tablo 3.21. %0,5 Fibril 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.....	55
Tablo 3.22. Takviyesiz sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	57
Tablo 3.23. %0,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	58
Tablo 3.24. %1 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	59
Tablo 3.25. % 1,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	60
Tablo 3.26. %2 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	61
Tablo 3.27. %0,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	62
Tablo 3.28. % 1 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	63
Tablo 3.29. %1,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	64
Tablo 3.30. %1,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	65

Tablo 3.31. %0,5 Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	67
Tablo 3.32. %1 Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	68
Tablo 3.33. %0,5 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	69
Tablo 3.34. %1 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	70
Tablo 3.35. %1,5 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	71
Tablo 3.36. %2Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	72
Tablo 3.37. %0,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	74
Tablo 3.38. %1 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	75
Tablo 3.39. %1,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	76
Tablo 3.40. %0,5 Fibril 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	77
Tablo 3.41. %0,5 Fibril 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.....	78
Tablo 4.1. Sert poliüretan köpük kompozit yapıların yoğunluk ve elyaf oranları.....	91
Tablo 4.2. Sert poliüretan köpük yapıların eğilme testi sonuçları .....	93
Tablo 4.3. Sert poliüretan köpük yapıların standart basma (%13) test sonuçları. ....	103

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Polietilen oluşumunun kimyasal reaksiyonu [3].....	4
Şekil 1.2. Poliüretan reaksiyon mekanizması [8].....	6
Şekil 1.3. Poliüretan köpük örnekleri.....	7
Şekil 1.4. Poliüretan köpükte meydana gelen değişim evreleri [15].....	9
Şekil 1.5. Toluen diizosiyanat (TDI) kimyasal yapısı [2].....	10
Şekil 1.6. Difenilmetan diizosiyanat (MDI) kimyasal yapısı [2].....	11
Şekil 1.7. Propilenden polipropilen eldesi [29].....	16
Şekil 1.8. Günümüzde tekstil ve plastik endüstrisinde kullanılan polipropilen malzeme örnekler.....	18
Şekil 2.1. Poliöl (Tekpol®1232-140).....	20
Şekil 2.2. İzosiyanat MDI (Tekpol®).....	21
Şekil 2.3. Polipropilen elyaf çeşitleri (Mono filament ve Fibrilmesh) [31].....	23
Şekil 2.4. Sert poliüretan köpük hazırlama aşamaları.....	26
Şekil 2.5. Sert poliüretan köpük malzemenin pres altında kürlenmesi.....	27
Şekil 2.6. Kalıptan çıkarılan sert poliüretan köpük yapılar.....	27
Şekil 2.7. Yoğunluk tespiti için numuların hassas terazide tartılma işlemi.....	30
Şekil 2.8. Eğilme testi esnasındaki görüntüler, (a) test öncesi, (b) test sonrası.....	32
Şekil 2.9. Sert poliüretan köpük numunenin basma test cihazına yerleştirilmesi.....	33
Şekil 2.10. Basma testi esnasında numunenin görüntüleri, (a) test öncesi, (b) test sonrası.....	33
Şekil 2.11. Kuvvet (N)- Kısalma (mm)' grafiği üzerinden % 13'teki basma yükü.....	34
Şekil 2.12. Kuvvet (N)- Kısalma (mm)' grafiği üzerinden % 13'teki basma kısalması..	35
Şekil 2.13. Perkin Elmer Diamond TGA cihazı.....	36
Şekil 2.14. ZEISS Axio Lab.A1 Optik Mikroskop.....	37
Şekil 2.15. ZEISS EVO® LS 10 Taramalı Elektron Mikroskobu.....	38
Şekil 3.1. Takviyesiz sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.....	40
Şekil 3.2. % 0,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.....	41
Şekil 3.3. % 1 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.....	42

Şekil 3.4. % 1,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.....	42
Şekil 3.5. % 2 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.....	43
Şekil 3.6. % 0,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.....	44
Şekil 3.7. % 1 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.....	45
Şekil 3.8. % 1,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.....	46
Şekil 3.9. % 2 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.....	46
Şekil 3.10. % 0,5 Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.....	47
Şekil 3.11. % 1 Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	48
Şekil 3.12. % 0,5 Mono3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	49
Şekil 3.13. % 1 Mono3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	49
Şekil 3.14. % 1,5 Mono3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	50
Şekil 3.15. % 2 Mono3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	51
Şekil 3.16. Monofilament polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	52
Şekil 3.17. % 0,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	53
Şekil 3.18. % 0,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	53
Şekil 3.19. % 1,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	54

Şekil 3. 20. % 0,5 Fibril 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	55
Şekil 3.21. % 0,5 Fibril 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	56
Şekil 3.22. Fibril PP takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	56
Şekil 3.23. Takviyesiz sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-şekil değişimi, (sağ); gerilme-yüzde uzama.....	57
Şekil 3.24. % 0,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	58
Şekil 3.25. % 1 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	59
Şekil 3.26. % 1,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	60
Şekil 3.27. % 2 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	61
Şekil 3.28. Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	62
Şekil 3.29. %0,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	63
Şekil 3.30. %1 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	64
Şekil 3.31. %1,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	65
Şekil 3.32. %2 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	66
Şekil 3.33. Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	66
Şekil 3.34. %0,5 Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	67
Şekil 3.35. %1 Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	68

Şekil 3.36. Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	69
Şekil 3.37. %0,5 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	70
Şekil 3.38. %1 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	71
Şekil 3.39. %1,5 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	72
Şekil 3.40. %2 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	73
Şekil 3.41. Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	73
Şekil 3. 42. %0,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	74
Şekil 3.43. %1 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	75
Şekil 3.44. %1,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	76
Şekil 3.45. Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	77
Şekil 3.46. %0,5 Fibril 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	78
Şekil 3.47. %0,5 Fibril 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama .....	79
Şekil 3.48. Takviyesiz sert poliüretan köpük malzemenin TG, DTG ve DTA grafiği ...	79
Şekil 3.49. %2 Mono 6 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin TG, DTG ve DTA grafiği.....	80
Şekil 3.50. Fibril mesh polipropilen elyaf malzemenin TG, DTG ve DTA grafiği .....	81
Şekil 3.51. Monofilament polipropilen elyaf malzemenin TG, DTG ve DTA grafiği ...	82
Şekil 3.52. Takviyesiz sert poliüretan köpük malzemenin (10 nolu numune) OM görüntüsü, a) x5, b) x10 .....	83
Şekil 3.53. Mono 3 mm %1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (14 nolu numune) OM görüntüsü, a) x5, b) x10, c) x20.....	83

Şekil 3.54. Mono 6 mm %1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (22 nolu numune) OM görüntüsü, a) x5, b) x10.....	84
Şekil 3.55. Mono 12 mm %1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (21 nolu numune) OM görüntüsü, a) x5, b) x10.....	84
Şekil 3.56. Mono 18 mm %1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (29 nolu numune) OM görüntüsü, a) x5, b) x10.....	85
Şekil 3.57. Fibril 6 mm %0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (3 nolu numune) OM görüntüsü, a) x5, b) x10.....	85
Şekil 3.58. Fibril 18 mm %0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (4 nolu numune) OM görüntüsü, a) x5, b) x10.....	86
Şekil 3.59. Takviyesiz sert poliüretan köpük malzemenin (10 nolu numune) SEM görüntüleri, a) x100, b) x250 c) x1000.....	86
Şekil 3.60. Mono 3 mm %1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (14 nolu numune) SEM görüntüleri, a) x100, b) x250, c) x1000 .....	87
Şekil 3.61. Mono 6 mm %1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (22 nolu numune) SEM görüntüleri, a) x100, b) x250, c) x1000 .....	87
Şekil 3.62. Mono 12 mm %1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (21 nolu numune) SEM görüntüleri, a) x100, b) x250, c) x1000 .....	88
Şekil 3.63. Mono 18 mm %1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (29 nolu numune) SEM görüntüleri, a) x100, b) x250, c) x1000 .....	88
Şekil 3.64. Fibril 6 mm %0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (3 nolu numune) SEM görüntüleri, a) x100, b) x250, c) x1000 .....	89
Şekil 3.65. Fibril 18 mm %0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (4 nolu numune) SEM görüntüleri, a) x100, b) x250, c) x1000 .....	89
Şekil 4.1. Sert poliüretan köpük yapıların yoğunlukları ve elyaf oranları .....	92
Şekil 4.2. Sert poliüretan köpük yapıların eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması .....	94

Şekil 4.3. % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.....	94
Şekil 4.4. % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.....	95
Şekil 4.5. % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.....	95
Şekil 4.6. % 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.....	96
Şekil 4.7. Sert poliüretan köpük yapıların eğilme modülü sonuçlarının karşılaştırılması .....	97
Şekil 4.8. %0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme modülü sonuçlarının karşılaştırılması .....	97
Şekil 4.9. %1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme modülü sonuçlarının karşılaştırılması.....	98
Şekil 4.10. %1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme modülü sonuçlarının karşılaştırılması .....	98
Şekil 4.11. %2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme modülü sonuçlarının karşılaştırılması .....	99
Şekil 4.12. Sert poliüretan köpük yapıların eğilme uzaması sonuçlarının karşılaştırılması .....	100
Şekil 4.13. %0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme uzaması sonuçlarının karşılaştırılması .....	100
Şekil 4.14. %1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme uzaması sonuçlarının karşılaştırılması .....	101
Şekil 4.15. %1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme uzaması sonuçlarının karşılaştırılması .....	101
Şekil 4.16. %2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme uzaması sonuçlarının karşılaştırılması .....	102
Şekil 4.17. Sert poliüretan köpük yapıların standart basma (%13) dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması. ....	104
Şekil 4.18. % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.....	104

Şekil 4.19. % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.....	105
Şekil 4.20. % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.....	105
Şekil 4.21. % 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.....	106
Şekil 4.22. Sert poliüretan köpük yapıların standart basma (%13) kısılması sonuçlarının karşılaştırılması. ....	107
Şekil 4.23. % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma kısılması sonuçlarının karşılaştırılması .....	107
Şekil 4.24. % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma kısılması sonuçlarının karşılaştırılması .....	108
Şekil 4.25. % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma kısılması sonuçlarının karşılaştırılması .....	108
Şekil 4.26. % 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma kısılması sonuçlarının karşılaştırılması .....	109
Şekil 4.27. Seramik sağlık gereçleri üretiminde model alma destek aparatı olarak kullanılan sert poliüretan köpük malzeme örnekleri .....	110

## GİRİŞ

Poliüretan, Otto Bayer ve arkadaşları tarafından 1937'de IG Farbenindustrie'de geliştirilmiştir. Bu polimerler, yüksek mukavemete, yüksek aşınma direncine ve oksijen, ozon, gaz, yağ ve aromatik hidrokarbonlara karşı mükemmel dirence sahiptirler [1]. Poliüretan malzemeler, plastik endüstrisinin bir dalı olarak günlük hayatımızda önemli bir yer tutmaktadır. Üretim metotları ve kullanım kolaylığı nedeniyle otomotiv, mobilya, giyim, yapı, medikal, beyaz eşya gibi sektörlerde kullanım alanına sahiptir.

Poliüretan köpükler ise 70 yıldan fazla bir süre önce piyasaya sürülmüştür. Bu tip köpükler, günümüzde termoset köpük endüstrisindeki en büyük segmenti oluşturmaktadır. Bu köpükler, çok çeşitli köpük yoğunluklarında, esneklik, viskoelastisite, yarı bükülebilirlik, sertlik, ısı ve alev dayanıklılık gibi birçok fiziksel özelliklere sahiptir. Köpüklerin sahip olduğu bu çok yönlülük, hammadde seçimi ve köpüklenme reaksiyonları ile moleküler tasarımdan kaynaklanmaktadır.

Örneğin, poliüretan köpükler, polioller ve poliizosiyanatların, kabartıcı ajanlar yardımı ile reaksiyona sokulmasıyla hazırlanır. Poliollerin moleküler ağırlığı ve işlevselliği, ortaya çıkan köpük özelliklerini etkiler. Poliizosiyanatlar, poliollerin birleşme maddesi olarak görev yapar. Bu nedenle, üretan ve ilgili köpüklerin yapı taşı polimerleri olarak kabul edilir [2].

Seramik sağlık gereçleri sektöründe mamul alma destek aparatı olarak çeşitli özelliklerde polimer malzeme kullanılmaktadır. Bunların içerisinde en çok kullanılan malzemelerden biri sert poliüretan köpük malzemelerdir. Sert poliüretan köpükler düşük yoğunlukları, mekanik özellikleri, ısı ve ses yalıtım özellikleri nedeniyle başta yapı/İNŞAAT sektörü ve soğutma endüstrisi olmak üzere birçok alanda kullanım alanına sahiptir.

Bu çalışmanın amacı geleneksel seramik döküm sektöründe kullanılan sert poliüretan köpüklerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesidir. Kullanım yeri itibarıyla yüksek

mukavemet ve düşük deformasyon gerektiren bu malzemelerin polipropilen elyaf takviyesi ile en iyi ürün özellikleri verecek malzemenin üretilmesi ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Son yıllarda poliüretan esaslı kompozit malzemeler otomotiv, inşaat, elektronik, mobilya, medikal ve paketlenme gibi farklı endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemelerin mekanik ve ısıl özelliklerini iyileştirmek ve üretim maliyetlerini azaltmak için poliüretan esaslı kompozit malzemeler üretilmektedir. Bu projede, poliüretanın ısıl özelliklerinin yanı sıra mekanik özellikleri üzerinde durulacak, ilk defa polipropilen katkılı elyaf ile güçlendirilip, malzemenin mekanik özellikleri iyileştirilecektir. Polipropilen elyaf takviyeli kompozit sert poliüretan malzemeye 3 noktalı eğme ve basma testi uygulanacaktır. Bu proje ile seramik döküm sektöründe hafifliğinden dolayı tercih edilen ve mamul alma destek aparatı olarak kullanılan poliüretan köpüklere daha yüksek mukavemet kazandırılacaktır. Çünkü malzeme zamanla deforme olabilmekte ve ağır mamullerin taşınmasında kırılmaktadır.

Bu tez sonucunda, ülkemizin öncelikli araştırma konularından olan yeni malzeme ve üretim teknolojisi konusunda, teknolojik alt yapı ve bilgi birikimi artırılarak, ülkenin bilimsel ve teknolojik araştırma gücüne katkı sağlayacaktır. Bu alt yapı ve bilgi birikimi yeni araştırmalar için basamak teşkil edecektir. Bunların yanında sert poliüretan köpük malzemelerin mekanik davranışları konusundaki boşluğu doldurarak, takip eden aynı konudaki çalışmalara ışık tutacaktır.

# 1. BÖLÜM

## GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### 1.1. Polimerler

Polimerler (plastikler), atomların kovalent bağlarla bir arada tutulduğu zincirler şeklindeki makromoleküllerden oluşmaktadır. Bu sebeple, zincir moleküller bir polimerin temel yapı birimleri olarak düşünülmektedir [3].

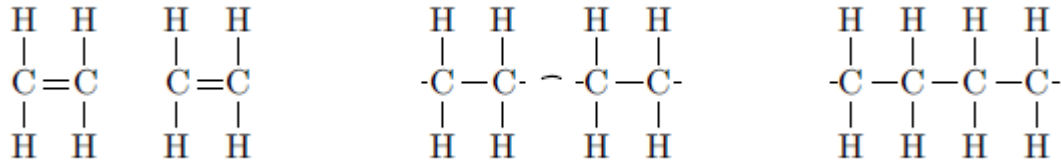
Polimerler, metal ve seramikten daha düşük modüle, daha düşük dayanıma, düşük sıcaklık kullanım sınırlarına sahiptir. Kovalent bağlarından dolayı, genellikle kimyasallara karşı metallere çok daha dirençlidirler, ancak bazı solventlere ve ultraviyole ışığa uzun süre maruz kalmak polimerin özelliklerinin bozulmasına neden olabilmektedir. Polimerler genellikle elektrik ve ısı için iyi bir yalıtkandır. Değişen dayanım dereceleri ile birlikte, polimerler çok hafif malzemelerdir [4].

Metaller ve seramiklerin aksine, polimerler nokta benzeri parçacıklardan (atomlar) değil, doğrusal bileşenlerden oluşmaktadır. Bu nedenle, yapıları diğer malzeme sınıflarından daha karmaşıktır.

Bir polimer içindeki ayrı zincir molekülleri genellikle organik bileşiklerdir. Bu zincir molekülleri, monomer adı verilen sayısız özdeş birimden oluşmaktadır. Tipik olarak, bir moleküler zincir içindeki monomerlerin sayısı,  $10^3$  ila  $10^5$  arasındadır, bu da birkaç mikrometreye kadar olan toplam moleküler uzunluğa yol açar. Bir polimerin zincir moleküllerindeki ortalama monomer sayısına “polimerizasyon derecesi” denir.

Bir zincir oluşturmak için kimyasal bir reaksiyonda bağlanabilen tüm moleküller uygun monomerlerdir. Böyle bir reaksiyon için, örneğin etilenin polimerleşerek polietilene dönümüşünü verebiliriz. Etilen, çift bağ ile bağlanmış iki karbon atomundan oluşur ve karbon atomlarının serbest değerleri, hidrojen tarafından doyurulur. İki etilen molekülü,

Şekil 1.1'de gösterilen moleküller arasında bir bağlantı oluşturmak için çift bağdan elektronlar kullanılarak reaksiyona girebilir.



Şekil 1.1. Polietilen oluşumunun kimyasal reaksiyonu [3].

Metaller ve seramikler tamamen kristalize olabilirken, polimerler için bu genellikle mümkün değildir. Prensipte olarak, moleküller zincirler paralel olarak düzenlenebilir ve düzenli bir yapı oluşturabilir, ancak uzunlukları nedeniyle, polimerin sıvı hâldeyken soğutulması sırasında moleküllerin doğrusal olması veya düzenli olarak katlanması son derece zordur. İstatistiksel olarak, bir zincir molekülünün oldukça bükülmüş ve diğer moleküllerle dolaşmış olması daha olasıdır. Bu yüzden polimerler her zaman kısmen şekilsiz bir yapıya sahiptir [3].

Polimerler molekül yapıları, şekilleri, ağırlıkları, moleküler büyüklükleri ve bağ türlerine göre sınıflara ayrılmaktadır. Polimer zincirleri doğrusal, dallanmış, az oranda çapraz bağlı, yoğun çapraz bağlı biçimlerinde olabilmektedir.

Polimerler tekrarlanan birimlerin tipine göre homopolimer, doğrusal kopolimer, blok kopolimer, rastgele kopolimer, dallanmış kopolimer vb. şeklinde ayrılmaktadır.

Doğrusal ya da dallanmış zincirlere sahip bir polimer eritilebilir veya uygun çözücülerde çözünebilmektedir. Ağ yapılı bir polimerin ise eritilmesi ya da çözünmesi mümkün değildir. Bu gibi zincir biçimlerinden kaynaklanan özelliklere göre polimerler kendi içlerinde ayrıca termoplastikler, elastomerler ve termosetler olmak üzere üç ana grupta toplanabilmektedir [5].

### 1.1.1. Termoplastik Polimerler

Termoplastik polimerler, lineer polimerler olduklarından, yanal bağların zayıf olması sebebiyle sıcaklık arttığında yumuşar ve soğutulduklarında sertleşirler. Yeniden ısıtıldıklarında ise tekrar yumuşarlar. Bir başka deyişle, termoplastik polimerler yüksek sıcaklıklarda molekülleri parçalanmaksızın plastik şekil değiştirme yeteneğine sahip

polimerler veya kısaca sıcakta biçimlendirilebilen plastikler olarak tanımlanabilmektedir [6].

### **1.1.2. Termoset Polimerler**

Termoset polimerler, çapraz ağlar ile bağlanmıştır ve üç boyutlu rijit bir yapıları vardır. Isıtıldıklarında yumuşarlar. Yanal bağlar doğmasından dolayı, sıcakken şekil verilip soğutulduktan sonra sertleşirler. Böylelikle çapraz bağlanma tamamlanmış olur ve malzeme rijitlik kazanır. Termoplastiklerin aksine yeniden ısıtıldıklarında tekrar yumuşamaları çok güçtür. Yüksek sıcaklıklarda yumuşama ve erime olmaz. Malzeme yanar. İşlem geri çevrilemez. Çünkü bunların yanal bağları da kuvvetli bağlardır. Termoset polimerler, diğer bir tanımla, sıcakta biçimlendirildikten sonra yüksek sıcaklıklarda kimyasal ve yapısal çözünme olmaksızın yumuşamayan ve işlenemeyen polimerlerdir [6,7].

### **1.1.3. Elastomerler**

Termoplastik ve termoset polimerler arasında bir yapıya sahip olan elastomerler yani kauçuklar, bükülmüş ve topak şeklinde birbirine dolanmış uzun molekül zincirlerinden oluşmaktadır. Elastomerler, esnek ve elastik malzemelerdir. Çekme ile yüksek oranda uzama gösterirler ve çekme kuvveti kalmadığında hızla ilk boyutlarına geri dönerler. Bu göstermiş oldukları tersinir davranış yani elastik şekil değişimi sebebiyle bu malzemeler elastomerler olarak adlandırılmaktadır. Elastomerlerin bu yetenekleri polimer zincirleri arasındaki az orandaki çapraz bağdan kaynaklanmaktadır [5,6].

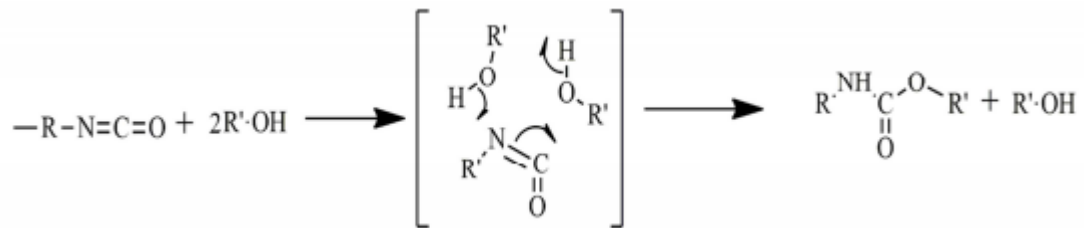
## **1.2. Poliüretanlar**

Poliüretanlar, yoğunlaşma (kondenzasyon) polimerleridir. Bu polimerler oluşurken basamaklı ve yavaş şekilde tepkimeler meydana gelmektedir. Poliüretanlar çok hidroksilli bileşiklerin izosiyanat ile reaksiyonundan elde edilmektedir (Şekil 1.2).

Poliüretanlar bir ya da daha fazla polihidroksil bileşikleri ve bir veya daha fazla diizosiyanatlar veya poliizosiyanatlardan üretilmektedir. Hammaddeler petrolden birkaç adımda elde edilmekte ve böylece geniş bir ticari hacme sahip olmaktadır. Bunun yanı sıra son zamanlarda poliüretan atıklarının fiziksel ve kimyasal geri kazanılması ile ilgili çalışmalar da yapılmaktadır [8].

Poliüretan reaksiyonunun mekanizmasında H-aktif bileşiğinden bir protonun izosiyanattaki azot atomuna aktarılması şeklinde gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonlar

otokatalitiktir. Üretan grubundaki azotun üzerinde bulunan serbest elektron çiftleri katalitik tür olarak görev yapar ya da katalize edilir. Poliüretan üretiminde yaygın olarak N,N-dimetil sikloheksil amin, N,N-dimetilpiperazin, N,N'-dimetil etanoamin, diazabisiklo oktan (DABCO), N,N,N',N'-tetrametil bütan diamin, dibütil kalay dilaurat, organik titanyum bileşikleri, bizmut, kurşun katalizörleri kullanılmaktadır [8].



Şekil 1.2. Poliüretan reaksiyon mekanizması [8].

Poliol grupları ise poliüretanın özelliklerini belirlemektedir. Bu özellikler öncelikle uygulama sıcaklığı ve elastikiyete göre seçilir. Poliüretanların esnek ya da rijit olmaları poliollerin bağ uzunluğu, aromatik ya da alifatik yapıda olmaları, ester veya eter gruplara, hidroksil grupların işlevselliğine bağlıdır. Poliüretanlar tamamen farklı hammaddelerden yapılmış olsalar bile benzer özellikler gösterebilirler. Uzun zincirli polioller -polyester polioller, polieter polioller, polikaprolaktonlar, polikarbonat polioller- esnek poliüretanların üretiminde kullanılırlar. Esnek köpükler, elastomerler, hücresel elastomerler veya tek parça köpüklerin hazırlanmasında da kullanılırlar [8].

Poliüretanların çok iyi yapışma özelliğine sahip olması sayesinde, içerisine farklı katkı ve dolgu maddelerinin eklenmesi kolay olmaktadır. Eklenen katkı ve dolgu maddeleri ile malzemenin yanma davranışı, ısıl özellikleri ve mekanik özellikleri değişmektedir. Ayrıca ortama kabartıcı ajanlar eklenerek malzeme gözenekli bir yapıda elde edilebilmektedir. Bu durumda ilk hacminin onlarca katına kadar ulaşabilen poliüretan köpük malzemeler ortaya çıkmaktadır [9].

### 1.3. Poliüretan Köpükler

Köpükler, çok uzun zamandan beri yaşamlarımızı daha iyi hale getirmek için faydalı bir ürün olarak kullanılmaktadır. II. Dünya Savaşı öncesi düşük yoğunluklu köpük elde edilmiş ve ardından sivil uygulamalarda da kullanılmaya başlanmıştır. Birkaç yıl içinde, poliüretan (PU) ve polistiren köpükler, yüzdürme ve paketleme endüstrilerinde çeşitli ürünler sunmak için güçlü performans platformları haline gelmiştir. Daha sonra mobilya,

gıda, inşaat, tıp, spor, otomotiv, havacılık, elektronik vb. sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır.

Polimer köpükler, uçucu gazla dönüşebilen gaz veya sıvı haldeki köpük yapıcıların genişmesiyle üretilen, yoğun polimer matris ile çevrilmiş, gaz boşlukları içeren malzemeler olarak tanımlanırlar. Polimer köpükler genellikle, minimum iki fazdan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi katı polimerik matris, diğeri ise köpük yapıcı ile elde edilen gaz fazıdır. Polimer içindeki boşluklar, malzemenin yoğunluğunu azaltırken daha az hammadde kullanımı sağlamaktadırlar [10].

En çok tercih edilen köpük polimer tipleri poliüretan (PU), polistiren (PS), polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorür (PVC) ve polikarbonat (PC)'dir. Toplam polimer köpük üretiminin yaklaşık % 70-80'i poliüretan (Şekil 1.3), polistiren ve polivinil klorür esaslıdır. Toplam poliüretan köpük tüketimi ise bu pay içinde % 50'den fazladır. Son yıllarda ise polietilen ve polistiren polimerlerine göre polipropilen köpük malzemesinin kullanımı artmaktadır. Bu malzemeler daha yüksek darbe direnci, yüksek ergime sıcaklığı ve daha iyi termal kararlılık göstermektedir [11].



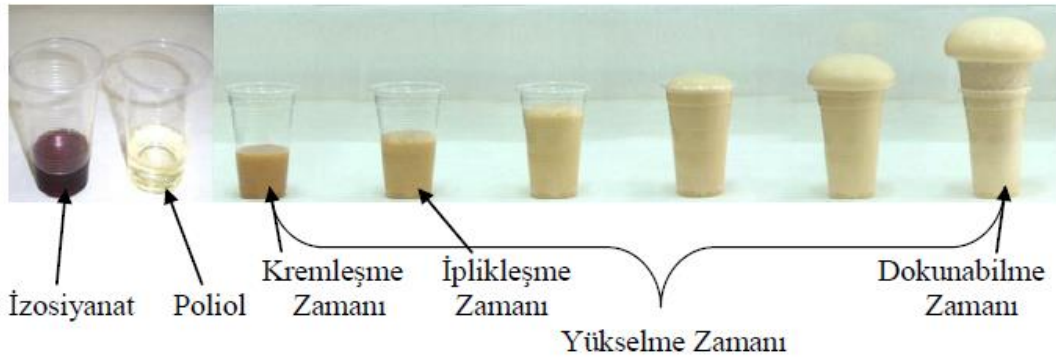
Şekil 1.3. Poliüretan köpük örnekleri.

Sert plastik köpükler, çeşitli formlarda ve yoğunluklarda yapısal malzemeler olarak kullanılır. Düşük yoğunluklu köpükler, çoğunlukla sandviç yapılarda çekirdek malzemeler olarak kullanılırken, yüksek yoğunluklu köpükler, düşük gerilimli uygulamalar için tasarlanan yapılarda ana yük taşıyıcı malzemeler olarak kullanılır [12].

Poliüretan (PU) köpükler, sert veya esnek yapıda olabilmektedir. Sert köpükler ısı yalıtımı için kullanılırken, esnek köpükler mobilya, taşıma ve paketleme uygulamalarında yastıklama malzemesi olarak kullanılmaktadır [13].

Termal yalıtımdan medikal implantlara kadar birçok ürün uygulamasında kullanılan poliüretanlar, üretan bir grup (-NHCO-O-) ile kovalent olarak bağlanmış düşük molekül ağırlıklı poliesterlerin ya da polieterlerin bloklarını içeren blok kopolimerlerdir. Bu polimerler, poliizosiyanat-polihidroksil içeren polimerler ve düşük molekül ağırlıklı dioller ya da diaminler (1,4-bütendiol ya da 1,4-dibütülin) gibi zincir uzatıcıdan oluşan temel üç bileşenin reaksiyonu ile sentezlenmektedir [14].

Poliüretan köpükler, uygun polioller ve izosiyanat bileşenlerinin, kabartıcı ajan varlığında uygun şartlar altında ve oranlarda karıştırılması sonucunda elde edilmektedirler. Karıştırma işlemi sonrasında kabarmaya hazırlanan malzemenin reaksiyon başlayana kadar geçirdiği aşamaya *kremleşme zamanı* denir. Bu zamanda karışım koyu kahverengiden kremi görünüme gelir. Tepkimenin başlamasıyla çapraz bağlar ve üretan ağı oluşmaya başladığı zaman *jelleşme zamanı* ve kabarma bittikten sonra yapışkan özelliğe sahip malzemenin, bu özelliğinin sona ererek yüzeyinin yapışmaz hale geldiği ana kadar geçen zaman da *dokunma zamanı* olarak adlandırılır (Şekil 1.4). Tepkimenin başlangıcıyla açığa çıkan veya dışarıdan fiziksel olarak uygulanan gazlar milyonlarca küçük hücreye sahip köpük malzeme oluşumunu sağlamaktadır. Bu malzemeler kullanılan maddelere bağlı olarak çapraz bağlar oluşturur ve bu bağların yüksek veya düşük düzeyde olmasına bağlı olarak açık veya kapalı hücreli olurlar. Sert poliüretan köpük malzemelerin, bileşenlerini oluşturan maddeye göre rijitlikleri değişebilmektedir. Poliüretan yapısında polioller yumuşak segmenti oluştururken diizosiyanatlar sert segmentleri oluşturmaktadır. Sert poliüretan köpük malzemenin bardak testi ise Şekil 1.4'de verilmiştir [15, 43].



Şekil 1.4. Poliüretan köpükte meydana gelen değişim evreleri [15].

Poliüretan köpükler genel olarak mekanik performanslarına ve çekirdek yoğunluklarına bağlı olarak esnek, yarı sert veya sert olarak sınıflandırılmaktadırlar. Bu köpüklerin uygulamaları, büyük ölçüde ortaya çıkan köpüğün hücresel yapısına bağlıdır [14].

### 1.3.1. Poliüretan Köpüklerin Bileşenleri

#### 1.3.1.1. Polioller

Sert poliüretan köpükler için polioller, sıvı oligomerler veya en az iki hidroksil grubuna sahip polimerik bileşiklerdir. Bu gibi polioller arasında polieter polioller, polyester polioller, hidroksil uçlu polioleninler ve hidroksil içeren bitkisel yağlar bulunur [2]. Poliüretan üretiminde kullanılan polioller, zincir uzatıcılar, katalizörler, kabartma ajanları, yüzey aktif maddeler, alev geciktiriciler gibi kimyasallar içermektedir. Bu maddeler poliollerin içerisine ya önceden ya da uygulama esnasında katılmaktadır.

Polieter poliollerin poliester poliollere göre avantajları şunlardır:

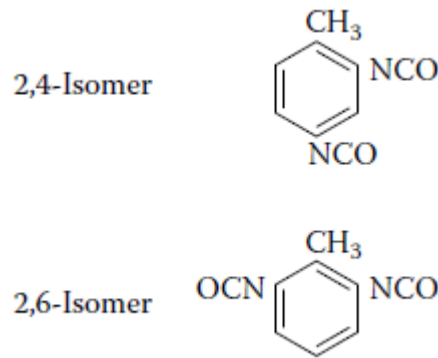
1. Çeşitli işlevselliğe sahip polioller (2 ila 8) mevcuttur.
2. Eşdeğer ağırlık geniş ölçüde değiştirilebilir.
3. Viskoziteler, poliesterlerinkinden daha düşüktür.
4. Üretim maliyetleri, alifatik poliesterlerden daha ucuzdur.
5. Oluşan köpükler hidrolize dirençlidir.
6. Polieter poliollerin işlevselliği ve eşdeğer ağırlığı geniş ölçüde değişebilir. Bu, polieter poliollerin poliester poliollere göre büyük bir avantajıdır ve bu nedenle polieter polioller elastomerler, kaplamalar, yapıştırıcılar, sızdırmazlık maddeleri, reçineler, esnek, yarı

esnek ve sert köpükler gibi çeşitli poliüretanlar üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır [2].

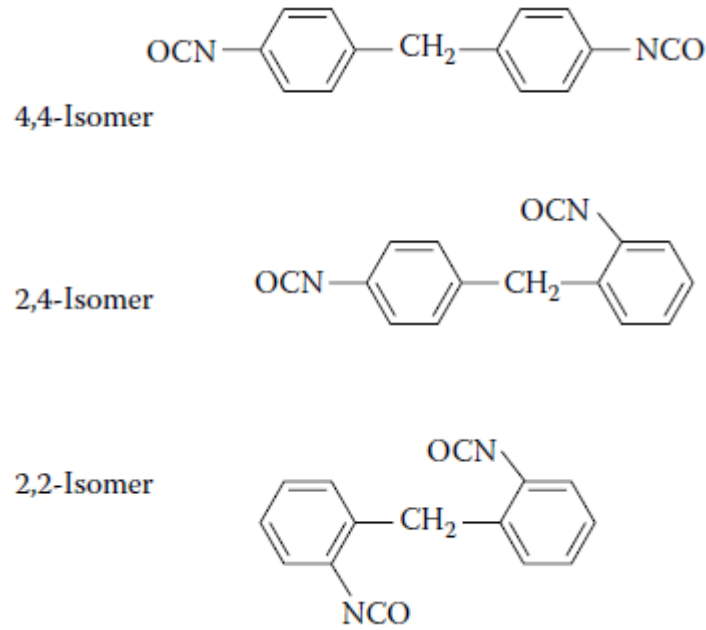
### 1.3.1.2. İzosiyanatlar

İzosiyanatlar, özellikle poliizosiyanatlar, poliüretan kimyası ile tanımlanmaktadır. İzosiyanatlar birçok reaksiyona girseler de, bunlardan en önemlisi genellikle poliüretan polimerizasyonu ve yapısı ile olan ilişkileridir. İzosiyanatlar, yüksek reaktivite ve çok yönlülük ile karakterize edilen bir kimyasal sınıfı temsil etmektedirler. Bu pozitif özelliklerin bir araya gelmesi, poliüretan malzemelerin geniş bir şekilde uygulanmasına büyük katkı sağlamıştır. İzosiyanat kimyasının kimyasal olarak en önemli özelliği, aktif hidrojene sahip moleküller ile reaktivitesidir. Bu tür aktif hidrojenler tipik olarak alkol ve amin fonksiyonelliği ve ayrıca suya sahip moleküller üzerinde bulunmaktadır [16].

İzosiyanat bazlı köpüklerin hazırlanmasında aromatik poliizosiyanatlar kullanılmaktadır. Köpüklenme reaksiyonları yüksek reaktivite gerektirdiğinden alifatik izosiyanatlar kullanılmamıştır. Alifatik poliizosiyanatlar OH gruplarıyla yavaş reaksiyona girmektedirler. Kullanılan ana poliizosiyanatlar oligomerik tipte toluen diizosiyanat (TDI) ve difenilmetan diizosiyanattır (MDI). TDI ve MDI kimyasal yapıları sırasıyla Şekil 1.5 ve Şekil 1.6'da gösterilmiştir [2].



Şekil 1.5. Toluen diizosiyanat (TDI) kimyasal yapısı [2].



Şekil 1.6. Difenilmetan diizosiyanat (MDI) kimyasal yapısı [2].

### 1.3.1.3. Katalizörler

Katalizörler, poliüretan oluşumunda reaksiyonu başlatma görevini üstlenmektedirler. Elde edilen köpüğün fiziksel özelliklerine ve reaksiyonun gerçekleşme süresine etkileri vardır. İzosiyanat bazlı polimerik köpükler için katalizörler, jelleştirme katalizörleri, üfleme katalizörleri, siklotrimerizasyon katalizörleri, oksazolidon katalizörleri ve karbodiimid katalizörleridir [2].

### 1.3.1.4. Kabartıcı Ajanlar

Poliüretan köpükler bir katı polimer matrisi ve gaz fazı oluşturan kabartıcı ajanlardan oluşmaktadır. Bazı durumlarda katı fazda dolgu maddeleri veya zincir uzatıcılar ilave edilmektedir. Hidroflorokarbon ve siklopentan gibi fiziksel kabartıcı ajanlar buharlaşma ile poliüretanı genişletmektedir. Bu reaksiyon endotermiktir. Bunun aksine, su gibi kimyasal kabartıcı ajanlar, izosiyanat ile reaksiyona girerek CO<sub>2</sub> açığa çıkarıp, poliüretanı genişletmektedir. Bu reaksiyon ise ekzotermiktir [17].

## 1.3.2. Poliüretan Köpük Çeşitleri

### 1.3.2.1. Sert Poliüretan Köpükler

Sert poliüretan köpük, genellikle inşaat endüstrisinde ve global ev aletlerinde (dondurucular, buzdolapları vb.) kullanılan, ısı ve ses yalıtımı, hafiflik ve darbeye dayanıklılık gibi mükemmel özelliklere sahip en önemli malzemelerden biridir. Bununla

birlikte, yapısal bir malzeme olarak, biraz mukavemet, sertlik ve tokluğa sahip olması gerekmektedir. Sert poliüretan köpüğün mekanik özelliklerini iyileştirmeye yönelik bazı yöntemler yoğunluğunu ve dolgu takviyesini artıracaktır [18].

Sert poliüretan köpükler, kapalı hücreli yapılara sahip, çapraz üç boyutlu polimerlerdir. Düşük ısı iletkenlikleri ve iyi mekanik dirençleri nedeniyle, boru hatları ve otomotiv parçaları, evsel ve ticari soğutma, inşaat mühendisliği uygulamalarında yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Sert poliüretan köpükler, poliölün izosiyanat ve diğer katkı maddeleri (örneğin, katalizör, yüzey aktif madde, kopolyol, boyalar, üfleme maddesi) ile karıştırılması ve ardından karışımın genişmesi için zamana bırakılmasıyla elde edilmektedir. Köpük genişmesi, poliöl ve izosiyanat arasında ekzotermik reaksiyon gerçekleşmeye başladığında kabartıcı ajanın buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Kabartıcı ajan işlemin sonunda katı maddenin hücrelerinde kapalı kalmakta ve köpüğün yalıtım performansını sağlamaktadır [19].

### **1.3.2.2. Yarı-Sert (İntegral) Poliüretan Köpükler**

Yarı sert tipteki integral poliüretan köpükler, uygun poliester ve izosiyanat kombinasyonları kullanılarak üretilmektedir. Yüksek modül ve mükemmel darbe emici gibi özellikler sunmaktadırlar. Esnek poliüretan köpüklerinde olduğu gibi, formülasyon değişikliklerinde, sertlikte ve diğer özelliklerde önemli farklılıklar elde edilebilmektedir.

Yarı sert poliüretan köpükleri bir miktar termoplastiktir ve erimezler, ancak sıcaklıkta ılımlı bir artışla gözle görülür şekilde daha yumuşak olabilirler. Bununla birlikte, bu köpükler kendi ağırlıkları altında 93°C'nin altında bozulmazlar ve bu nedenle belirli bir yükleme altında değilse daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirler [20].

Yarı sert poliüretan köpükleri esas olarak açık hücrelerden oluştuğundan, su mekanik olarak emilebilir. Bununla birlikte, havadan nem emilmez ve bu köpükler hidrofobik olarak kabul edilebilir. Sıvı su ile temasın muhtemel olduğu durumlarda, esnek bir plastik kaplama arzu edilmektedir. Ses yalıtımı, açık hücreli yapının avantajlarından biridir. Yarı-sert poliüretan köpüklerin ayrıca, görünüşte alev söndüren lokal erime kaynaklı doğal kendi kendine sönmeye özelliklerine sahip oldukları görülmektedir. Benzer koşullar altında sert köpükler kolayca yanacaktır. Ayrıca, yarı-sert poliüretan köpüklerin alev geciktirici özellikleri, normal alev geciktirici katkı maddeleri ile kolayca artırılmaktadır. Yarı-sert poliüretan köpükler, mükemmel darbe ve şok emme

özellikleri sergilemektedirler. Uygulamalar arasında otomobil gösterge panelleri, yastıklama ve ambalajlama bulunmaktadır [20].

### **1.3.2.3. Esnek Poliüretan Köpükler**

Esnek poliüretan köpükler, sert köpüklerin aksine, büküldüklerinde malzeme boyunca havanın serbest dolaşımını sağlayan açık hücreli malzemeler üretmektedirler. Hem polieter hem de polyester poliollere dayanan esnek köpükler genel kullanımdadır ve her iki tip de 14,89- 44,85 kg/m<sup>3</sup> yoğunluk aralığında yapılabilmektedir. Poliesterler daha az esnek ve hidrolize karşı daha az dayanıklıdır ancak kopmada daha yüksek çekme dayanımı ve uzama, daha iyi örtme özellikleri sergilerler. Yük taşıma özellikleri birincil olarak yoğunlukla kontrol edilmekte, ancak boyut, şekil, doku, üretim yöntemi, dolgu maddesi içeriği ve yardımcı kimyasal maddelerin miktarlarındaki değişiklikler de tüm değerleri etkilemektedir [20].

Esnek poliüretan köpükler, polieter köpükleri ve polyester köpükleri olarak sınıflandırılmaktadır. Ayrıca, işleme dayalı olarak döşeme köpükleri ve kalıplanmış köpükler halinde de sınıflandırılabilirler. Fiziksel özellikleri veya köpükleme işlemleri ile de alt sınıflara ayrılabilirler. Döşeme köpükleri arasında geleneksel polieter köpük, yüksek esneklikli (HR) köpük, viskoelastik köpük, süper yumuşak köpük, enerji emici (EA) köpük, yarı esnek köpük ve esnek polyester köpük bulunmaktadır [2].

### **1.4. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Üretim Yöntemleri**

Sert poliüretan köpük üretimi için orijinal yöntem basitçe köpük karışımını bir kalıbın içine dökmektir. Ürünler daha sonra levhalar, borular veya diğer karmaşık şekiller oluşturmak için kesilip, şekillendirilebilmektedir. Bu yöntem, temel olarak, buzdolapları ve benzeri cihazlar için yalıtım astarları olarak “yerinde döküm” uygulamaları için kullanılmaktadır. Artan tüketim hacmi ile daha ekonomik üretim yöntemlerine gereksinim duyulmuş ve daha sonra panel üretimi için sürekli laminasyon teknolojisi ile blok köpük üretimi için ise “sürekli proses” geliştirilmiştir. Daha sonra, bitümlü kağıt, cam elyaf takviyeli bitüm levhalar, çok katmanlı kağıtlar veya metal levhalar gibi farklı kaplama malzemeleri ile sert poliüretan panellerin verimli bir şekilde üretilmesi sağlanmıştır [21].

### 1.5. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Belirli bir köpük malzemesinin mekanik özellikleri büyük oranda yoğunluğuna bağlıdır; bu nedenle, yoğunluk değiştiğinde, daha geniş mekanik özelliklere sahip bütün bir "malzemeler" ailesi elde edilebilmektedir. Bu malzeme ailesinin özellikleri temel olarak iki faktöre bağlıdır: katı reçine ve köpüğün morfolojisi. İdeal olarak, köpüğün mekanik özellikleri, bu iki faktörün bir fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Ne yazık ki, bu pratikte mümkün değildir, çünkü numune içindeki hücre yapısını ve dağılımını belirlemek oldukça zordur ve hatta bunu yaptıktan sonra her hücrede detaylı bir gerilme analizi belirlemek zorlu bir iştir. Köpüğün mekanik özelliklerini öngörmeye bir başka yaklaşım köpüğün yapısı için bir model oluşturmak ve yaklaşık sonuçlar elde etmektir. Her model homojen bir çubuk, plaka veya diğer yapı taşlarından oluşur, ancak yapının şekli yoğunluk değişikliklerinden bağımsız kalır. Bununla birlikte, bu, belirli bir yoğunluk için, köpüğü oluşturan hücrelerin boyut dağılımının olduğu ve düşük yoğunluklu köpüklerin hücre yapısının yüksek yoğunluklu köpüklerinkinden farklı olduğu gözlemleriyle tezat teşkil etmektedir [12].

Bu çalışmada, sert poliüretan köpüğün mekanik özellikleri deneysel olarak araştırılmış ve sert poliüretan köpüklere basma ve eğme testi uygulanmıştır. Köpüğün sertliğinin ve mukavemetinin, yoğunluğun artmasıyla birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Anizotropik mekanik özelliklerin, anizotropik hücre geometrisi ile ilişkili olduğu sonucuna varılmıştır [22].

Sert poliüretan köpüklere takviye edilen polipropilen elyafın eğilme dayanımına etkisi incelenmiştir. Üretilen kompozit poliüretan köpük yapılarına, 3-nokta eğme testi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, tüm yapıların plastik deformasyon olmaksızın kırılma bir bozunma davranışı sergilediği belirlenmiştir [23].

Polipropilen elyaf takviyesi ile elde edilmiş farklı yoğunluk değerlerindeki sert poliüretan köpüğün dinamik basma gerilim-uzama davranışı  $1000-5000 \text{ s}^{-1}$  uzama oranı aralığında tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonuçlarında, kompozit köpük yapıların dinamik gerilim-gerinim eğrileri incelendiğinde, akma noktasına ulaşmaya dek düşük uzama değerlerinde lineer elastisite sergilediği gözlemlenmiştir. Tepe gerilim değerinin, uzamayla yakinen ilişkili olduğu ve köpük yoğunluğunun karesine bağlı olduğu saptanmıştır [24].

Sert poliüretan köpüklere, polipropilen elyaf takviye edilmiştir. Bu yapılara, yoğunluk, basma ve üç-nokta eğilme testi uygulanarak, sırasıyla fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Poliüretan sert köpüğün özellikleri üzerinde polipropilen elyafın yapısı, oranı ve uzunluğunun etkisi analiz edilmiştir. Polipropilen elyaf takviyesi ile güçlendirilmiş sert poliüretan köpüğün eğme ve basma mukavemetinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

### **1.6. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Kullanım Alanları**

Sert poliüretan köpükler, başlıca yalıtım kaynağı olarak kullanılmaktadır. Sert poliüretan köpüklerin en çok kullanıldığı endüstriler inşaat ve beyaz eşya uygulamalarıdır [25]. İnşaat amaçlı kullanılan sert poliüretan köpükler, uygulamanın yalıtım ve enerjisinin korunma amaçlarına hizmet etmeli ve binanın genel yapısal bütünlüğüne zarar verecek şekilde davranmamalıdır [26].

Sert poliüretan köpüğün diğer kullanım alanlarından biri de sandviç panellerdir. Çünkü yüksek bir sertlik gösterirler, çekirdek olarak kullanılırlar ve panelin hedefine bağlı olarak farklı türdeki malzemeleri (karbon fiber, alüminyum vb.) kullanabilirler. Ayrıca, bu tür hücreli malzeme türleri, yapıları nedeniyle darbe enerjisini emmek için büyük kapasite gösterdikleri için paketlenme ve yastıklama için de kullanılmaktadır [23].

Ev tipi buzdolapları, ev tipi dondurucular ve ev tipi su ısıtıcılarını içeren beyaz eşya endüstrisi de sert poliüretan köpüklerinin önemli kullanım alanıdır. Fiziksel kabartıcı ajanların geliştirilmesi sert poliüretan köpük endüstrisinde devrim yaratmıştır. Yine aynı şekilde soğutmalı kamyonlar, soğutmalı vitrinler ve vakum yalıtım panellerinde de sert poliüretan sıkça kullanılmaktadır [2].

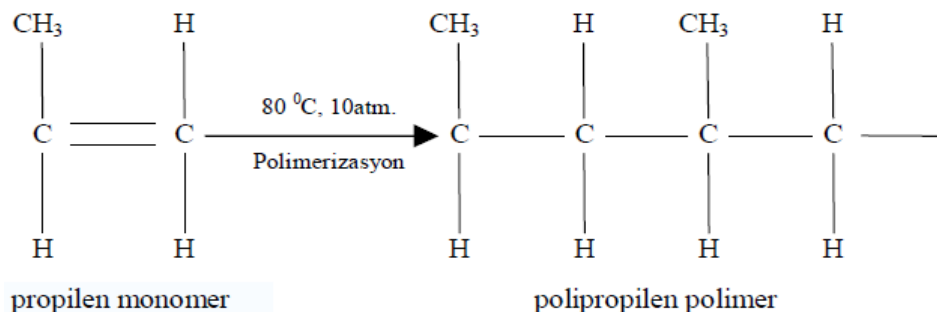
Sert poliüretan köpükler, farklı uygulamalar için olağanüstü bir malzeme olarak kabul edilmektedir. Düşük ısı iletkenliği, düşük yoğunluk, mükemmel boyutsal kararlılık, yüksek dayanım/ağırlık oranı, düşük nem geçirgenliği ve düşük su emme gibi birçok arzu edilen özelliğe sahiptir. Bu nedenle, ev tipi buzdolapları, inşaat ve endüstriyel yalıtımın yanı sıra teknelerde bulunan can simidi, can yeleği, dubalar ve diğer denizcilik ekipmanlarında da kullanım için uygundur. Uçaklarda, sert poliüretan köpükler, kanat ve gövde yapılarında sertleştirici ajanlar ve dolgu maddeleri olarak kullanılmaktadır [27].

## 1.7. Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Kompozit Malzemeler

Bu çalışmada, takviye malzemesi olarak, sert poliüretan köpük malzeme içerisine belirli uzunluk ve oranlarda polipropilen elyaf eklenerek, köpüğün mekanik özelliklerine yaptığı olumlu ve olumsuz etkiler kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Öncelikle malzeme olarak polipropilen hakkında genel açıklamalar verilecek ve kullanım alanlarına değinilecektir. Daha sonra polipropilen elyaf içeren sert poliüretan köpük malzemelerin mekanik özellikleri hakkında yapılan çalışmalar ele alınacaktır. Son olarak, yapılan deneysel çalışmalar anlatılıp ortaya çıkan sonuçların bir değerlendirmesi yapılacaktır.

### 1.7.1. Polipropilen

Polipropilen, propilenin 20-30 atm basınç altında ve 100 °C'de katalizörlerle polimerleşme reaksiyonundan elde edilmektedir (Şekil 1.7). Polipropilen, bilinen en hafif polimer maddedir. Yoğunluğu 0.905 g/cm<sup>3</sup>'tür. Polipropilenler, düşük maliyetleri ve kolay işlenebilme özellikleri sayesinde dünyada en çok kullanılan polimerler arasında yer almaktadır. Eriyikten çekme yöntemi ile monofilament veya multifilament olarak elde edilmektedir. Polipropilen malzemeler hammadde olarak kullanılmasının yanında, belirli oranlarda başka malzemelerin içerisine katılarak da kullanılmaktadır. Polipropilen nem ve kimyasal reaktiflerden etkilenmez. Nem çekme oranı %0,05'dir. İyi yorulma ve kimyasal dirence sahiptir, darbe dayanımı yüksektir, iyi elektrik yalıtımı sağlamaktadırlar. Fakat ısı, ışık ve yükseltgen maddelere karşı direnci polietilenden daha azdır. Polipropilen elyafın en önemli özelliklerinden biri de sürtünme direncinin yüksek olmasıdır [28].



Şekil 1.7. Propilenden polipropilen eldesi [29].

Polipropilen elyafların boyanması zordur ve bu özelliği kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Boyanmalarda kullanılan bir yöntem, polimer içerisine nikel ve

alüminyum gibi metallerin tuzlarının karıştırılmasıdır. Metal tuzları boyama için uygun merkezleri oluşturmaktadır. Ancak boya moleküllerinin polimer içerisinden difüzyonla bu merkezlere ulaşması gerekir. Bu nedenle yöntem, renk tonu ve parlaklığı açısından iyi sonuçlar vermez [29].

### **1.7.2. Polipropilen Elyafının Özellikleri ve Sınıflandırılması**

Polipropilen malzemelerin, geniş kullanım alanının yanında birçok uygulamalarda lif haline getirilmiş şekilde kullanımı mümkündür. Polipropilen lifler genel olarak iki farklı yapıda üretilip kullanılmaktadırlar. Bunlar literatürde “monofilament” denilen ince uzun yapıda çap/boy oranı 1/60 civarında olan lifler ve yine literatürde “staple fiber” olarak anılan ve elyaf görünümüne, iplik kalınlığında çok ince ve kısa olan parçaların bir araya gelmesiyle oluşan lifler olarak isimlendirilirler [30].

Bu lifler, birçok malzeme içine katılarak yapının mekanik özelliklerine olumlu katkıde bulunup, performansını arttırlar. Çalışmada kullanılan polipropilen liflerin “monofilament” olarak adlandırılanların boyu 3-18 mm arasında değişmektedir. Bunlar daha sert yapıda olup, poliüretan içerisinde homojen olarak kolayca dağılabilmektedir. Fibrilmesh olarak adlandırılan diğer polipropilen liflerin uzunluğu ise 6-18 mm arasında değişmektedir. Çatlak önleyici ve mukavemet artırıcı özelliğe sahiptir. Yapı içerisinde 3 boyutlu bir dağılım sağlamaktadırlar. Yüksek yüke maruz kalan uygulamalarda tercih edilmektedir [31].

### **1.7.3. Polipropilen Elyafının Genel Kullanım Alanları**

Polipropilen ilk kez 1957’de tekstil endüstrisinde dayanıklı bir malzeme elde etmek amacıyla İtalya’da üretilmeye başlanmıştır. Daha sonra polipropilen üretimi 1962’de ABD’de seri üretim haline gelmiş ve özellikle otomobil döşemelerinin imalatında oldukça geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Günümüzde ise polipropilen tekstil ve plastik endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bir polimer çeşiti olmuştur (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Günümüzde tekstil ve plastik endüstrisinde kullanılan polipropilen malzeme örnekleri.

Polipropilen elyaflardan üretilmiş giysilik ve döşemelik kumaşlar, halılar ve diğer tekstil ürünleri günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Polipropilen elyaflar, kolay işlenebilirlikleri, düşük yoğunlukları, düşük maliyetleri, yüksek mukavemetleri ve iyi kimyasal dayanıklılıkları gibi özellikleri nedeniyle birçok alanda tercih sebebidir. Polipropilenler, günümüzde otomotiv sanayi, ev gereçleri, ambalajlama, tekstil, tıp, inşaat sektöründe özellikle beton yapılarında, kompozit malzeme üretiminde sıkça kullanılmaktadır [32,33].

## 2. BÖLÜM

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 2.1. Materyal

Sert poliüretan köpük malzemelerin üretimi için; sert poliüretan köpük bileşenleri; izosiyanat (Tekpol® MDI, Türkiye), polioli (Tekpol® 1232-140, Türkiye), polipropilen lifler (Mono, Fibrilmesh, Polyfibers ® , Türkiye), plastik karıştırma kapları, cam beherler, kalıp ayırıcı ve yağlayıcı sprej ( 404® Silicone Spray, Türkiye) kullanılmıştır. Bunların yanında, alüminyum kalıp ve alttan üstten ısıtmalı pres (Climax, Okan Group, Türkiye) ve üretim sonrası temizlik için metilen klorit, aseton kullanılmıştır. Sert poliüretan köpük bileşenlerinin ve polipropilen liflerin tartımı için hassas terazi kullanılmıştır. Üretilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların testlerinde basma ve 3 nokta eğme testi için test cihazları ve fikstürler kullanılmıştır.

#### 2.1.1. Sert Poliüretan Köpük Malzemenin Karışım Oranları

Sert poliüretan köpük üretimi için, üretici firma polioli/izosiyanat oranını, ağırlıkça 100/110 olarak tavsiye etmiş, fakat Turkuaz Seramik fabrikasında eşzamanlı üretilen sert poliüretan köpük malzemeler için bu oran 100/100 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada da önceden yapılan deneyler neticesinde 100/100 oranının kullanılmasının daha doğru olduğuna karar verilmiştir.

Çalışmada kullanılan sert poliüretan köpük malzemenin üretici firma tarafından belirlenen laboratuvar test verileri Tablo 2.1’de belirtildiği gibidir.

Tablo 2.1. Sert poliüretan köpük özellikleri [34].

Sert Poliüretan Köpük Özellikleri	Birim	Değer	Yöntem
Karıştırma Oranı (Poliol / İzosiyanat)	Ağırlıkça	100/110	
Kabarma Zamanı	s	35±2	ASTM D 7487-08
İplikleşme Zamanı	s	110±10	ASTM D 7487-08
Yükselme Zamanı	s	140±15	ASTM D 7487-08
Serbest Yoğunluk	kg/m <sup>3</sup>	140±5	DIN 51757-2011
Kapalı Hücre	%	>90	ASTM D 4590

### 2.1.1.1. Poliöl

Bu çalışmada kullanılan poliöl (Tekpol® 1232-140) Kayseri'deki Turkuaz Seramik firmasından temin edilmiştir. Poliöl Sistem 1232-140, seramik sektöründe ve ahşap taklidi ürünlerin yapımında kullanılan, köpüğün sert ve sıkı yapısı ile çarpma ve basmalara karşı yüksek direnç göstermesini sağlayan bir sistemdir. Şekil 2.1'de poliöl maddesinin görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.1. Poliöl (Tekpol® 1232-140).

Bu poliöl sistem yüksek fonksiyonlitenli polioller, katalizörler, stabilizatörler ve ozon tabakasını etkilemeyen yeni nesil şişirici ajanlardan oluşan bir karışımdır. HCFC-141B şişirici ajan içermez. Poliöl 1232-140 ile izosiyanatın (PMDI) reaksiyonu sonucu oluşan köpüğün akışkanlığı sayesinde homojen yoğunluk elde edilir. Tablo 2.2'de poliölün fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.2. Polioli'ün fiziksel ve kimyasal özellikleri [34].

<b>Poliol Özellikleri</b>	<b>Birim</b>	<b>Değer</b>	<b>Yöntem</b>
Depolama Sıcaklıkları	°C	15-25	
Raf Ömrü	ay	6	
Özgül Ağırlık	g/cm <sup>3</sup>	1,10-1,12	DIN 51757-2011
Viskozite (25 °C)	mPa.s	550±50	DIN 53018
Serbest NCO İçeriği	%	-	ASTM D5155
Tank Sıcaklıkları	°C	20-22	
Tavsiye Edilen Kalıp Sıcaklıkları	°C	40-45	

### 2.1.1.2. İzosiyanat

Bu çalışmada kullanılan izosiyanat MDI (Tekpol®) Kayseri'deki Turkuaz Seramik firmasından temin edilmiştir. İzosiyanat MDI, difenilmetan diizosiyanat PMDI, koyu renklidir. Şekil 2.2'de izosiyanat maddesinin görüntüsü verilmiştir. Tablo 2.3'te ise izosiyanatın fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.



Şekil 2.2. İzosiyanat MDI (Tekpol®).

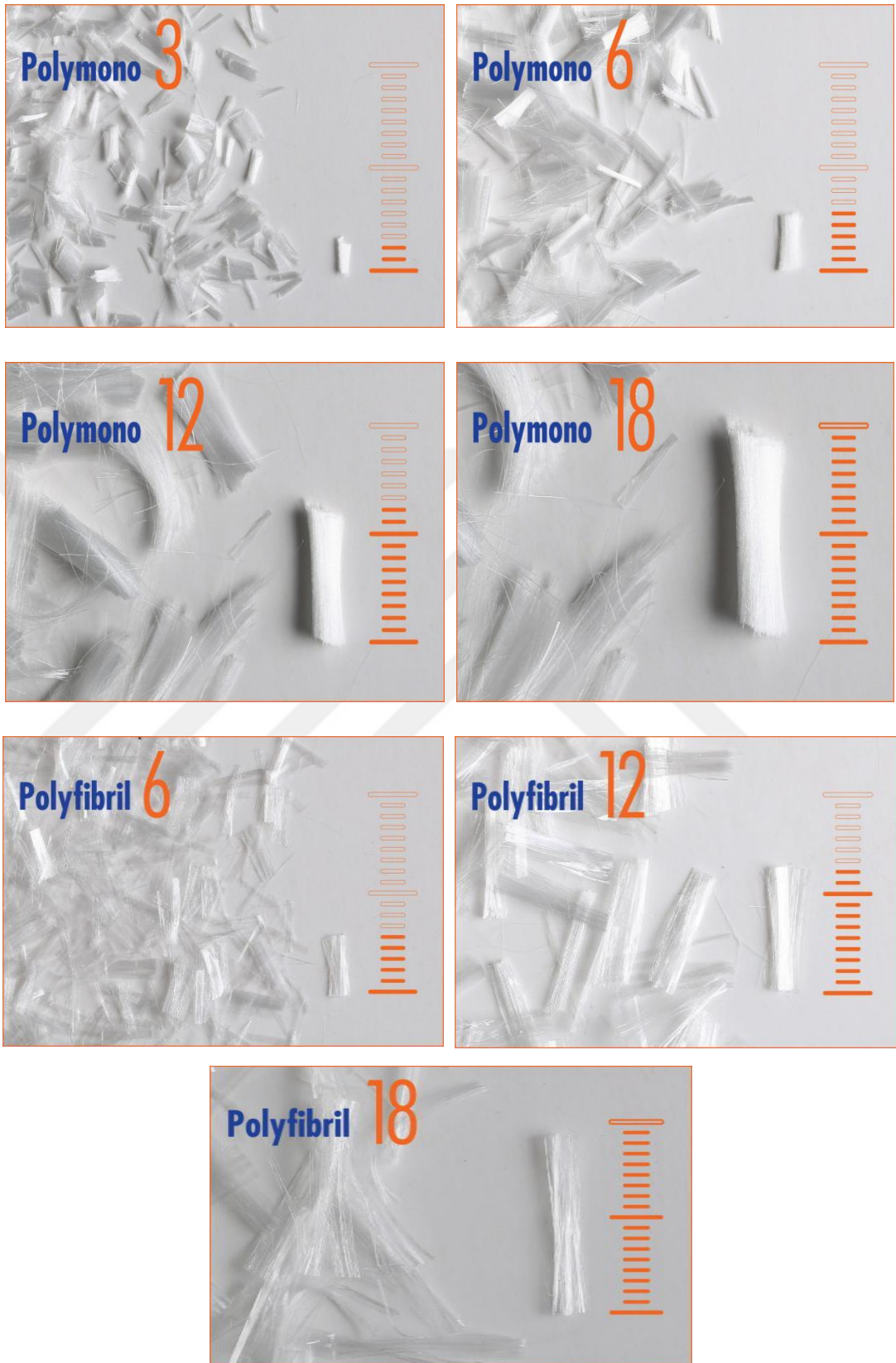
Tablo 2.3. İzosiyanatın fiziksel ve kimyasal özellikleri [34].

<b>İzosiyanat Özellikleri</b>	<b>Birim</b>	<b>Değer</b>	<b>Yöntem</b>
Depolama Sıcaklıkları	°C	15-25	
Raf Ömrü	ay	6	
Özgül Ağırlık	g/cm <sup>3</sup>	1,23	DIN 51757-2011
Viskozite (25 °C)	mPa.s	230±30	DIN 53018
Serbest NCO İçeriği	%	31,5±1	ASTM D5155
Tank Sıcaklıkları	°C	20-22	
Tavsiye Edilen Kalıp Sıcaklıkları	°C		

### 2.1.2. Polipropilen Elyaf ve Özellikleri

Bu çalışmada kırpık polipropilen elyafın poliüretanın mekanik özelliklerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada poliöl ve izosiyanat oranı 100/100 olarak belirlenmiştir. Hazırlanan bu karışımlara % 0.5, 1, 1.5, 2 oranlarında Polyfibers firmasının ürettiği iki farklı polipropilen elyaf (Monofilament 3,6,12,18 mm, Fibermesh 6,12,18 mm) eklenmiştir. Şekil 2.3'te polipropilen elyaf çeşitleri sunulmuştur. Çalışmada kullanılan polipropilen elyafların özellikleri ve uygulama alanları ise Tablo 2.4'te verilmiştir [31].





Şekil 2.3. Polipropilen elyaf çeşitleri (Mono filament ve Fibrilmesh) [31].

Tablo 2.4. Polipropilen elyafların özellikleri ve uygulama alanları [31].

Polipropilen Elyaf Türü	Elyaf Uzunluğu (mm)	Özellikler	Uygulama Alanları
Mono filament Polymono 3	3	Çatlamları önler ve yapı kimyasallarında özellikle tercih edilir.	Tamir Harcı, astar uygulamaları
Mono filament Polymono 6	6	Yapı kimyasalı olarak, sıvalarda ve tamir harçlarında çatlak oluşumunu önlemek için kullanılır. Araştırmalar, Polymono 6'nın harç ve sıvalarda çatlak oluşumunu belirgin şekilde azalttığını göstermektedir.	Tamir Harcı, astar uygulamaları, yapı kimyasalları
Mono filament Polymono 12	12	Yüksek bağlanma kabiliyeti dolayısıyla püskürtme beton uygulamalarında kullanılır ve maliyetleri düşürür.	Şap betonu, püskürtme beton uygulamaları, tünel uygulamaları, konut yapısı projeleri, kaplama betonu
Mono filament Polymono 18	18	Endüstriyel zemin ve saha beton uygulamalarında çatlama ve sıkıntı önleyici yapısal takviye olarak kullanılır.	Endüstriyel zeminler, saha betonu, öndökümlü beton uygulamaları
Fibrilmesh Polyfibril 6	6	Çatlak önleyici ve mukavemet artırıcı özellikleri nedeniyle yapı kimyasallarında ve refrakter uygulamalarında özellikle tercih edilir. Refraktör toz ürün grubu uygulamalarında agregayı sararak başarılı sonuçlar elde edilmesini sağlar.	Yapı kimyasalları, refrakter uygulamaları
Fibrilmesh Polyfibril 12	12	Beton içerisinde 3 boyutlu dağılım sağlayarak konutlar, ticari binalar ve hafif endüstriyel binalar için çok yönlü alternatif sunar.	Endüstriyel zeminler, saha betonu ve otoparklar, öndökümlü beton uygulamaları, püskürtme betonlar, tünel-baraj uygulamaları, refrakter uygulamalar
Fibrilmesh Polyfibril 18	18	Fibril ağ yapısı, mukavemet artırıcı özelliğinin yanı sıra agregayı çevreleyerek çatlakları önler. Beton içerisindeki yüksek dağılım performansı ile yüksek yüke maruz kalan zeminler için ideal çözümdür.	Endüstriyel zeminler, saha betonu, park alanları, püskürtme betonlar, tünel-baraj uygulamaları, refrakter uygulamalar

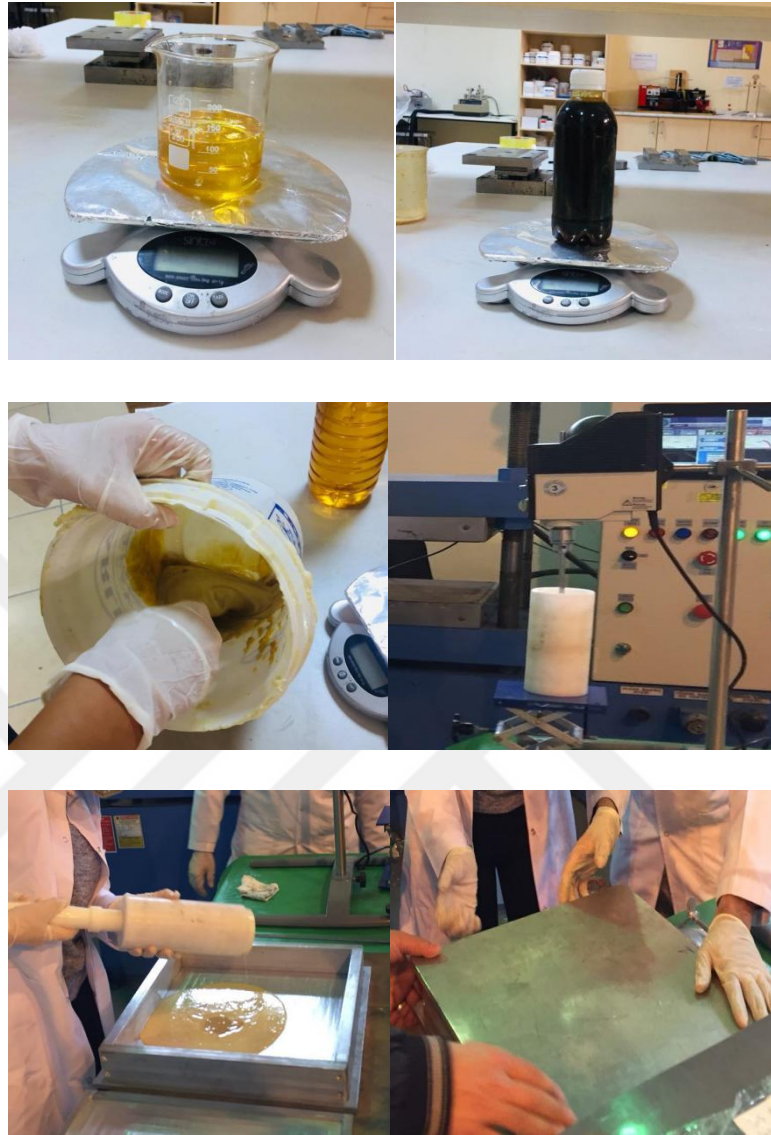
### **2.1.3. Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Üretimi**

#### **2.1.3.1. Sert Poliüretan Köpük Karışımının Hazırlanması**

Sert poliüretan köpük üretimi için gerekli olan izosiyanat ve poliöl maddeleri, hesaplanan değerler kadar ayrı ayrı kaplara alınmış ve hassas terazide tartılmıştır. Poliöl, izosiyanat üzerine yavaşça ilave edilerek, hızlı bir şekilde mekanik karıştırıcıda 3000 min<sup>-1</sup> dönme hızında 15 saniye karıştırılmış, homojen bir karışım elde edilmiştir. Daha sonra bu karışım, ön ısıtma yapılmış ve kalıp ayırıcı sürülmüş kalıbın içerisine dökülmüştür. Sert poliüretan köpüğün hazırlık aşamaları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Sert poliüretan dökülürken aşağıdaki aşamalar takip edilmiştir.

- Poliöl ve izosiyanatın tartılması
- Poliöl ve izosiyanatın mekanik karıştırıcı ile karıştırılması
- Sert poliüretan köpüğün hazır hale getirilmesi
- Hazırlanan sert poliüretan karışımının boş kalıba dökülmesi

Sert poliüretan köpüğün hazırlık aşamaları Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Sert poliüretan köpük hazırlama aşamaları.

### 2.1.3.2. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Kalıplanması

Hazırlanan sert poliüretan köpük karışımı kalıba dökülerek, yaklaşık 40 °C sıcaklığında bulunan rezistanslı pres ile sıkıştırılmış ve sert poliüretan köpüğün oluşması için, ısıtmalı pres altındaki kalıba yaklaşık 30 dakika kürleme işlemi yapılmıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Sert poliüretan köpük malzemenin pres altında kürlenmesi.

### 2.1.3.3. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Kalıplardan Çıkarılması

Kalıptan çıkmaya hazır hale gelen sert poliüretan köpük yapılar için gerekli ekipman önceden hazırlanmıştır. Sert poliüretan köpük yapıların kalıptan çıkartılması esnasında azami hassasiyet gösterilmiştir. Kalıptan çıkartılan sert poliüretan köpüğün varsa çevresindeki çapaklar temizlenmiştir. Köpüğün kütlesi tartılıp, üretim tarihi ve kodu köpüğün üzerine yazıldıktan sonra köpükler oda koşullarında polimerleşme reaksiyonunu tamamlaması için 24 saat bekletilmiştir (Şekil 2.6). Kalıplar aynı anda temizlenerek yeni dökümler için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2.6. Kalıptan çıkarılan sert poliüretan köpük yapılar.

## 2.2. Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Üretim Planı

Takviyesiz ve polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların üretim planı Tablo 2.5'te verilmiştir. Toplamda 20 adet numune üretilmiştir.

Tablo 2.5. Sert poliüretan köpük malzemelerin üretim planı.

Malzeme Türü	Elyaf Uzunluğu (mm)	Poliol (%)	İzosiyanat (%)	Elyaf (%)	Toplam (%)	Poliol (g)	İzosiyanat (g)	Elyaf (g)	Toplam (g)
Mono Filament PP Elyaf	6	50	50	0	100	150	150	0	300
	6	49,75	49,75	0,5	100	149,25	149,25	1,5	300
	6	49,5	49,5	1	100	148,5	148,5	3	300
	6	49,25	49,25	1,5	100	147,75	147,75	4,5	300
	6	49	49	2	100	147	147	6	300
	12	49,75	49,75	0,5	100	149,25	149,25	1,5	300
	12	49,5	49,5	1	100	148,5	148,5	3	300
	12	49,25	49,25	1,5	100	147,75	147,75	4,5	300
	12	49	49	2	100	147	147	6	300
	18	49,75	49,75	0,5	100	149,25	149,25	1,5	300
	18	49,5	49,5	1	100	148,5	148,5	3	300
	3	49,75	49,75	0,5	100	149,25	149,25	1,5	300
	3	49,5	49,5	1	100	148,5	148,5	3	300
	3	49,25	49,25	1,5	100	147,75	147,75	4,5	300
3	49	49	2	100	147	147	6	300	
Fibril (Mesh) PP Elyaf	6	49,75	49,75	0,5	100	149,25	149,25	1,5	300
	6	49,5	49,5	1	100	148,5	148,5	3	300
	6	49,25	49,25	1,5	100	147,75	147,75	4,5	300
	12	49,75	49,75	0,5	100	149,25	149,25	1,5	300
	18	49,75	49,75	0,5	100	149,25	149,25	1,5	300

## 2.3. Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük Malzemelere Uygulanan Testler

Üretilen sert poliüretan köpük yapılarına uygulanan testler ve test standartları Tablo 2.6'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Sert poliüretan köpük yapılarına uygulanan testler.

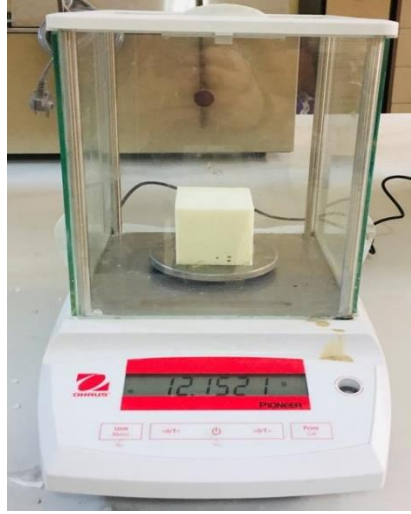
No	Test Adı	Test Standardı
1	Yoğunluk Tespiti	ASTM D 1622-08
2	3 Nokta Eğme Testi	ASTM D 790-03
3	Basma Testi	ASTM D 1621-10
4	Termogravimetrik Analiz (TGA)	ASTM E 1131-08
5	Diferansiyel Termal Analiz (DTA)	
6	Optik Mikroskop Analizi (OM)	ASTM D 3576-04
7	Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM)	

### 2.3.1. Yoğunluk Tespiti

Sert poliüretan köpüklerin spesifik özellikleri; hammadde seçimi, yoğunluğu ve uygulama yöntemi sınırları içinde değişebilir. Yoğunluk, mekanik özelliklerin çoğunu kontrol eden ana değişkenlerden biridir. Polimer ve köpük yapısındaki diğer olası değişikliklerden çok daha büyük bir etkiye sahiptir. Dolayısıyla, yoğunluğun sert poliüretan köpüğün özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi, geniş bir uygulama yelpazesi için önem kazanmıştır [27].

Birçok yazar hücre deformasyonunun mekaniği ile ilgili mekanik davranışa odaklanmıştır. Sert poliüretan köpüğün özelliklerinin yoğunluğunun değişmesiyle nasıl değiştiğini tanımlamak için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Genel olarak, sert poliüretan köpüğün yoğunluğunun, yapının mekanik, morfolojik, izolasyon ve boyutsal stabilitesini etkilediği bulunmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda, tokluğun veya enerji emiliminin, yoğunluktaki artışla arttığı görülmektedir. Sertlik, iz oluşmasına karşı direnç olarak tanımlanmaktadır. Yoğunluk arttığında, köpüğün hücre boyutu azalır ve hücre yapısı küçülür. Bu nedenle, köpükte iz oluşturmak için daha fazla kuvvet gereklidir. Mukavemet özellikleri ise sert poliüretan köpüklerin yoğunluğundaki artışla artar. Bu, Güç yasası ile açıklanabilmektedir [27].

ASTM D 1622-08 standartına göre yapılacak her test öncesi numunelerin boyutları ölçülmüş ve hacimleri hesaplanmıştır [44]. Numuneler teker teker tartılmış, her biri için yoğunluk tespiti yapılmıştır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Yoğunluk tespiti için numelerin hassas terazide tartılma işlemi.

Üretilen malzemenin genişlik, derinlik ve yüksekliği ölçülüp hacmi aşağıdaki formüle (2.1) göre hesaplanmıştır.

$$V = a.b.c \quad (2.1)$$

Burada;

V : hacim (mm<sup>3</sup>)

a : genişlik (mm)

b : derinlik (mm)

c : yükseklik (mm)

Yoğunluk tespiti için tartılan kütle, hesaplanan hacime bölünmüş, yoğunluk ise aşağıdaki formül (2.2) ile hesaplanmıştır [15].

$$\rho = \frac{1000000m}{v} \quad (2.2)$$

Burada;

$\rho$  : yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>)

m : kütle (kg)

v : hacim (m<sup>3</sup>)

### 2.3.2. Eğilme Testi ve Mekanik Özelliklerin Tespiti

Sert poliüretan köpüklerin elastisite modülü, sertlik ve mukavemet gibi mekanik özelliklerini elde etmek için bir dizi deneysel test yapılmaktadır. Polimerik köpüklerin eğilme katsayısı, Yen ve arkadaşları tarafından bulunmuş 3-nokta eğme testi ile belirlenmektedir. Bu tip köpükler için, bu yöntemin test sırasında malzemenin maruz kaldığı lokal deformasyondan dolayı genellikle yanlış olduğunu belirtmişlerdir [35].

Vejelis ve Vaitkus ise genişmiş polistiren levhalardan elde edilen polimerik köpükler için üç ve dört noktalı eğme testleri kullanarak, eğilmedeki elastisite modülünü belirleme olasılığını göstermişlerdir. Her iki yöntemden elde edilen modül değerleri karşılaştırılmış ve farklı test yöntemleri kullanıldığında sonucun farklı olduğu bulunmuştur [35]

Marsavina ve diğ. emdirme işleminin (iki farklı reçineli) oda sıcaklığında sert poliüretan köpüklerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi üzerine çalışmıştır. Eğme mukavemetini ve köpüklerin eğme modülünü belirlemek için 3-nokta eğme testlerini kullanmışlardır. Sonuçlar emdirme işleminin köpüğün sertliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve eğme mukavemeti üzerinde bir etkisi olmadığını göstermektedir. Abeysinghe ve diğ., PU-köpüğün, dikdörtgen giriş numuneleri kullanarak üç nokta eğme testleri üzerindeki eğilme davranışını araştırmaktadır. Bu durumda, sandviç yapılarda kullanılan bu tip köpükler için elastik modül ve eğilme dayanımı hesaplanmıştır [35].

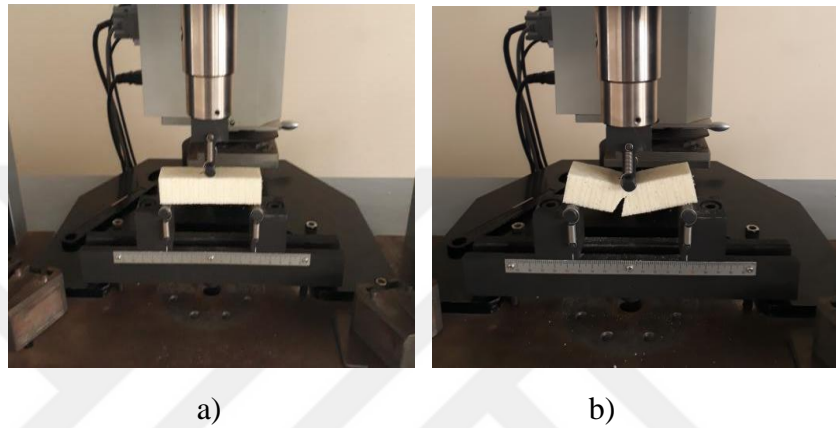
Zhang ve ark. tarafından normalize edilmiş yoğunluğun bir fonksiyonu olarak normalleştirilmiş modülü ve ince yüzeylerin eğme modülü üzerindeki etkisini incelemek amacıyla çok kapalı hücreli polietilen köpük yoğunluğu ( $450-950 \text{ kg/m}^3$ ) için oda sıcaklığındaki eğilme özellikleri değerlendirilmiştir. İnce yüzeylerin polimer köpüklerin eğilme özellikleri üzerinde önemli bir etkisi olduğunu bulmuşlardır [35].

Son olarak, bu malzemelerin hücresel yapısını göz önünde bulundurarak, Saha ve ark. sandviç yapılarda maça olarak kullanılan ve farklı tipteki nanoparçacık türleriyle aşılansmış sert poliüretan köpüğün mikroyapısını araştırmış ve üç nokta eğme testi yapılan köpüğün mekanik özelliklerini ortaya çıkarmışlardır [35].

Sert poliüretan köpük yapıların eğilme dayanımı özellikleri ASTM D 790-03 standardına uygun olarak 3-nokta eğilme metodu kullanılarak belirlenmiştir [41].

Eğilme dayanımı testi, Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'ndeki (TAUM), Shimadzu AG-XD 50 (Japonya) model cihaz kullanılarak yapılmıştır. Test sonuçları Trapezium® yazılımı vasıtasıyla alınmıştır.

3-nokta eğilme testi için 25 x 25 x 100 mm ebatlarında numuneler hazırlanmıştır. Test hızı, 2.5 mm/dakika olarak belirlenmiştir. Şekil 2.8'de eğilme dayanımı testi öncesi ve test sonrasında numune görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2. 8. Eğilme testi esnasındaki görüntüler, (a) test öncesi, (b) test sonrası.

### 2.3.3. Basma Testi ve Mekanik Özelliklerin Tespiti

Sert poliüretan köpük yapıların basma dayanımı özellikleri ASTM D 1621-10 standardına uygun olarak belirlenmiştir [42]. Deneyde kullanılacak numunenin kesit alanı en az 25,8 cm<sup>2</sup> (4 in<sup>2</sup>) ve en fazla 232 cm<sup>2</sup> (36 in<sup>2</sup>) olmalıdır. Minimum yükseklik 25,4 mm (1 in) ve maksimum yükseklik ise numunenin genişlik veya çapından büyük olmamalıdır.

Bu standart değerlerine göre, basma testi için 50 x 50 x 40 mm ebatlarında numuneler hazırlanmıştır. Basma testi, üretilen her bir yapıya 3'er kez test tekrarı ile uygulanmıştır. Test hızı, 2.5 mm/dakika olarak belirlenmiştir.

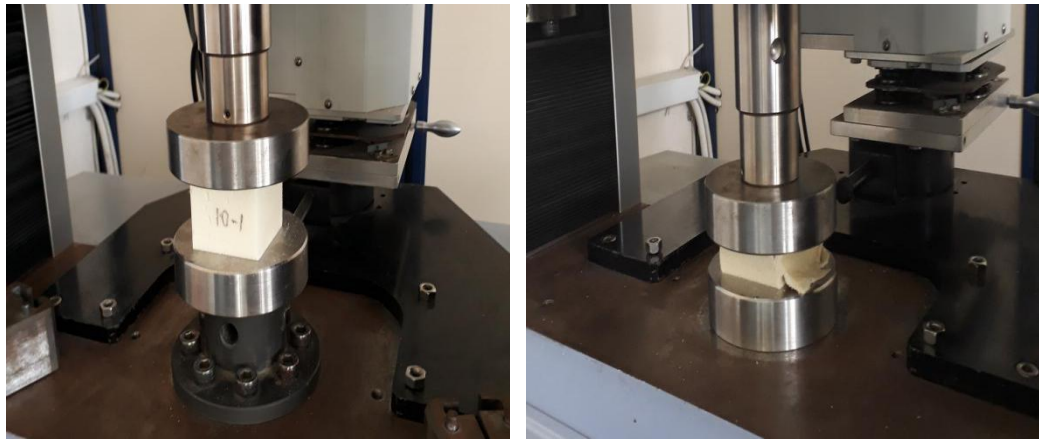
Basma dayanımı testi, Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'ndeki (TAUM), Shimadzu AG-XD 50 (Japonya) model cihaz kullanılarak yapılmıştır. Test sonuçları Trapezium® yazılımı vasıtasıyla alınmıştır.

Şekil 2.9'da, basma dayanımı test cihazı gösterilmiştir. Şekil 2.10'da, basma dayanımı testi öncesi ve test sonrasında numune görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2.9. Sert poliüretan köpük numunenin basma test cihazına yerleştirilmesi.

ASTM D1621-10 basma testi standardına göre, basma testi, numunenin başlangıç kalınlığının % 13'ü kadar azaldığı anda testin sonlandırılması gerekmektedir. Bu yüzden tez kapsamında yapılan basma testlerinde, numunelerin başlangıç kalınlığı %13'e ulaşana kadar test işlemine devam edilmiştir.



a)

b)

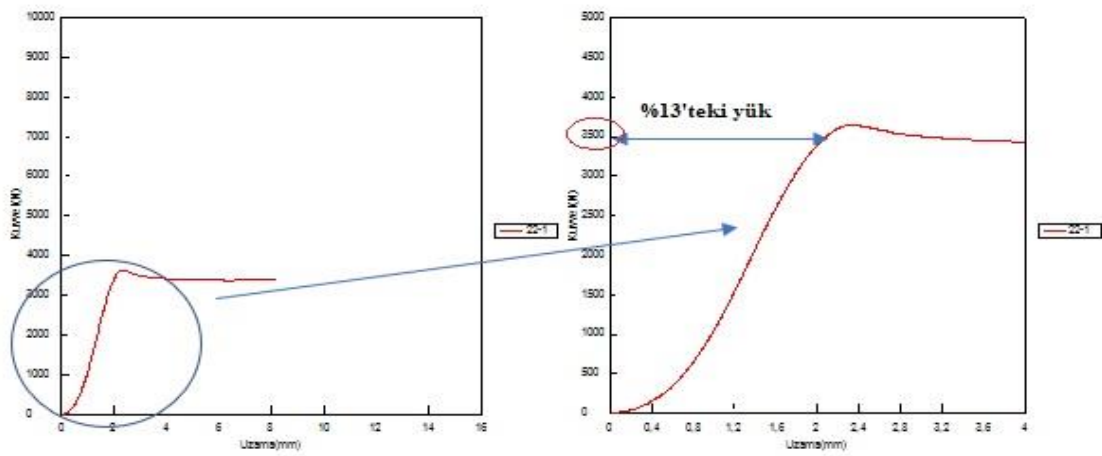
Şekil 2. 10. Basma testi esnasında numunenin görüntüleri, (a) test öncesi, (b) test sonrası.

ASTM D1621-10 basma testi standardına göre, bazı hesaplamalar, numunenin başlangıçtaki kalınlığının %13 kadar azaldığı kalınlık değerine göre yapılmaktadır. Buna göre, aşağıda örnek bir hesaplama verilmiştir;

Örneğin numune kalınlığı = 45 mm olsun,

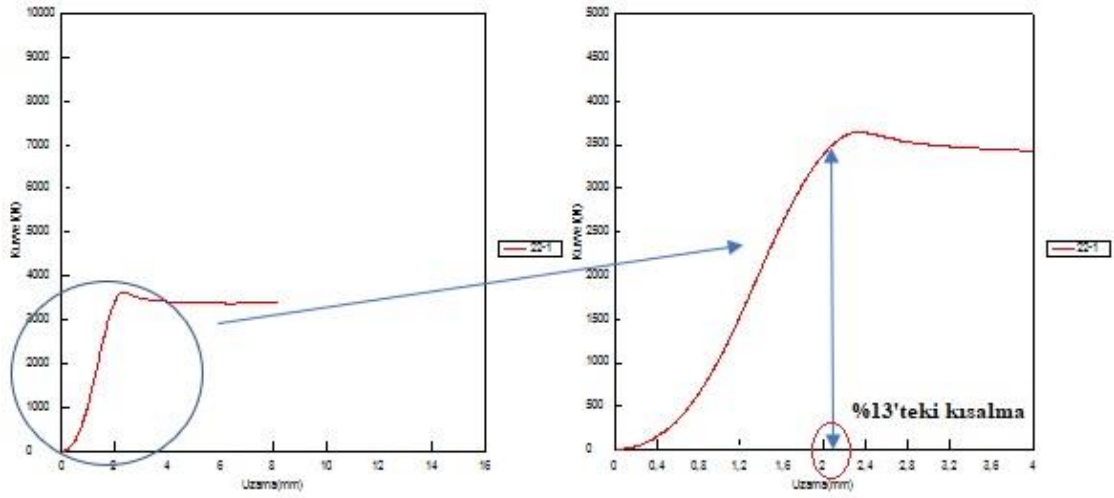
$$45 \times 13 / 100 = 5.85 \text{ mm}$$

% 13'teki kalınlık kısalması ya da akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen basma yükü, her bir numunenin kalınlık kaybının %13'ü hesaplanarak, 'Kuvvet (N)-Kısalma (mm)' grafiği üzerinden bu kalınlığa karşılık gelen basma yükü değeri Şekil 2.11'deki gibi belirlenmiştir



Şekil 2.11. Kuvvet (N)- Kısalma (mm)' grafiği üzerinden % 13'teki basma yükü.

% 13'teki kalınlık kısalması ya da akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen basma kısalması, her bir numunenin kalınlık kaybının %13'ü hesaplanarak, 'Kuvvet (N)- Kısalma (mm)' grafiği üzerinden bu kalınlığa karşılık gelen basma kısalması değeri Şekil 2.12'de gibi belirlenmiştir [36].



Şekil 2.12. Kuvvet (N)- Kısıalma (mm)' grafiği üzerinden % 13'teki basma kısılması.

Basma dayanımı hesaplamaları, ASTM D1621-10 basma dayanımı testi standardına göre, aşağıdaki formül kullanılarak yapılmaktadır.

$$C_s = \frac{P_{(\%13)}}{A} \quad (2.3)$$

Burada;

$C_s$  : Basma Dayanımı, MPa

$P_{(\%13)}$  : %13 kalınlık değerine karşılık gelen yük, N

$A$  : Basılan alan,  $\text{mm}^2$

#### 2.3.4. Termogravimetrik Analiz (TGA)

Üretimde kullanılan takviye malzemesi polipropilen elyafın ve üretilen sert poliüretan köpük malzemelerin ısıl bozunma davranışları Şekil 2.13'te görülen Perkin Elmer Diamond TGA cihazı ile incelenmiştir.

Bu cihaz, artan sıcaklığa ve zamana bağlı olarak organik veya anorganik numunelerin kütle değişimini (TGA), referans ve örnek arasındaki sıcaklık farkını (DTA) aynı anda ölçmektedir.



Şekil 2.13. Perkin Elmer Diamond TGA cihazı.

TGA/DTA cihazı ile transformasyon, buharlaşma, süblimleşme, dekompozisyon, dekarbonasyon, dehidrosilasyon, dehidrasyon, organik maddelerin, kömür, yağ ve yakıtların yanma ürünleri, metallerin oksidasyonu, redüklenme, sinterizasyon, korozyon, polimerlerin bozunması gibi uygulamalar yapılabilmektedir. TGA ile kimyasal ve doğal lif esaslı tekstil malzemelerin (lif, iplik, kumaş) ısıya ve alev dayanıklılığı kalite kontrol amacı ile test edilebilmektedir. DTA erime, kaynama, parçalanma noktalarını yüksek bir doğrulukla tayin eder. Ayrıca kristallenme ve faz değişimleri hakkında bilgi vermektedir [37].

Yapılan testler ASTM E1131-08 standartına göre, alüminyum ve seramik kaplarda kütlece küçük bir miktar malzeme ile gerçekleştirilmiştir [45]. Ölçümlerde sert poliüretan köpük malzemeler 200 ml/dk debideki azot ( $N_2$ ) atmosferinde ve 20 °C/dk sıcaklık artış hızında 900 °C'ye kadar seramik kaplarda ısıtılmıştır. Numunelerin kütle değişim davranışını gösteren TG ve DTG eğrileri çizilmiştir. Böylece malzemenin termal davranışı tespit edilmiştir [15].

#### 2.3.4. Optik Mikroskop (OM) Analizi

Sert poliüretan köpüklerin hücre boyutu ve geometrisi ile hücre kenarlarını tanımlayan desteklerin yanı sıra rijitlik ve gerilme kuvvetleri gibi mikroyapısal özellikleri incelenmektedir. Hücre deformasyonu ve kırılması mikroskopi ile tanımlanıp ve mikromekanik analiz edilmektedir [22]. Bu amaçla optic mikroskop kullanılarak ASTM D 3576-04 standardına göre sert poliüretan köpüğün hücre yapısı incelenmiştir [46].

Üretilen sert poliüretan yapıların görüntü analizleri, optik mikroskop (ZEISS Axio Lab.A1, Almanya) ve AxioVision görüntü işleme yazılımı vasıtasıyla yapılmıştır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. ZEISS Axio Lab.A1 Optik Mikroskop.

### 2.3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Sert poliüretan köpük yapıların, SEM lif/köpük arayüz görüntüleri, Erciyes Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (ERNAM)'nde ZEISS EVO® LS 10 model cihaz kullanılarak alınmıştır (Şekil 2.15). Elektron iletkenliğini sağlamak amacıyla, yapıların yüzeyi altın ile kaplanmıştır. % 0,5 Fibril 6 mm, Fibril 18 mm polipropilen takviyeli, %1,5 Mono 3 mm, Mono 6 mm, Mono 12 mm, Mono 18 mm polipropilen takviyeli ve takviyesiz sert poliüretan köpük malzemelerin SEM analizleri yapılmıştır.



Şekil 2.15. ZEISS EVO® LS 10 Taramalı Elektron Mikroskobu.

## 3. BÖLÜM

### BULGULAR

#### 3.1. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Yoğunluk Sonuçları

Tablo 3.1’de, sert poliüretan köpük yapıların yoğunluk sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.1. Sert poliüretan köpük yapıların yoğunluk sonuçları.

Malzeme Türü	Elyaf Uzunluğu (mm)	Elyaf (%)	Test Numune No	Yapı Ağırlığı (g)	Yapı Boyutları (boy x en x kalınlık) (mm)	Yapı Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
Takviyesiz	6	0	10	13,24	48x51x50	108,17
Monofilament PP Elyaf	6	0,5	26	14,35	50x51x51	110,34
Monofilament PP Elyaf	6	1	20	13,50	51x44x49	122,78
Monofilament PP Elyaf	6	1,5	22	16,49	50x51x50	129,33
Monofilament PP Elyaf	6	2	23	10,28	28x50x50	146,86
Monofilament PP Elyaf	12	0,5	15	14,39	50x51x50	112,86
Monofilament PP Elyaf	12	1	18	14,30	51x50x50	112,16
Monofilament PP Elyaf	12	1,5	21	15,73	50x51x50	123,37
Monofilament PP Elyaf	12	2	28	15,07	50x50x51	118,20
Monofilament PP Elyaf	18	0,5	30	14,73	50x51x50	115,53
Monofilament PP Elyaf	18	1	29	15,02	51x42x50	140,24
Monofilament PP Elyaf	3	0,5	12	14,58	51x50x50	114,35
Monofilament PP Elyaf	3	1	13	14,89	51x50x51	114,49
Monofilament PP Elyaf	3	1,5	14	16,31	50x51x52	123,00
Monofilament PP Elyaf	3	2	17	13,15	51x44x51	114,90
Fibril (Mesh) PP Elyaf	6	0,5	3	13,54	50x51x51	104,11
Fibril (Mesh) PP Elyaf	6	1	5	12,95	51x69x51	72,16
Fibril (Mesh) PP Elyaf	6	1,5	8	14,12	51x50x52	106,49
Fibril (Mesh) PP Elyaf	6	2	1	10,67	51x43x50	97,31
Fibril (Mesh) PP Elyaf	12	0,5	2	13,27	49x51x49	108,37
Fibril (Mesh) PP Elyaf	18	0,5	4	13,80	50x51x51	106,11

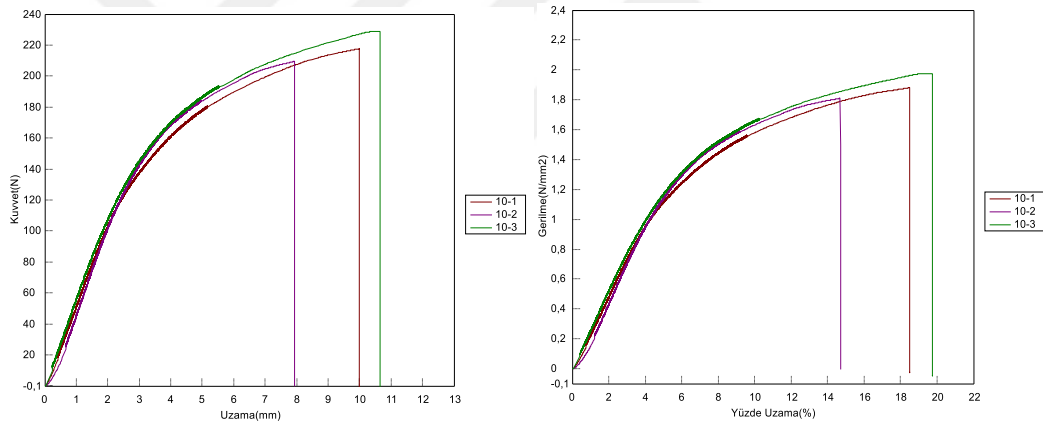
### 3.2. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Eğilme Testi Sonuçları

#### 3.2.1. Takviyesiz Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Eğilme Testi Sonuçları

Takviyesiz sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.2 ve Şekil 3.1’de verilmiştir..

Tablo 3.2. Takviyesiz sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Takviyesiz sert poliüretan köpük yapılar	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	10-1	10-2	10-3			
Eğilme yükü, N	217,613	209,475	228,755	218,614	9,679	4,427
Eğilme uzaması, mm	9,938	7,875	10,625	9,479	1,431	15,098
Eğilme dayanımı, MPa	1,880	1,810	1,976	1,889	0,084	4,427
Eğilme yüzde uzaması, %	18,491	14,686	19,316	17,498	2,470	14,116
Eğilme modülü, GPa	0,028	0,021	0,025	0,025	0,004	14,237



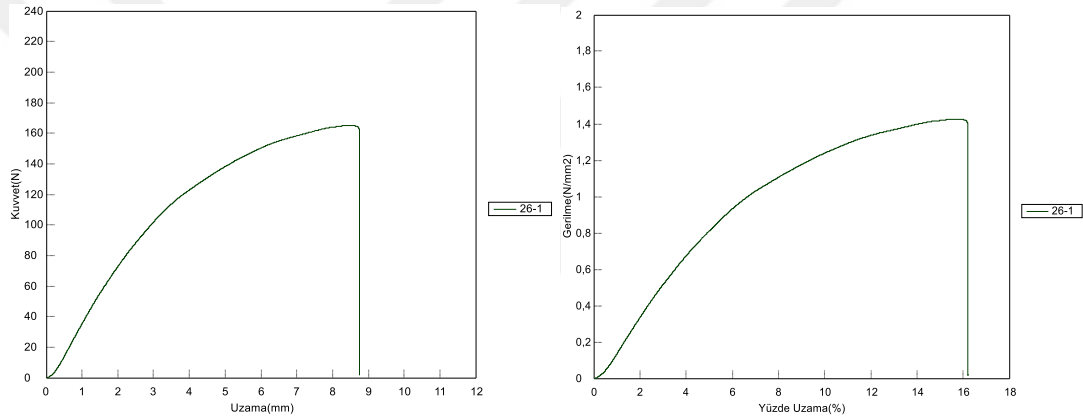
Şekil 3.1. Takviyesiz sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

#### 3.2.2. Mono Polipropilen Elyaf Takviyeli Kompozit Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Eğilme Testi Sonuçları

Monofilament 6 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.3 ve Şekil 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.3. % 0,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Mono 6 takviyeli sert poliüretan köpük yapılar (%0,5)	Test Numune No
Eğilme yükü, N	165,065
Eğilme uzaması, mm	8,625
Eğilme dayanımı, MPa	1,426
Eğilme yüzde uzaması, %	15,705
Eğilme modülü, GPa	0,020

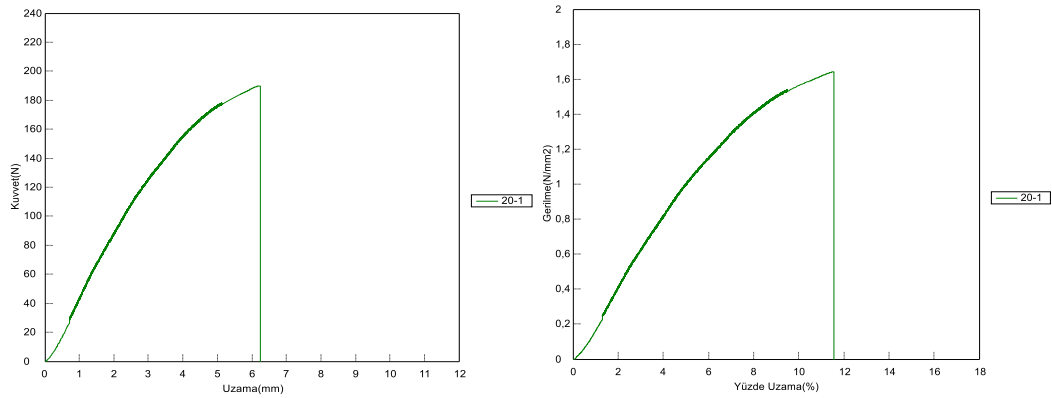


Şekil 3.2. % 0,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 6 mm % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.4 ve Şekil 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.4. % 1 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Mono 6 takviyeli sert poliüretan köpük yapılar (%1)	Test Numune No
Eğilme yükü, N	189,996
Eğilme uzaması, mm	6,188
Eğilme dayanımı, MPa	1,641
Eğilme yüzde uzaması, %	11,535
Eğilme modülü, GPa	0,021

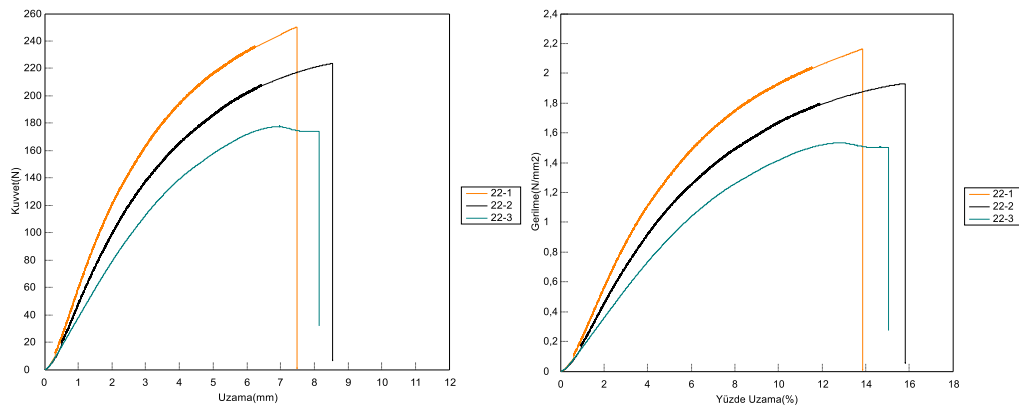


Şekil 3.3. % 1 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 6 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.5 ve Şekil 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.5. % 1,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Mono 6 sert poliüretan köpük yapılar (%1,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	22-1	22-2	22-3			
Eğilme yükü, N	250,300	223,517	177,662	217,160	36,734	16,916
Eğilme uzaması, mm	7,438	8,500	7,063	7,667	0,745	9,722
Eğilme dayanımı, MPa	2,162	1,931	1,535	1,876	0,317	16,916
Eğilme yüzde uzaması, %	13,871	15,803	12,923	14,199	1,467	10,334
Eğilme modülü, GPa	0,029	0,022	0,020	0,024	0,005	20,753

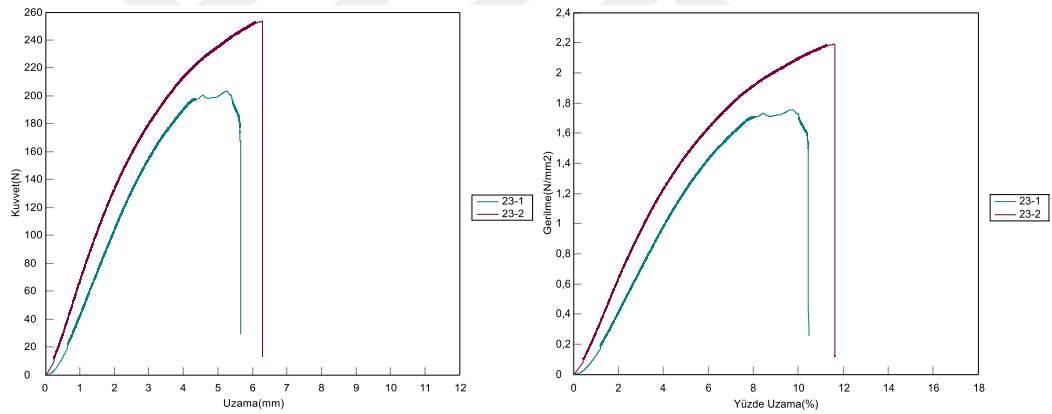


Şekil 3.4. % 1,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 6 mm %2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.6 ve Şekil 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.6. % 2 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Mono 6sert poliüretan köpük yapılar (%2)	Test Numune No		Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	23-1	23-2			
Eğilme yükü, N	203,252	253,360	228,306	35,432	15,519
Eğilme uzaması, mm	5,375	6,313	5,844	0,663	11,350
Eğilme dayanımı, MPa	1,756	2,189	1,973	0,306	15,519
Eğilme yüzde uzaması, %	9,738	11,623	10,681	1,333	12,484
Eğilme modülü, GPa	0,022	0,029	0,026	0,005	19,411

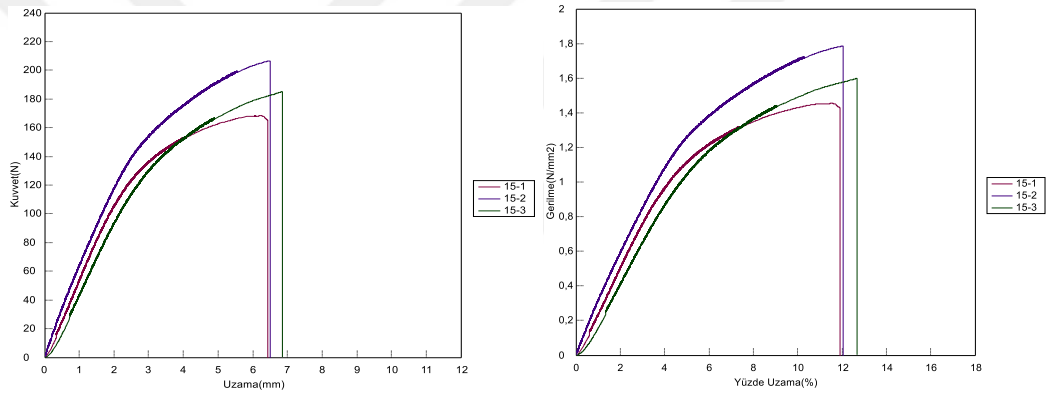


Şekil 3.5. % 2 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 12 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.7 ve Şekil 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.7. % 0,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Mono 12 sert poliüretan köpük yapılar (%0,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	15-1	15-2	15-3			
Eğilme yükü, N	168,236	206,542	185,021	186,600	19,202	10,290
Eğilme uzaması, mm	6,188	6,500	6,813	6,500	0,313	4,807
Eğilme dayanımı, MPa	1,453	1,784	1,598	1,612	0,166	10,290
Eğilme yüzde uzaması, %	11,565	12,022	12,677	12,089	0,559	4,623
Eğilme modülü, GPa	0,034	0,032	0,022	0,029	0,006	21,917

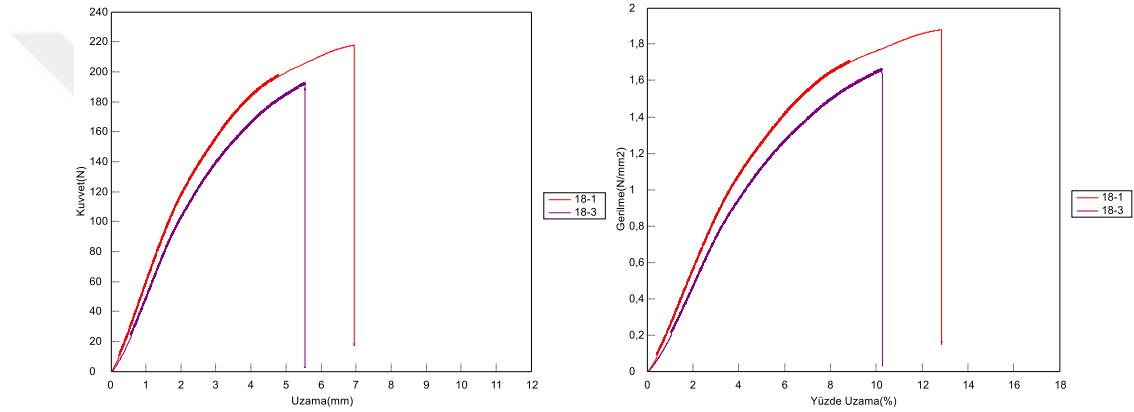


Şekil 3.6. % 0,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 12 mm % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.8 ve Şekil 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.8. % 1 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Mono 12 sert poliüretan köpük yapılar (%1)	Test Numune No		Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	18-1	18-2			
Eğilme yükü, N	217,676	192,714	205,195	17,651	8,602
Eğilme uzaması, mm	6,938	5,500	6,219	1,017	16,35
Eğilme dayanımı, MPa	1,880	1,665	1,773	0,153	8,602
Eğilme yüzde uzaması, %	12,869	10,230	11,550	1,866	16,16
Eğilme modülü, GPa	0,026	0,022	0,024	0,003	11,785

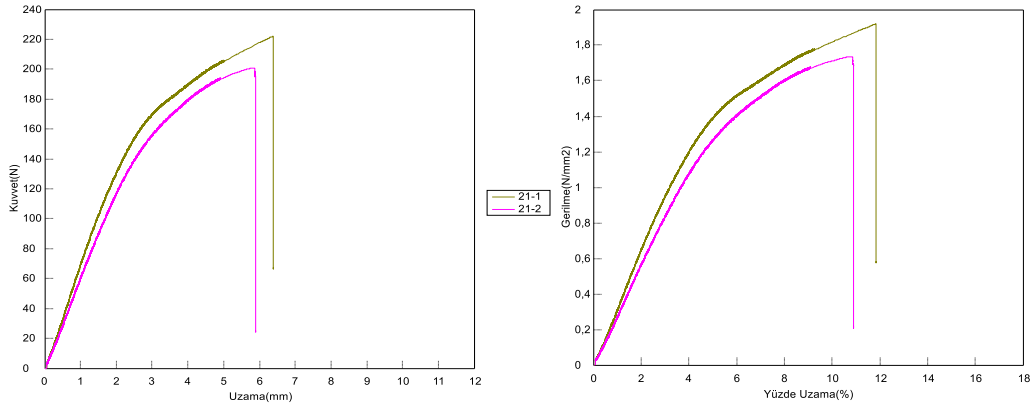


Şekil 3.7. % 1 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 12 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.9 ve Şekil 3.8’da verilmiştir.

Tablo 3.9. % 1,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Mono 12 poliüretan sert köpük yapılar (%1,5)	Test Numune No		Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	21-1	21-2			
Eğilme yükü, N	222,087	200,939	211,513	14,954	7,07
Eğilme uzaması, mm	6,375	5,875	6,125	0,354	5,772
Eğilme dayanımı, MPa	1,918	1,736	1,827	0,129	7,07
Eğilme yüzde uzaması, %	11,831	10,806	11,319	0,725	6,402
Eğilme modülü, GPa	0,03	0,026	0,028	0,003	10,102

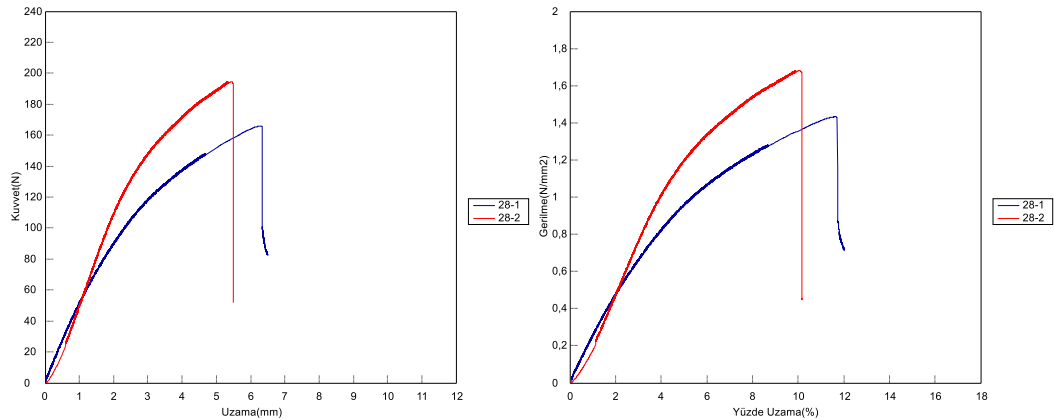


Şekil 3.8. % 1,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 12 mm % 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.10 ve Şekil 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.10. % 2 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Mono 12 sert poliüretan köpük yapılar (%2)	Test Numune No		Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	28-1	28-2			
Eğilme yükü, N	165,788	194,685	180,237	20,433	11,337
Eğilme uzaması, mm	6,250	5,500	5,875	0,53	9,027
Eğilme dayanımı, MPa	1,432	1,682	1,557	0,177	11,337
Eğilme yüzde uzaması, %	11,618	10,081	10,85	1,086	10,013
Eğilme modülü, GPa	0,024	0,021	0,023	0,002	9,428

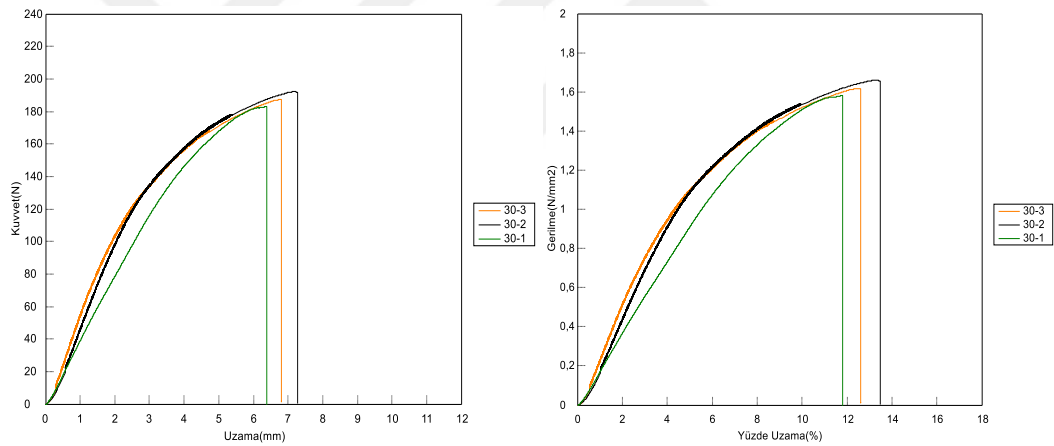


Şekil 3.9. % 2 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 18 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.11 ve Şekil 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3. 11. % 0,5 Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

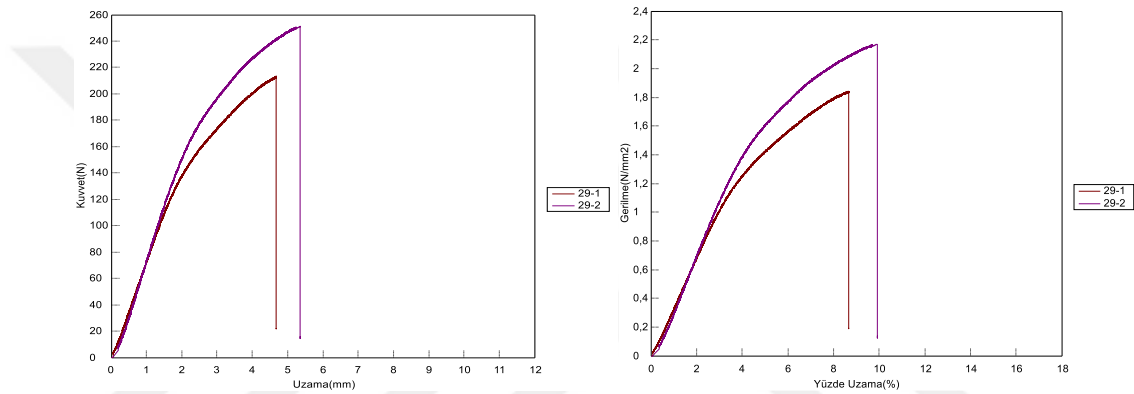
Mono 18 sert poliüretan köpük yapılar (%0,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	30-1	30-2	30-3			
Eğilme yükü, N	183,010	192,261	187,294	187,522	4,63	2,469
Eğilme uzaması, mm	6,375	7,250	6,750	6,792	0,439	6,464
Eğilme dayanımı, MPa	1,581	1,661	1,618	1,62	0,04	2,469
Eğilme yüzde uzaması, %	11,813	13,281	12,587	12,561	0,734	5,846
Eğilme modülü, GPa	0,02	0,022	0,027	0,023	0,004	15,676



Monofilament 18 mm % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.12 ve Şekil 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.12. % 1 Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Mono 18 sert poliüretan köpük yapılar (%1)	Test Numune No		Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	29-1	29-2			
Eğilme yükü, N	213,234	251,007	232,121	26,71	11,507
Eğilme uzaması, mm	8,625	9,875	9,250	0,884	9,555
Eğilme dayanımı, MPa	1,842	2,168	2,006	0,231	11,507
Eğilme yüzde uzaması, %	8,670	9,909	9,290	0,876	9,431
Eğilme modülü, GPa	0,032	0,032	0,032	0	0

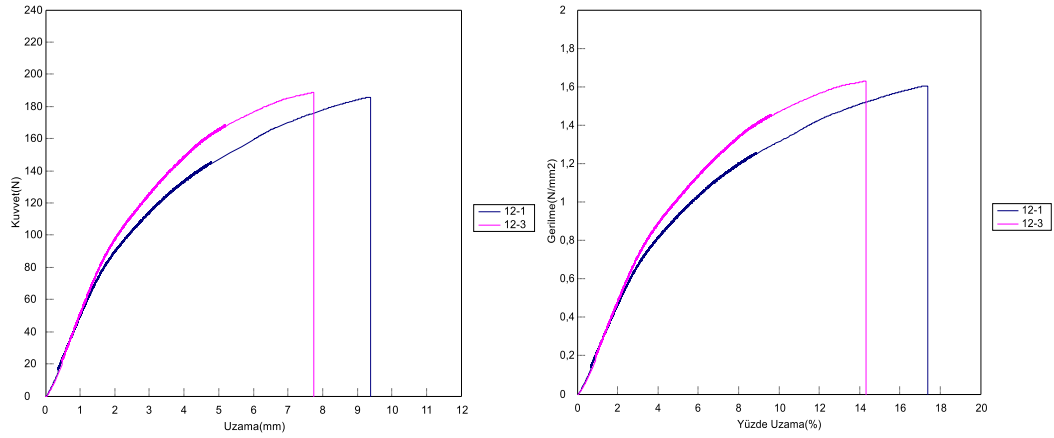


Şekil 3.11. % 1 Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 3 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.13 ve Şekil 3.12’de verilmiştir.

Tablo 3. 13. % 0,5 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Mono 3 sert poliüretan köpük yapılar (%0,5)	Test Numune No		Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	12-1	12-2			
Eğilme yükü, N	185,657	188,756	187,207	2,191	1,171
Eğilme uzaması, mm	9,375	7,750	8,563	1,149	13,42
Eğilme dayanımı, MPa	1,604	1,630	1,617	0,019	1,171
Eğilme yüzde uzaması, %	17,357	14,334	15,846	2,138	13,491
Eğilme modülü, GPa	0,032	0,023	0,028	0,006	23,142

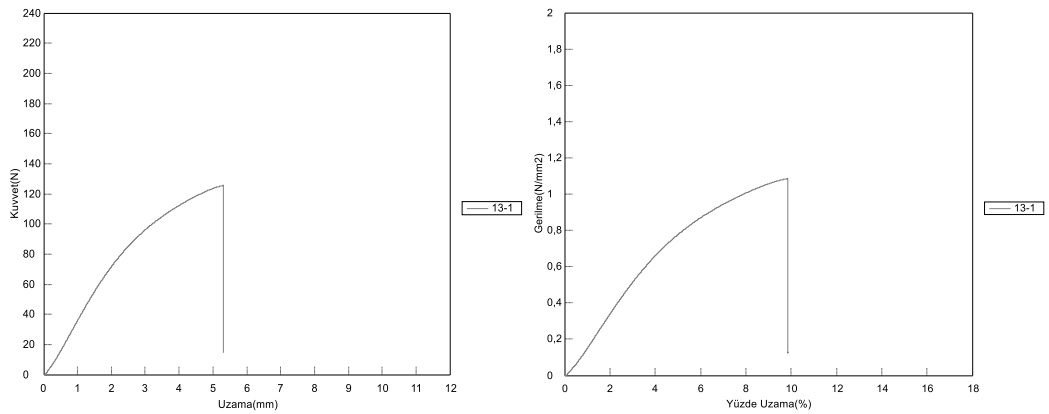


Şekil 3.12. % 0,5 Mono3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 3 mm % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.14 ve Şekil 3.13'te verilmiştir.

Tablo 3. 14. % 1 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Mono 3 sert poliüretan köpük yapılar (%1)	Test Numune No
Eğilme yükü, N	125,583
Eğilme uzaması, mm	5,250
Eğilme dayanımı, MPa	1,085
Eğilme yüzde uzaması, %	9,841
Eğilme modülü, GPa	0,018

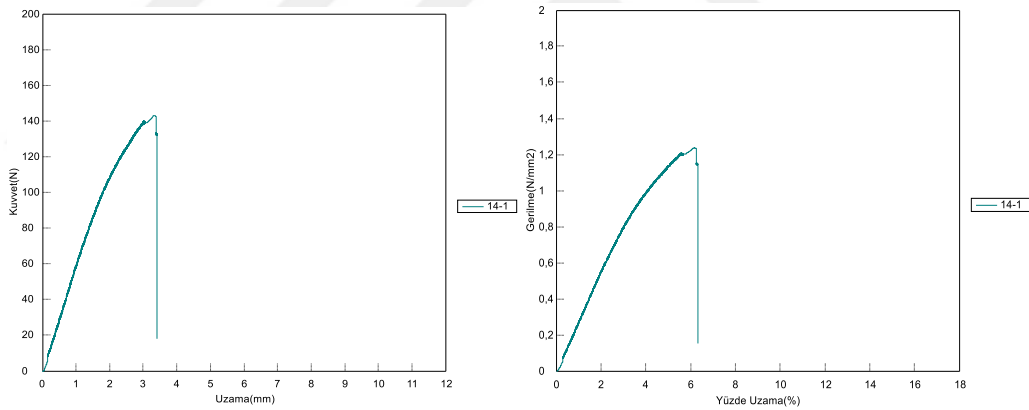


Şekil 3.13. % 1 Mono3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 3 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.15 ve Şekil 3.14'te verilmiştir

Tablo 3.15. % 1,5 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Mono 3 sert poliüretan köpük yapılar (%1,5)	Test Numune No
Eğilme yükü, N	143,123
Eğilme uzaması, mm	3,438
Eğilme dayanımı, MPa	1,236
Eğilme yüzde uzaması, %	6,188
Eğilme modülü, GPa	0,026

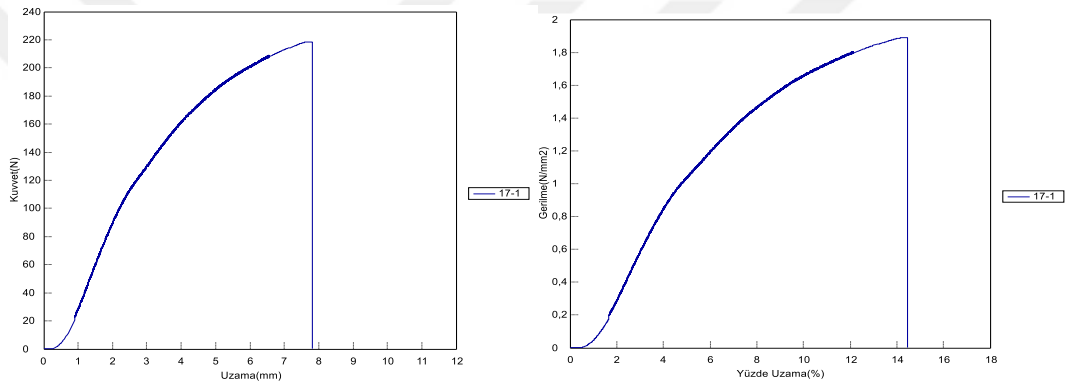


Şekil 3.14. % 1,5 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 3 mm % 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.16 ve Şekil 3.15'te verilmiştir.

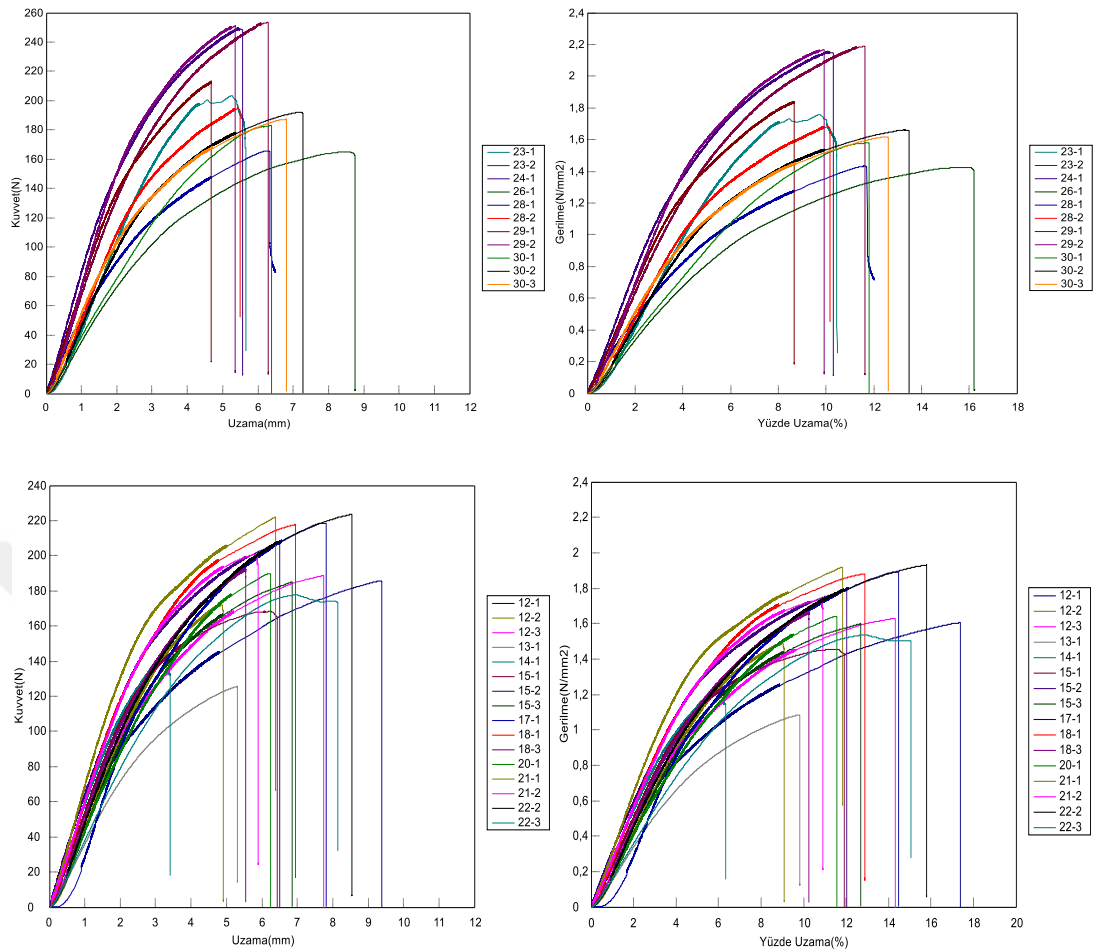
Tablo 3.16. % 1,5 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Mono 3 sert poliüretan köpük yapılar (%2)	Test Numune No
Eğilme yükü, N	218,646
Eğilme uzaması, mm	7,688
Eğilme dayanımı, MPa	1,889
Eğilme yüzde uzaması, %	14,360
Eğilme modülü, GPa	0,021



Şekil 3.15. % 2 Mono3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament PP elyaf takviyeli yapıların tümünün eğilme testi kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri Şekil 3.16'da verilmiştir.



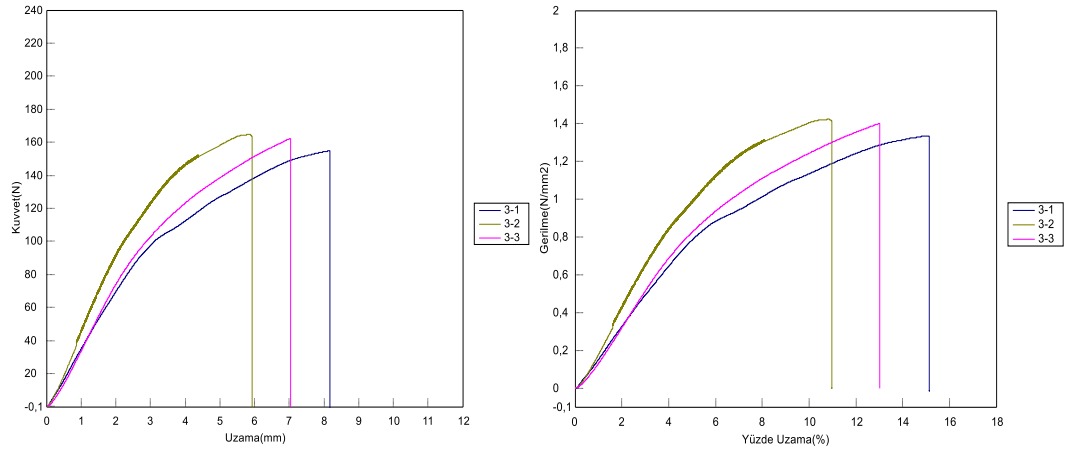
Şekil 3.16. Monofilament polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

### 3.2.3. Fibril (Mesh) Polipropilen Elyaf Takviyeli Kompozit Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Eğilme Testi Sonuçları

Fibril mesh 6 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.17 ve Şekil 3.17’de verilmiştir.

Tablo 3.17. % 0,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Fibril 6 sert poliüretan köpük yapılar (%0,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	3-1	3-2	3-3			
Eğilme yükü, N	154,63	164,76	162,32	160,569	5,287	3,293
Eğilme uzaması, mm	8,200	5,919	7,029	7,049	1,141	16,181
Eğilme dayanımı, MPa	1,336	1,423	1,402	1,387	0,046	3,293
Eğilme yüzde uzaması, %	15,113	10,83	13,034	12,992	2,142	16,485
Eğilme modülü, GPa	0,016	0,021	0,017	0,018	0,003	14,699

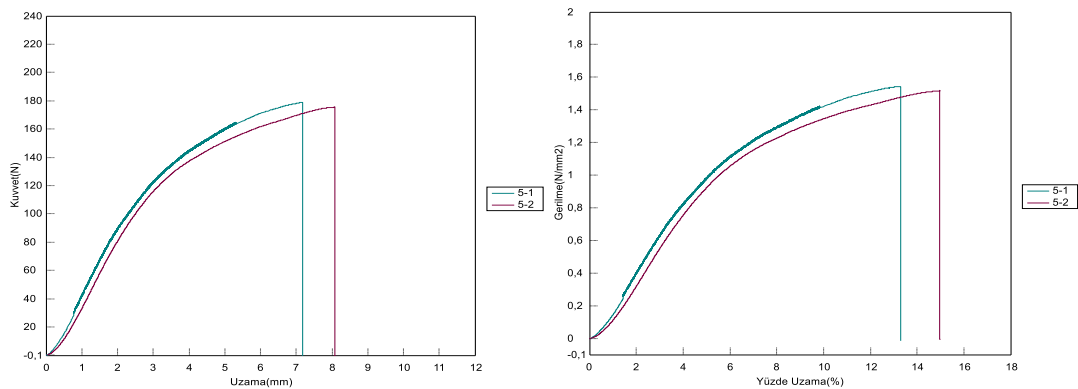


Şekil 3.17. % 0,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Fibrilmesh 6 mm % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.18 ve Şekil 3.18'de verilmiştir.

Tablo 3.18. % 1 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Fibril 6 sert poliüretan köpük yapılar (%1)	Test Numune No		Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	5-1	5-2			
Eğilme yükü, N	178,719	175,619	177,169	2,192	1,237
Eğilme uzaması, mm	7,152	8,077	7,615	0,654	8,59
Eğilme dayanımı, MPa	1,544	1,517	1,531	0,019	1,237
Eğilme yüzde uzaması, %	13,267	14,980	14,124	1,211	8,573
Eğilme modülü, GPa	0,019	0,018	0,019	0,001	3,822

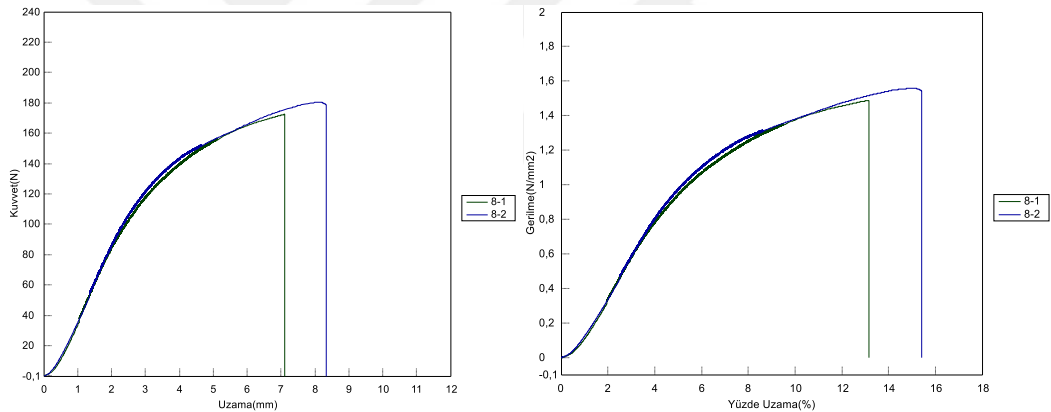


Şekil 3.18. % 0,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Fibrilmesh 6 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.19 ve Şekil 3.19’da verilmiştir.

Tablo 3.19. % 1,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Fibril 6 poliüretan sert köpük yapılar (%1,5)	Test Numune No		Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	8-1	8-2			
Eğilme yükü, N	172,345	180,284	176,315	5,614	3,184
Eğilme uzaması, mm	7,091	7,645	7,368	0,392	5,317
Eğilme dayanımı, MPa	1,489	1,557	1,523	0,049	3,184
Eğilme yüzde uzaması, %	13,165	15,105	14,135	1,372	9,705
Eğilme modülü, GPa	0,019	0,02	0,02	0,001	3,626

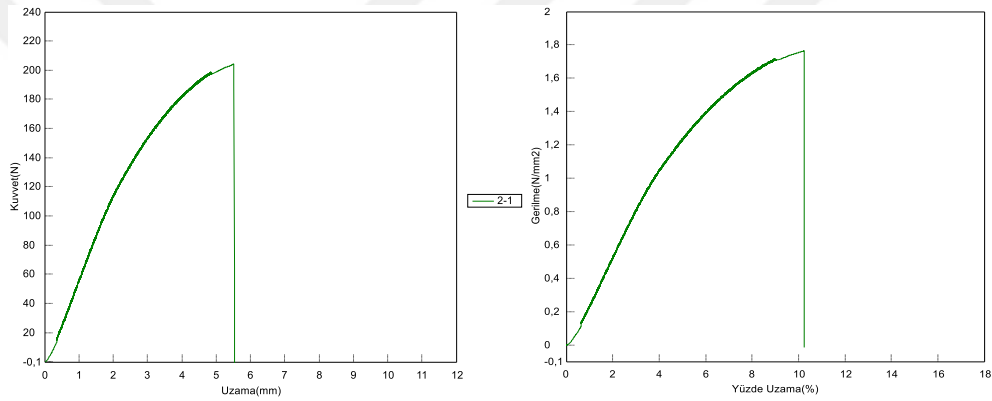


Şekil 3.19. % 1,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Fibrilmesh 12 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.20 ve Şekil 3.20’de verilmiştir.

Tablo 3.20. % 0,5 Fibril 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Fibril 12 sert poliüretan köpük yapılar (%0,5)	Test Numune No
Eğilme yükü, N	204,269
Eğilme uzaması, mm	5,487
Eğilme dayanımı, MPa	1,764
Eğilme yüzde uzaması, %	10,232
Eğilme modülü, GPa	0,037

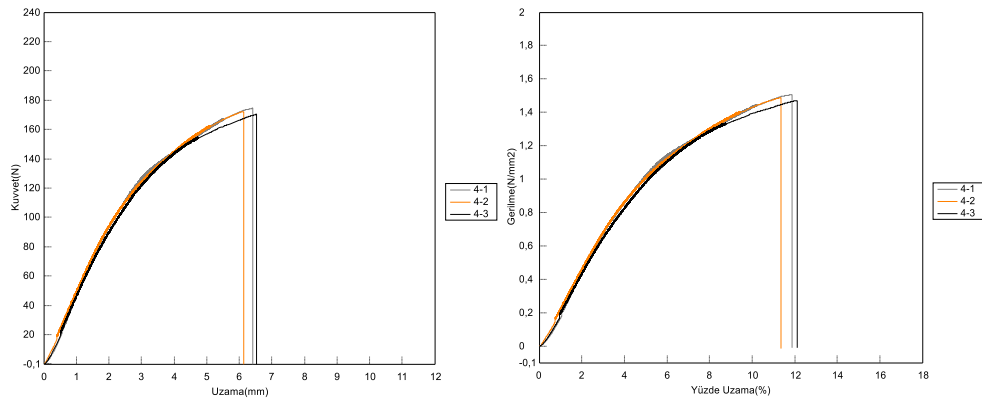


Şekil 3. 20. % 0,5 Fibril 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Fibrilmesh 18 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme test sonuçları ve kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.21 ve Şekil 3.21’te verilmiştir.

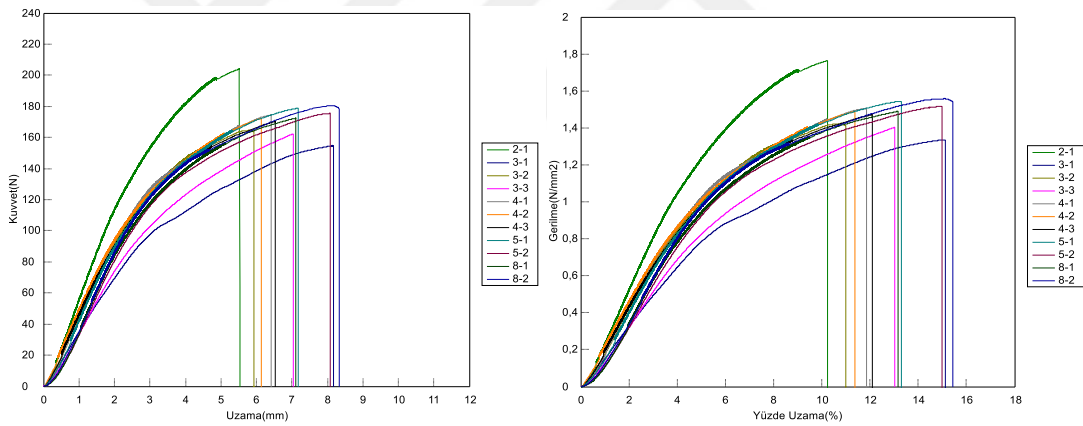
Tablo 3.21. % 0,5 Fibril 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme testi sonuçları.

Fibril 18 sert poliüretan köpük yapılar (%0,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	4-1	4-2	4-3			
Eğilme yükü, N	174,467	172,281	170,302	172,35	2,083	1,209
Eğilme uzaması, mm	6,351	6,166	6,536	6,351	0,185	2,913
Eğilme dayanımı, MPa	1,507	1,488	1,471	1,489	0,018	1,209
Eğilme yüzde uzaması, %	11,869	11,371	12,107	11,783	0,376	3,187
Eğilme modülü, GPa	0,022	0,025	0,022	0,023	0,002	7,531



Şekil 3.21. % 0,5 Fibril 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Fibrilmesh PP elyaf takviyeli sert poliüretan yapıların tümünün eğilme testi kuvvet-uzama ve gerilme-yüzde uzama grafikleri Şekil 3.22’te verilmiştir.



Şekil 3.22. Fibril PP takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin eğilme grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

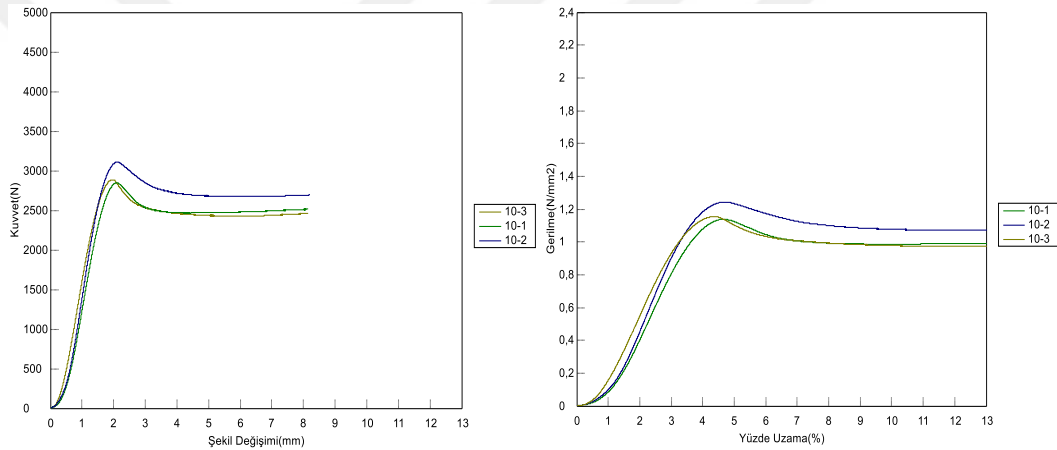
### 3.3. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Basma Testi Sonuçları

#### 3.3.1. Takviyesiz Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Basma Testi Sonuçları

Takviyesiz sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.22 ve Şekil 3.23’te verilmiştir.

Tablo 3.22. Takviyesiz sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Takviyesiz sert poliüretan köpük yapılar	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	10-1	10-2	10-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	2846,8	3108,6	2886,1	2947,15	141,159	4,79
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	2,085	2,085	1,956	2,042	0,074	3,647
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,138	1,243	1,154	1,179	0,056	4,789



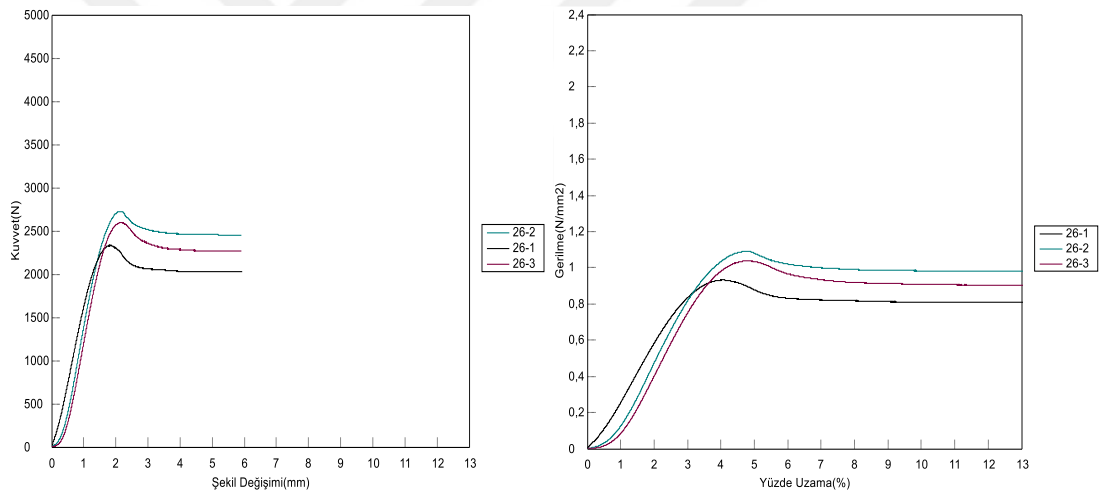
Şekil 3.23. Takviyesiz sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-şekil değişimi, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

### 3.3.2. Mono Polipropilen Elyaf Takviyeli Kompozit Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Basma Testi Sonuçları

Monofilament 6 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.23 ve Şekil 3.24'te verilmiştir.

Tablo 3.23. % 0,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Mono 6 sert poliüretan köpük yapılar (%0,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	26-1	26-2	26-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	2331,26	2726,30	2595,16	2550,90	201,204	7,888
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	1,782	2,109	2,109	2	0,189	9,44
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	0,932	1,095	1,038	1,022	0,083	8,077

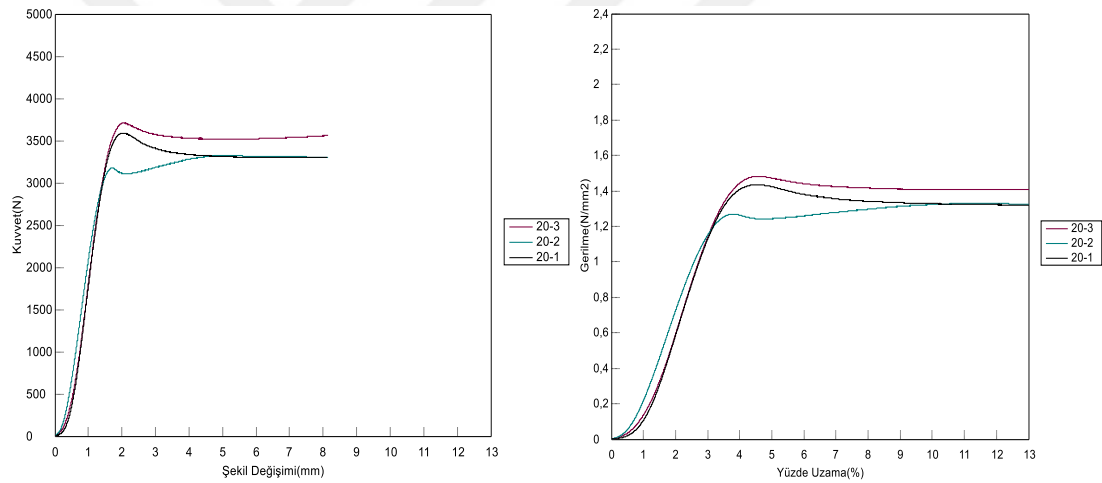


Şekil 3.24. % 0,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 6 mm % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.24 ve Şekil 3.25’da verilmiştir.

Tablo 3.24. % 1 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

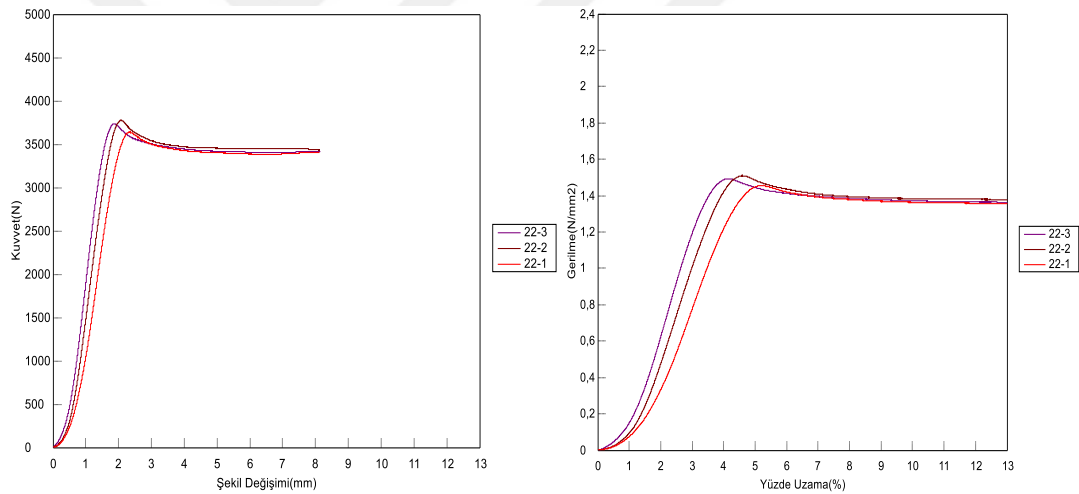
Mono 6 sert poliüretan köpük yapılar (%1)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	20-1	20-2	20-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	3587,62	3323,23	3708,97	3539,94	197,241	5,572
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	2,008	1,673	2,034	1,905	0,201	10,569
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,435	1,329	1,483	1,416	0,079	5,572



Monofilament 6 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.25 ve Şekil 3.26'da verilmiştir.

Tablo 3.25. % 1,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Mono 6 sert poliüretan köpük yapılar (%1,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	22-1	22-2	22-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	3638,01	3774,83	3734,37	3715,737	70,287	1,892
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	2,291	2,059	1,853	2,068	0,219	10,598
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,455	1,509	1,493	1,486	0,028	1,892

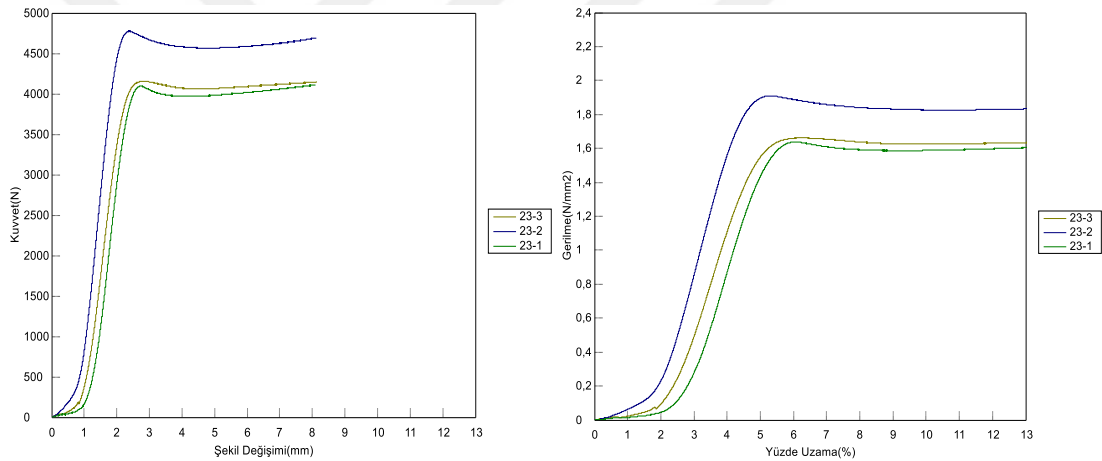


Şekil 3.26. % 1,5 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

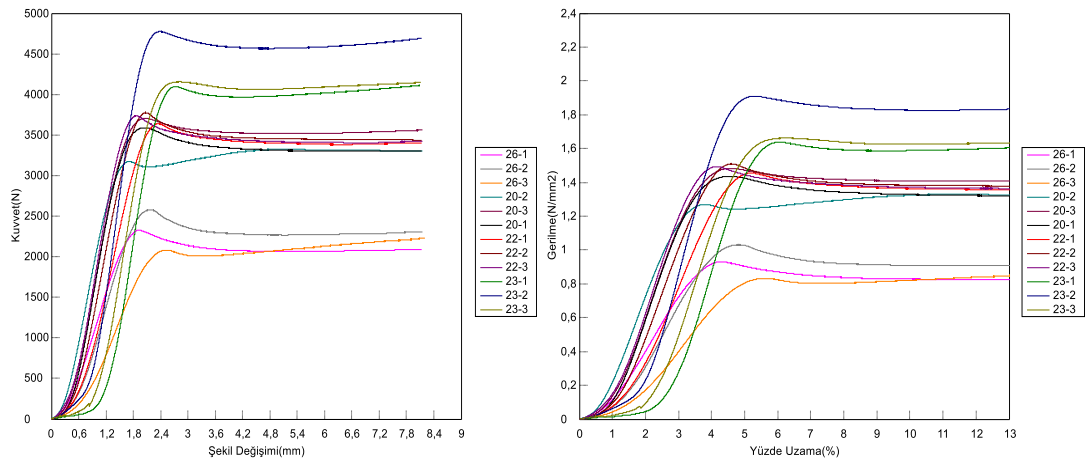
Monofilament 6 mm %2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.26 ve Şekil 3.27’de verilmiştir.

Tablo 3.26. % 2 Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Mono 6 sert poliüretan köpük yapılar (%2)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	23-1	23-2	23-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	4111,4	4774,87	4155,26	4347,177	371,042	8,535
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	2,677	2,343	2,677	2,566	0,193	7,516
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,644	1,909	1,662	1,739	0,148	8,535



Monofilament 6 mm polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma testi kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri Şekil 3.28’de verilmiştir.

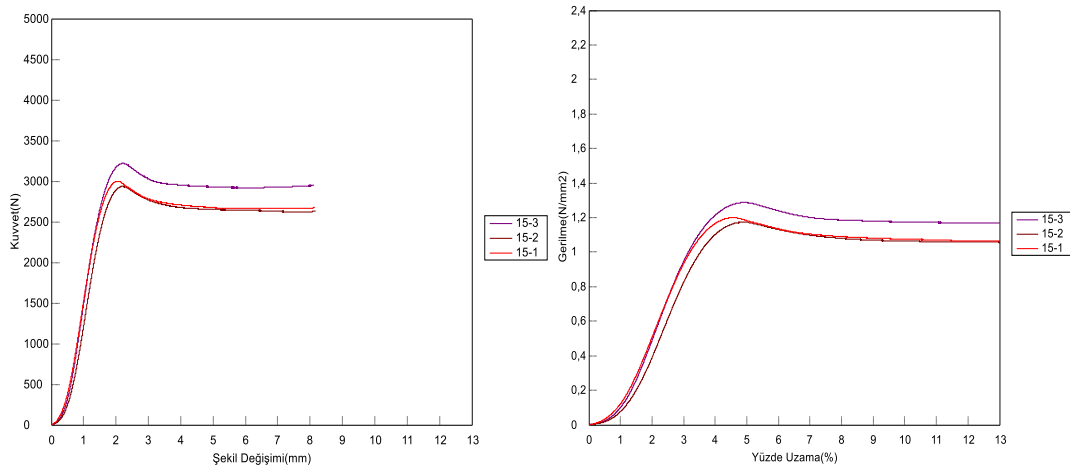


Şekil 3.28. Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 12 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.27 ve Şekil 3.29’da verilmiştir

Tablo 3.27. % 0,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Mono 12 sert poliüretan köpük yapılar (%0,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	15-1	15-2	15-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	2999,47	2934,27	3218,46	3050,733	148,869	4,88
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	2,059	2,162	2,188	2,136	0,068	3,193
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,199	1,173	1,287	1,22	0,06	4,879

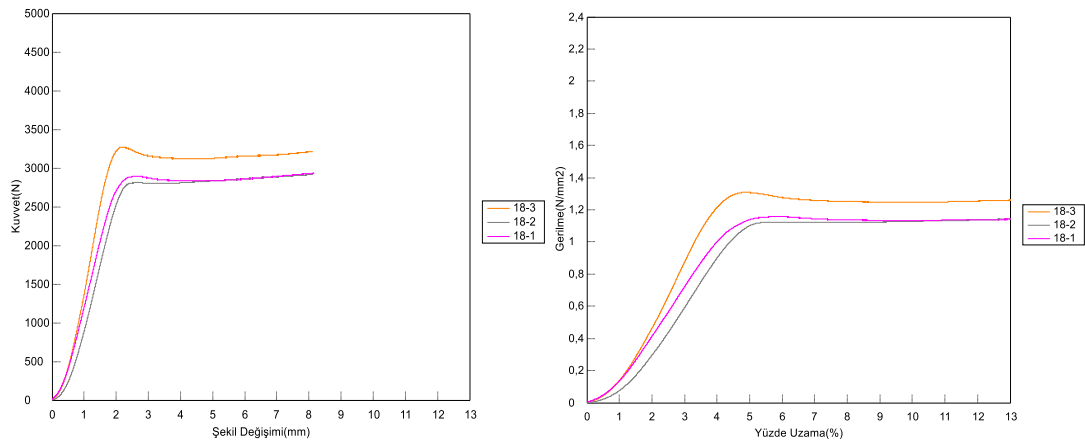


Şekil 3.29. % 0,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 12 mm %1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.28 ve Şekil 3.30’de verilmiştir.

Tablo 3.28. % 1 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Mono 12 sert poliüretan köpük yapılar (%1)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	18-1	18-2	18-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	2932,2	2916,9	3271,14	3040,08	200,25	6,587
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	2,574	2,471	2,188	2,411	0,2	8,29
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,1728	1,166	1,308	1,216	0,08	6,587

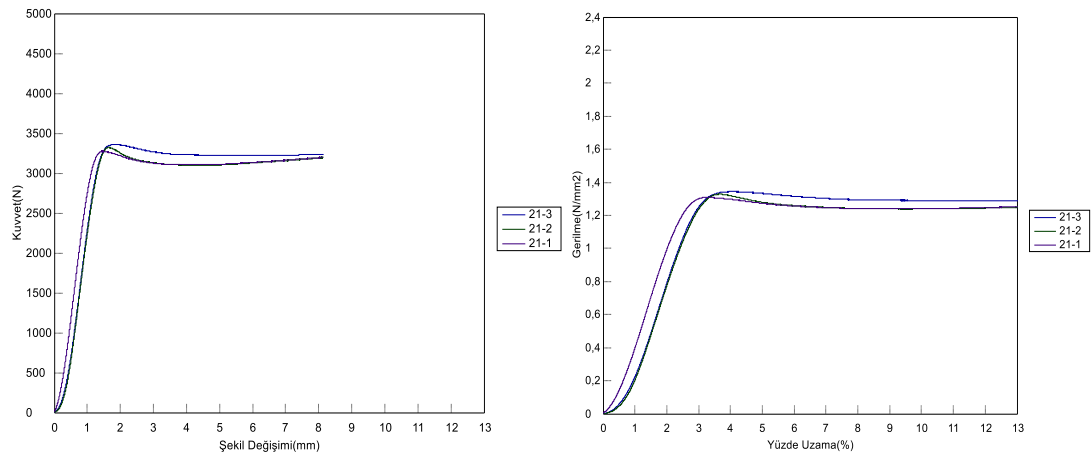


Şekil 3.30. % 1 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 12 mm %1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.29 ve Şekil 3.31’de verilmiştir.

Tablo 3.29. % 1,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Mono 12 poliüretan sert köpük yapılar (%1,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	21-1	21-2	21-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısılması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	3273,54	3320,89	3360,10	3318,177	43,344	1,306
Basma kısılması, 13% deki kalınlık kısılması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	1,416	1,622	1,75	1,596	0,169	10,558
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısılması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,30942	1,32835	1,34404	1,327	0,017	1,306

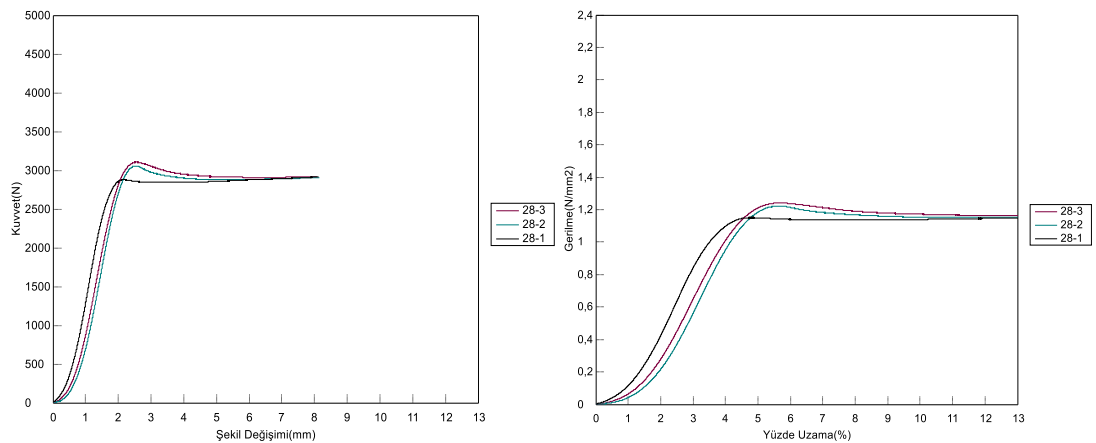


Şekil 3.31. % 1,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 12 mm %2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.30 ve Şekil 3.32’te verilmiştir.

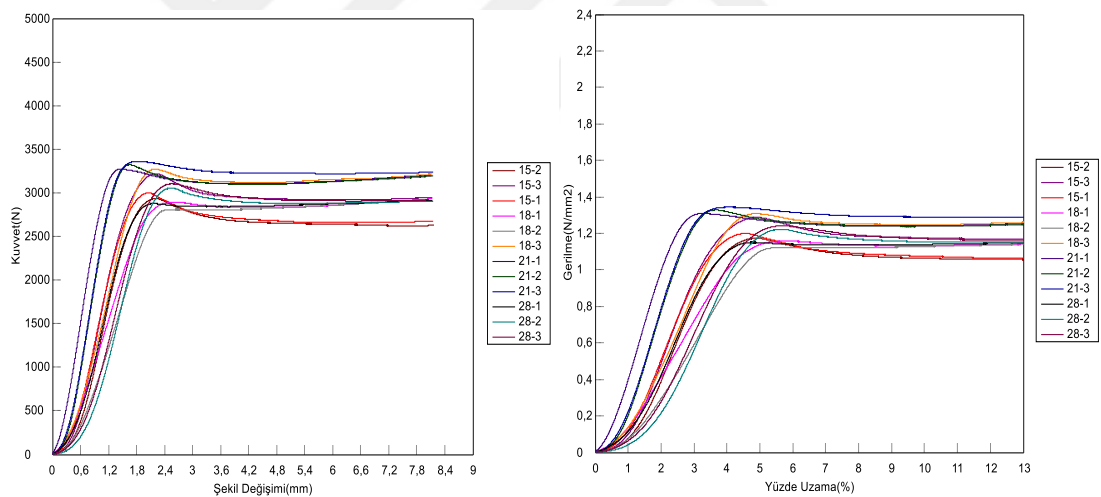
Tablo 3.30. % 1,5 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Mono 12 sert poliüretan köpük yapılar (%2)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	28-1	28-2	28-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	2915,22	3055,11	3103,43	3024,587	97,747	3,232
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	2,085	2,497	2,497	2,36	0,238	10,081
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,166	1,222	1,241	1,21	0,039	3,232



Şekil 3.32. % 2 Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 12 mm polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma testi kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri Şekil 3.33'te verilmiştir.

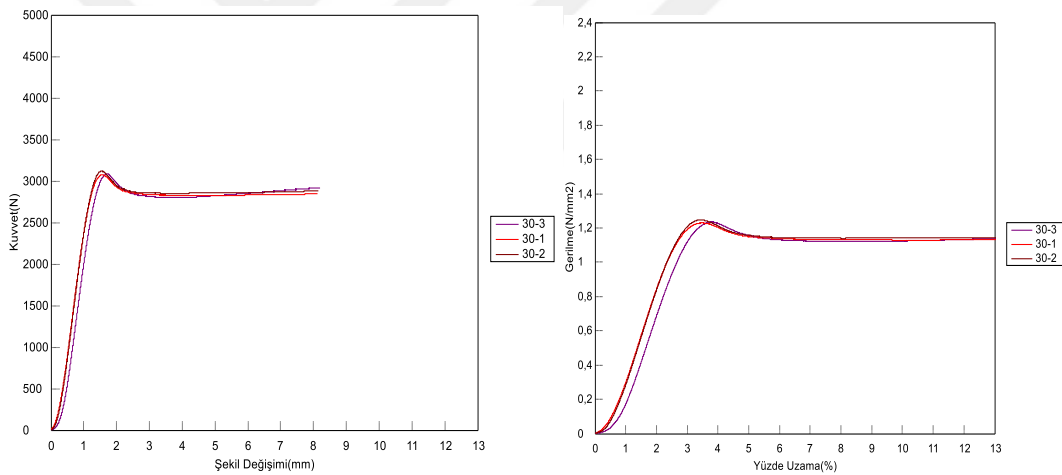


Şekil 3.33. Mono 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 18 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.31 ve Şekil 3.34'te verilmiştir.

Tablo 3.31. % 0,5 Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Mono 18 sert poliüretan köpük yapılar (%0,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	30-1	30-2	30-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	3073,11	3119,49	3086,05	3092,883	23,933	0,774
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	1,545	1,519	1,699	1,588	0,097	6,128
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,229	1,247	1,234	1,237	0,01	0,774

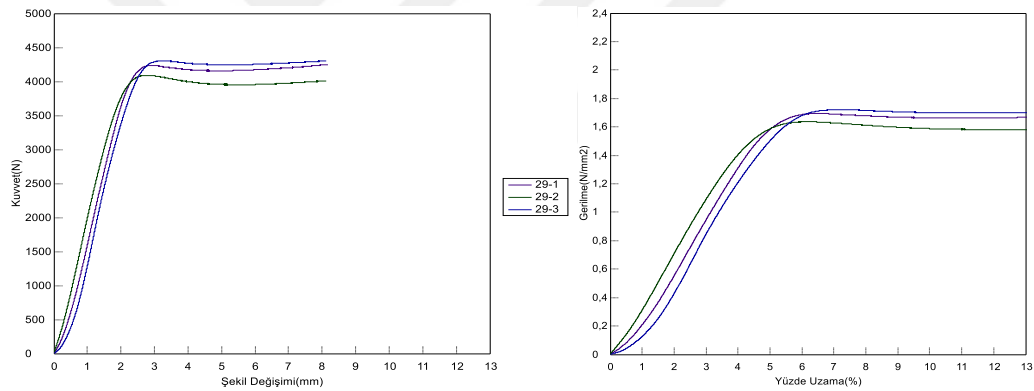


Şekil 3.34. % 0,5 Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 18 mm % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.32 ve Şekil 3.35’da verilmiştir.

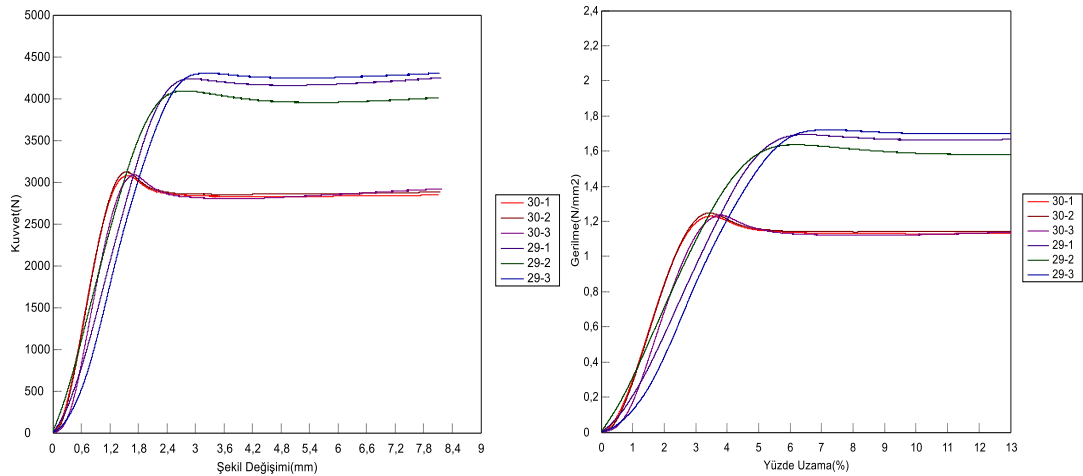
Tablo 3.32. % 1 Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Mono 18 sert poliüretan köpük yapılar (%1)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	29-1	29-2	29-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	4248,11	4090,8	4303,59	4214,167	110,381	2,619
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	2,806	2,6	3,063	2,823	0,232	8,217
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,699	1,636	1,721	1,686	0,044	2,619



Şekil 3.35. % 1 Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 18 mm polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma testi kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri Şekil 3.36'de verilmiştir.

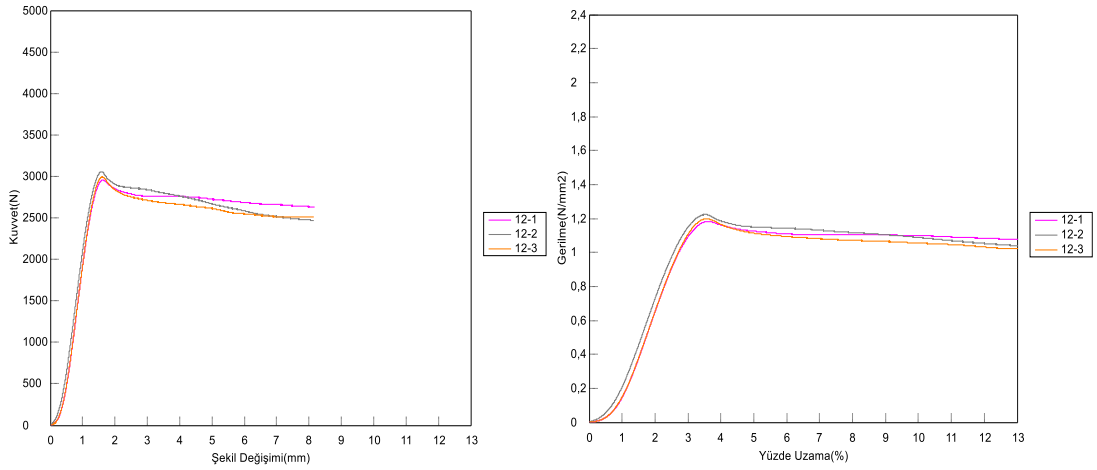


Şekil 3.36. Mono 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 3 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.33 ve Şekil 3.37’de verilmiştir.

Tablo 3.33. % 0,5 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Mono 3 sert poliüretan köpük yapılar (%0,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	12-1	12-2	12-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	2955,76	3057,65	2993,79	3002,4	51,488	1,715
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	1,596	1,545	1,596	1,579	0,029	1,865
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,18231	1,22306	1,19752	1,201	0,021	1,715

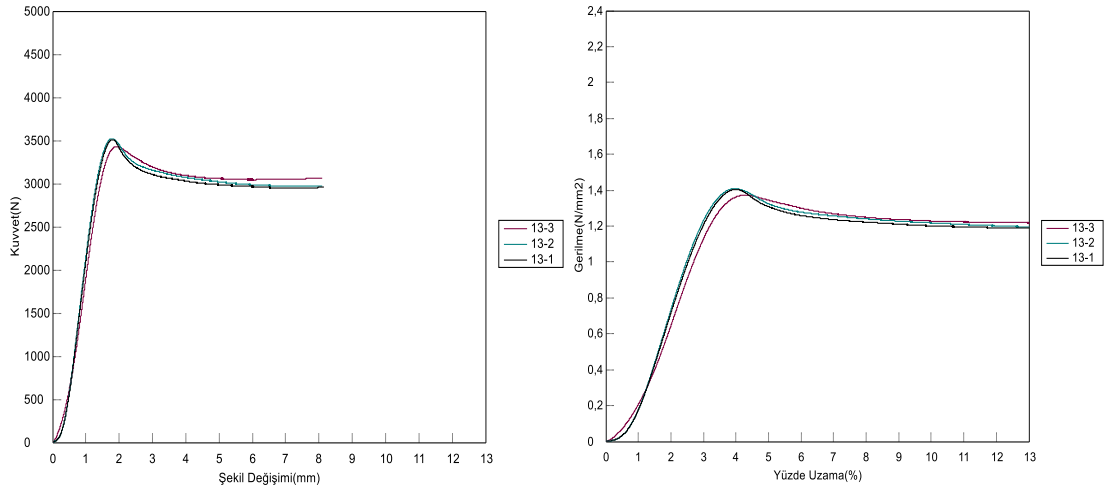


Şekil 3.37. % 0,5 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 3 mm %1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.34 ve Şekil 3.38’da verilmiştir.

Tablo 3.34. % 1 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Mono 3 sert poliüretan köpük yapılar (%1)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	13-1	13-2	13-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	3511,36	3521,5	3431,11	3487,99	49,52	1,42
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	1,776	1,75	1,879	1,802	0,068	3,787
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,404	1,408	1,372	1,395	0,02	1,419

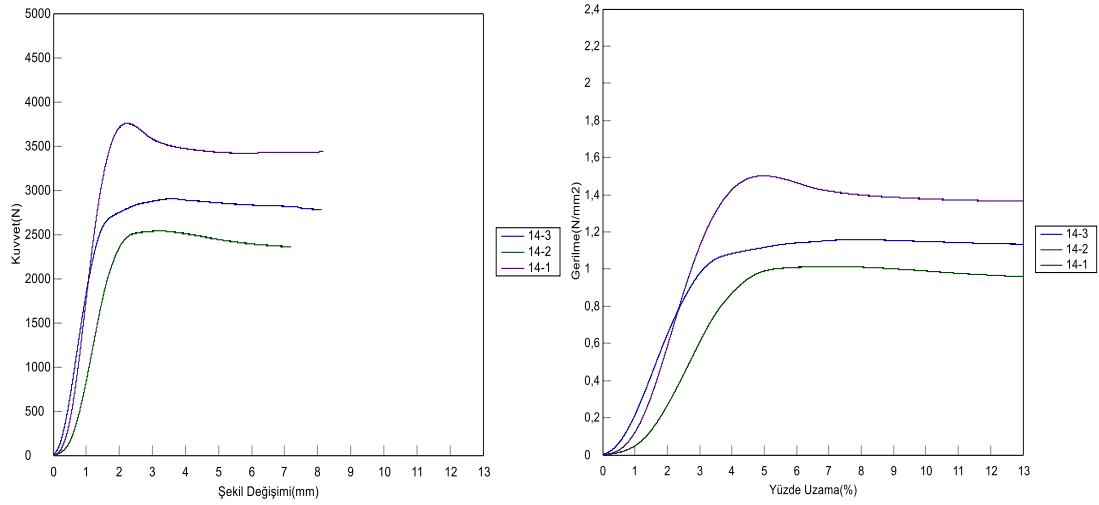


Şekil 3.38. % 1 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Monofilament 3 mm %1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.35 ve Şekil 3.39’da verilmiştir.

Tablo 3.35. % 1,5 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Mono 3 sert poliüretan köpük yapılar (%1,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	14-1	14-2	14-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	3754,96	2535,76	2900,88	3063,867	625,728	20,423
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	2,162	2,574	3,269	2,668	0,559	20,968
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,501	1,014	1,160	1,226	0,25	20,423

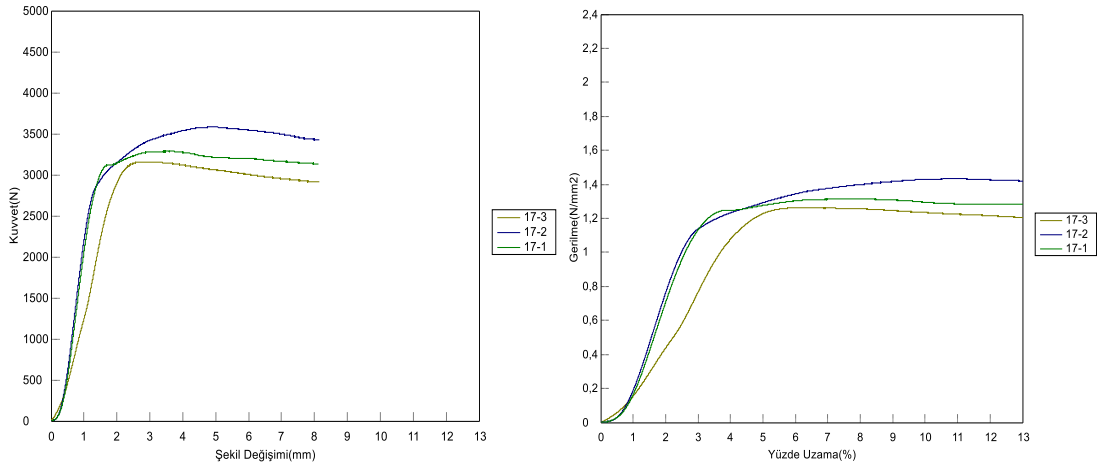


Şekil 3.39. % 1,5 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

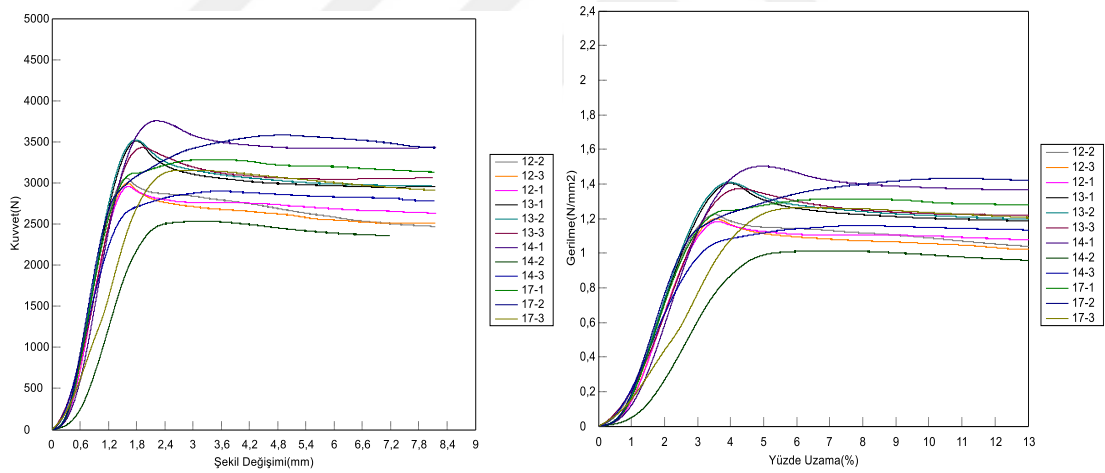
Monofilament 3 mm %2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.36 ve Şekil 3.40’da verilmiştir.

Tablo 3.36. % 2 Mono 3 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Mono 3 sert poliüretan köpük yapılar (%2)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	17-1	17-2	17-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısılması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	3285,67	3582,97	3154,54	3341,06	219,52	6,57
Basma kısılması, 13% deki kalınlık kısılması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	3,063	4,428	2,729	3,407	0,9	26,423
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısılması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,314	1,433	1,261	1,336	0,088	6,57



Monofilament 3 mm polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma testi kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri Şekil 3.41’de verilmiştir.

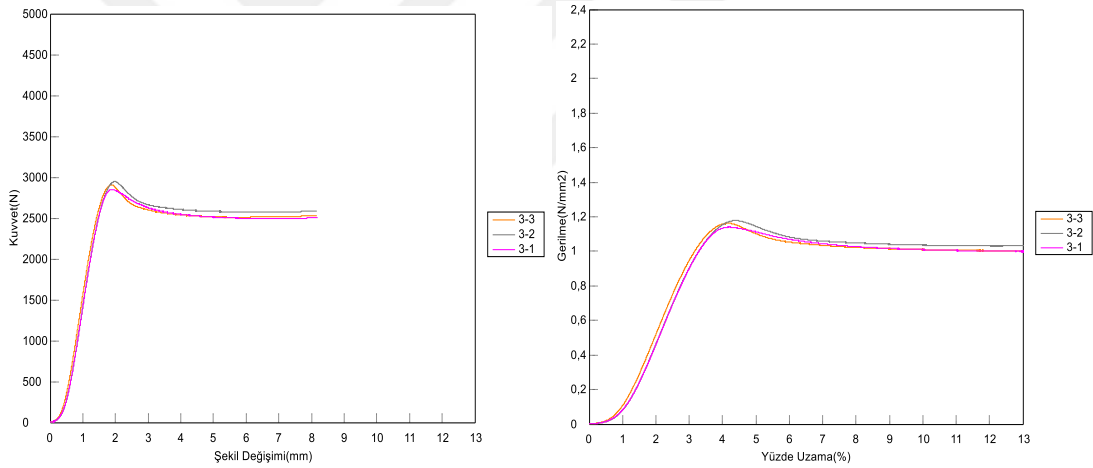


### 3.3.3. Fibril (Mesh) Polipropilen Elyaf Takviyeli Kompozit Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Basma Testi Sonuçları

Fibrilmesh 6 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma testi sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.37 ve Şekil 3.42’de verilmiştir.

Tablo 3.37. % 0,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Fibril 6 sert poliüretan köpük yapılar (%0,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	3-1	3-2	3-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	2851,49	2946,12	2905,81	2901,14	47,488	1,637
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	1,879	1,930	1,854	1,888	0,039	2,052
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,140	1,178	1,162	1,16	0,019	1,637

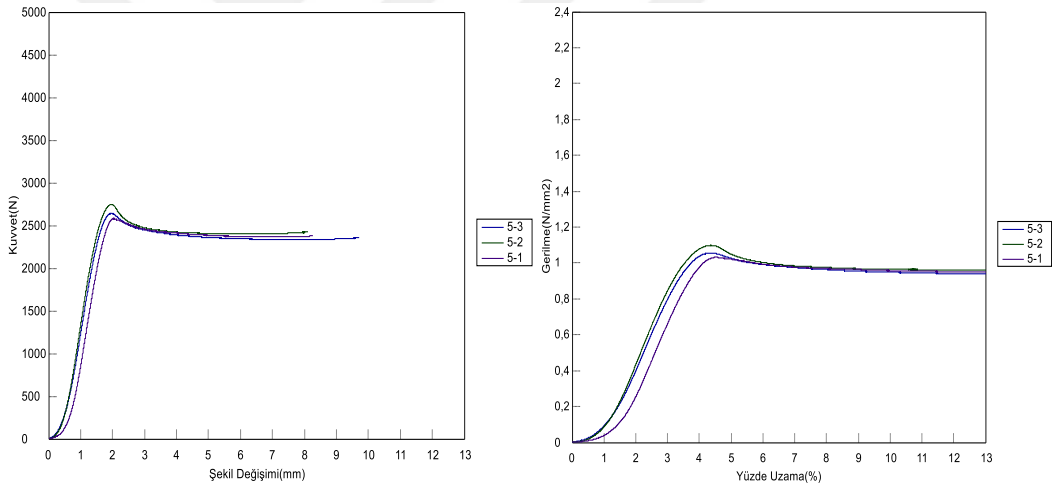


Şekil 3.42. % 0,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Fibrilmesh 6 mm % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma testi sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.38 ve Şekil 3.43'te verilmiştir.

Tablo 3.38. % 1 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

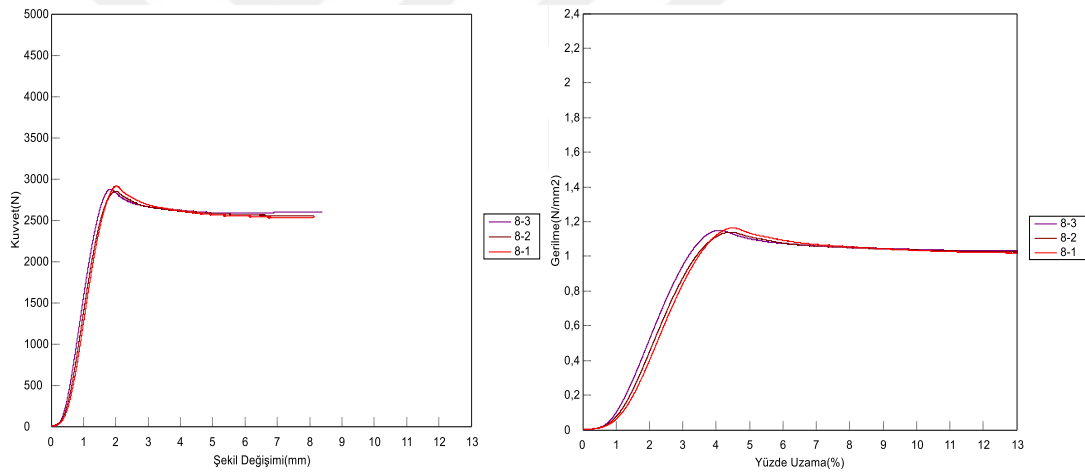
Fibril 6 sert poliüretan köpük yapılar (%1)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	5-1	5-2	5-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	2580,05	2746,27	2639,83	2655,383	84,194	3,171
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	2,006	1,955	1,955	1,972	0,029	1,493
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,032	1,098	1,055	1,062	0,034	3,171



Fibrilmesh 6 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.39 ve Şekil 3.44'te verilmiştir.

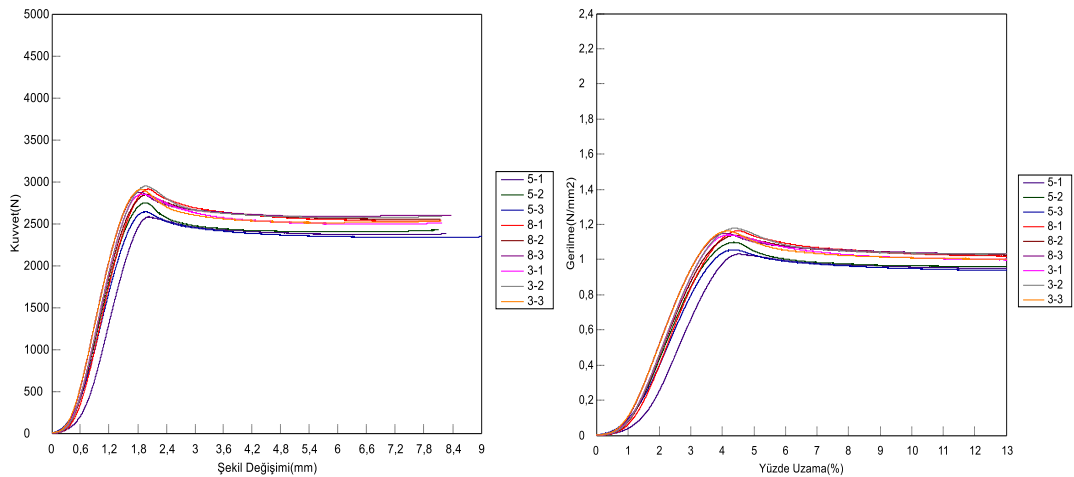
Tablo 3.39. % 1,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Fibril 6 sert poliüretan köpük yapılar (%1,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	8-1	8-2	8-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	2910,42	2848,74	2874,14	2877,767	31	1,077
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	2,006	2,031	1,828	1,955	0,111	5,662
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,164	1,139	1,149	1,151	0,012	1,077



Şekil 3.44. % 1,5 Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Fibrilmesh 6 mm polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri Şekil 3.45'te verilmiştir.

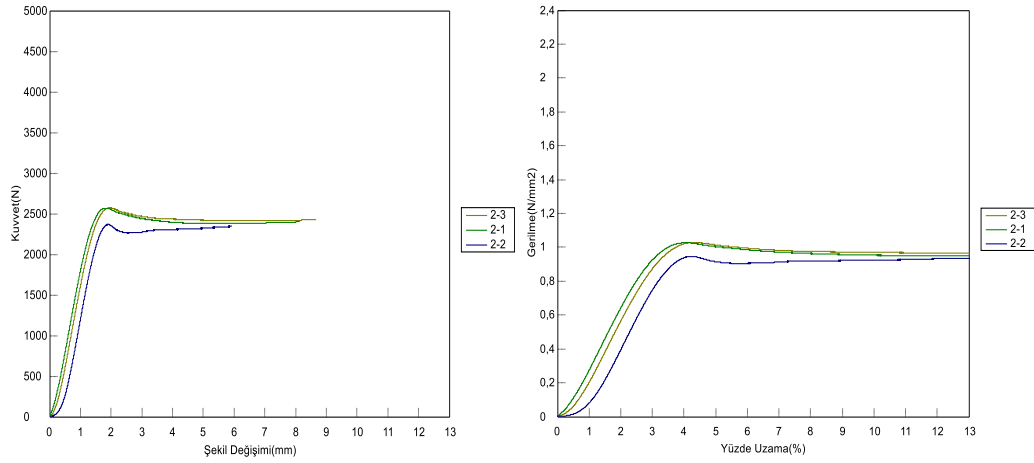


Şekil 3.45. Fibril 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama

Fibrilmesh 12 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla, Tablo 3.40 ve Şekil 3.46’da verilmiştir.

Tablo 3.40. % 0,5 Fibril 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Fibril 12 sert poliüretan köpük yapılar (%0,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	2-1	2-2	2-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	2568,04	2366,65	2571,36	2502,017	117,243	4,686
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	1,803	1,854	1,904	1,854	0,051	2,724
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,0272	0,946	1,028	1,001	0,047	4,686

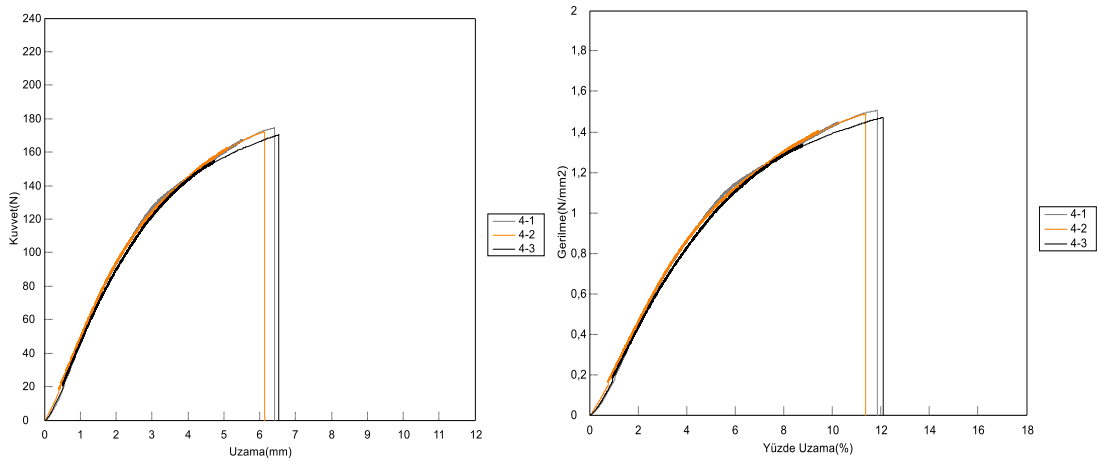


Şekil 3.46. % 0,5 Fibril 12 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

Fibrilmesh 18 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma test sonuçları ve kuvvet-şekil değişimi ve gerilme-yüzde uzama grafikleri sırasıyla Tablo 3.41 ve Şekil 3.47’de verilmiştir.

Tablo 3.41. % 0,5 Fibril 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma testi sonuçları.

Fibril 18 sert poliüretan köpük yapılar (%0,5)	Test Numune No			Ortalama	Standart Sapma	Değişim Katsayısı (CV, %)
	4-1	4-2	4-3			
Basma yükü, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen yük, N	2872	2895,42	2795,17	2854,197	52,443	1,837
Basma kısalması, 13% deki kalınlık kısalması/akma sınırındaki şekil değişimi, mm	2,082	1,879	1,93	1,964	0,106	5,378
Basma dayanımı, 13% deki kalınlık kısalması yada akma sınırındaki şekil değişimine karşılık gelen dayanım, MPa	1,148	1,158	1,118	1,142	0,021	1,837



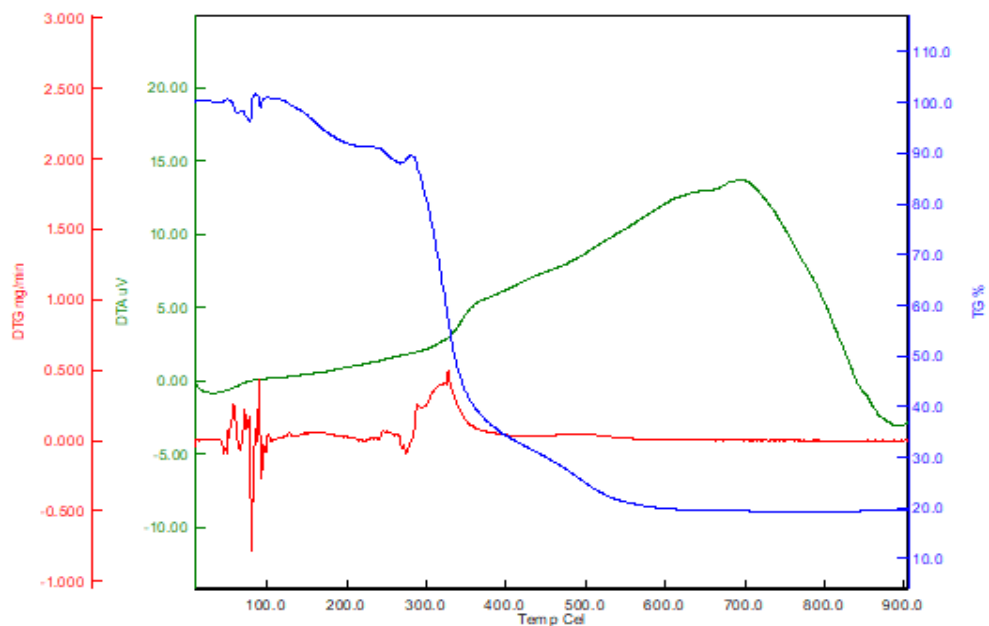
Şekil 3.47. % 0,5 Fibril 18 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemelerin basma grafikleri, (sol); kuvvet-uzama, (sağ); gerilme-yüzde uzama.

### 3.4. Termogravimetrik Analiz Sonuçları

Bu tez çalışmasında sert poliüretan köpüklerin ve takviye malzemesi olan polipropilen elyafların ısıl bozunma davranışları TGA cihazı kullanılarak incelenmiştir. Malzemelerin kül miktarı TGA deneyi ile belirlenmiş, erime ve bozunmaya başlama sıcakları ile DTA deneyi ile tespit edilmiştir.

#### 3.4.1. Takviyesiz Sert Poliüretan Köpük Malzemesinin TGA Sonuçları

Takviyesiz sert poliüretan köpük malzemenin TG, DTG ve DTA eğrilerini gösteren grafik Şekil 3.48'de verilmiştir.

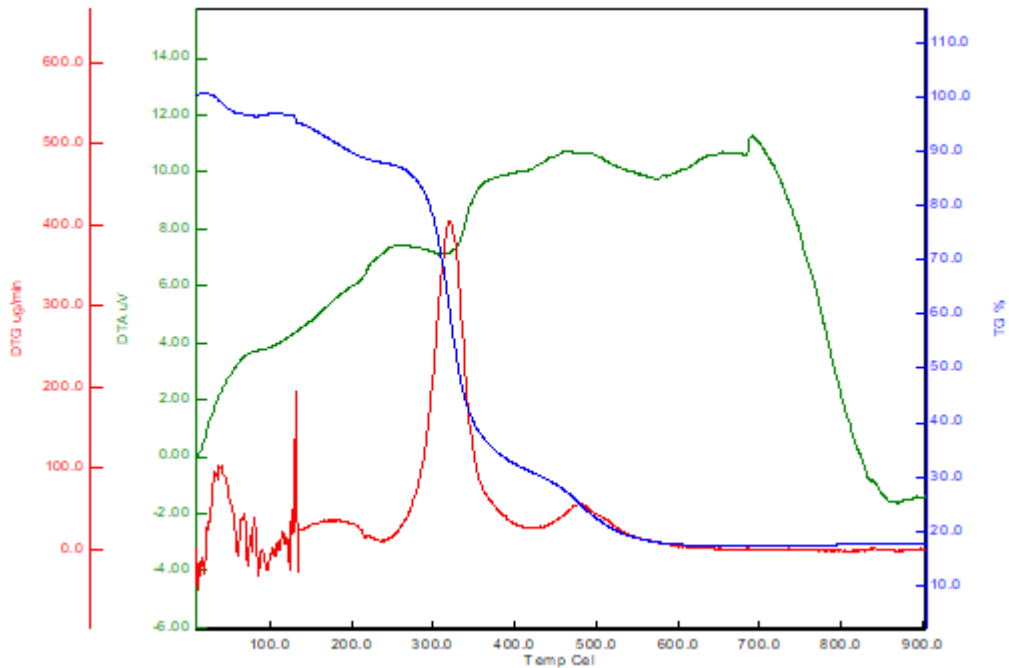


Şekil 3.48. Takviyesiz sert poliüretan köpük malzemenin TG, DTG ve DTA grafiği.

Poliüretanlar, kararsız yapıdadırlar ve poliüretanın yapısına bağılı olarak bozunma sıcaklıkları değışmektedir. Poliüretanın bozunması genelde üretan bağıının ayrışması, CO<sub>2</sub> ve izosiyanatın buharlaşması ile başlamaktadır [38,39]. Üretan bağıının ayrışması ise yaklaşık 150-220°C sıcaklık aralığında başlamaktadır. 400 °C'den sonra maksimum ağırlık kaybı, kalan yapının diğere bölümleriyle ilişkilidir ve büyük olasılıkla poliöl omurgasının bozulmasını temsil eder [40].

### 3.4.2. Mono Polipropilen Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük Malzemesinin TGA Sonuçları

Monofilament 6 mm % 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin TG, DTG ve DTA eğrilerini gösteren grafik Şekil 3.49'da verilmiştir.



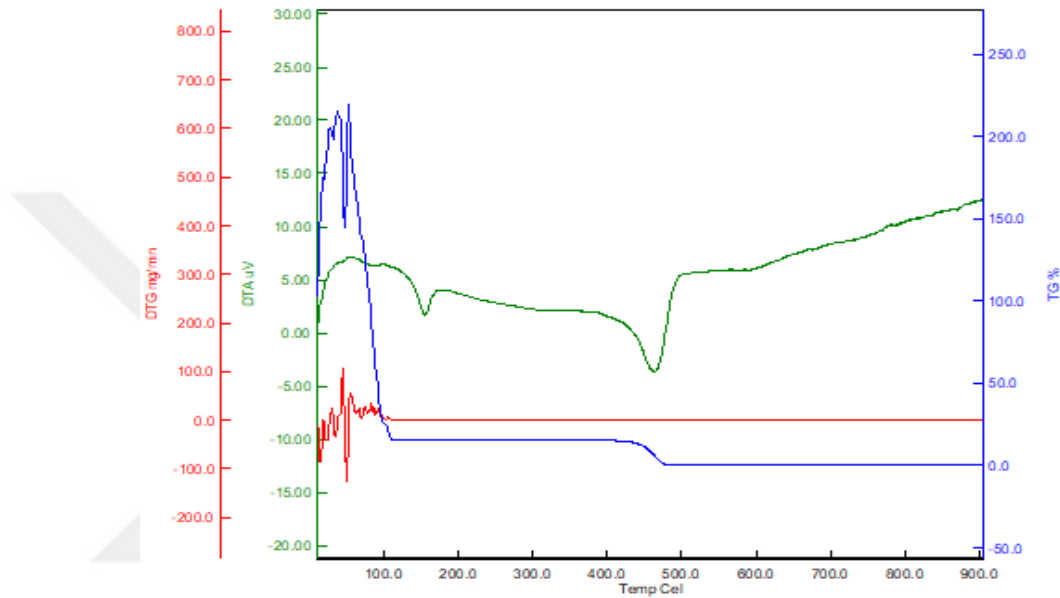
Şekil 3.49. % 2 Mono 6 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin TG, DTG ve DTA grafiğı.

Mono 6 PP elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapının erime sıcaklığı DTA eğrisinden de görüldüğü gibi 300-350°C aralığındadır. DTA eğrisine göre malzemenin termal olarak bozunması 500 °C'de başlamaktadır. DTA eğrisinde ikinci pik noktasından üçüncü pik noktasına kadar olan kısımda eğrinin altındaki alan termal bozulma ve buharlaşma için gerekli olan enerji miktarını vermektedir. TG eğrisine göre termal olarak bozunma sıcaklığı 270°C'dir. En fazla kütle kaybı 270 °C ile 600 °C arasında olmuştur. Deney

sonrası kütle kaybı %80'nin üstündedir. Analizler göstermektedir ki istenilen %2 Mono PP elyaf içeren sert poliüretan kompozit yapı başarılı şekilde elde edilmiştir.

### 3.4.3. Fibril (Mesh) Polipropilen Elyaf Malzemesinin TGA Sonuçları

Fibrilmesh polipropilen elyaf malzemenin TG, DTG ve DTA eğrilerini gösteren grafik Şekil 3.50'de verilmiştir.

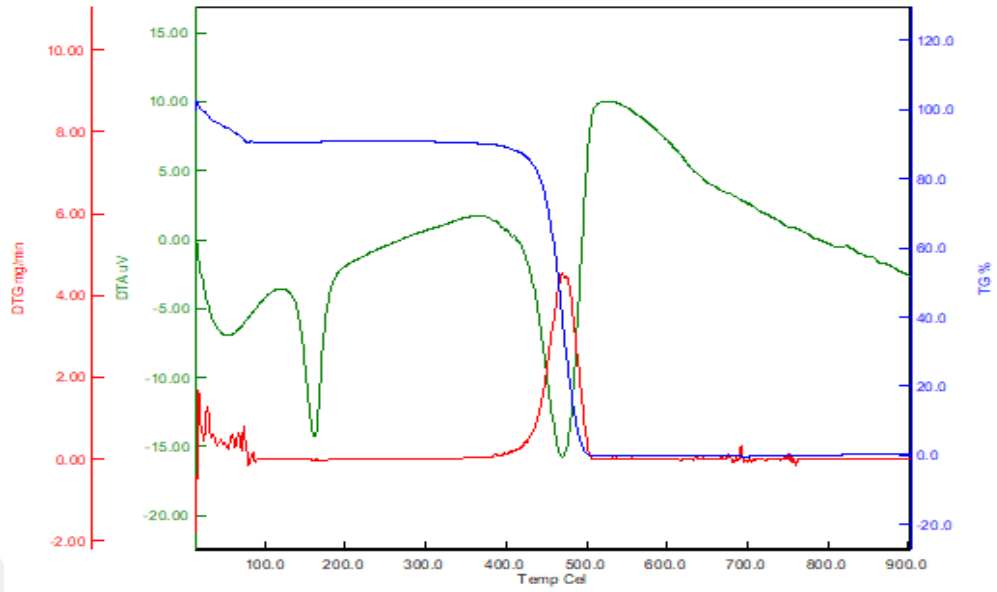


Şekil 3.50. Fibrilmesh polipropilen elyaf malzemenin TG, DTG ve DTA grafiği.

Fibrilmesh PP elyaf malzemenin erime sıcaklığı DTA eğrisinden de görüldüğü gibi 150-200°C aralığındadır. DTA eğrisine göre malzemenin termal olarak bozunması 400 °C'de başlamaktadır. TG eğrisine göre termal olarak bozunma sıcaklığı 85°C'dir. En fazla kütle kaybı 85 °C ile 110 °C arasında olmuştur. Deney sonunda malzeme tamamen külleşmiştir. Kütle kaybı %100'dür.

### 3.4.4. Monofilament Polipropilen Elyaf Malzemesinin TGA Sonuçları

Monofilament polipropilen elyaf malzemenin TG, DTG ve DTA eğrilerini gösteren grafik Şekil 3.51'de verilmiştir.



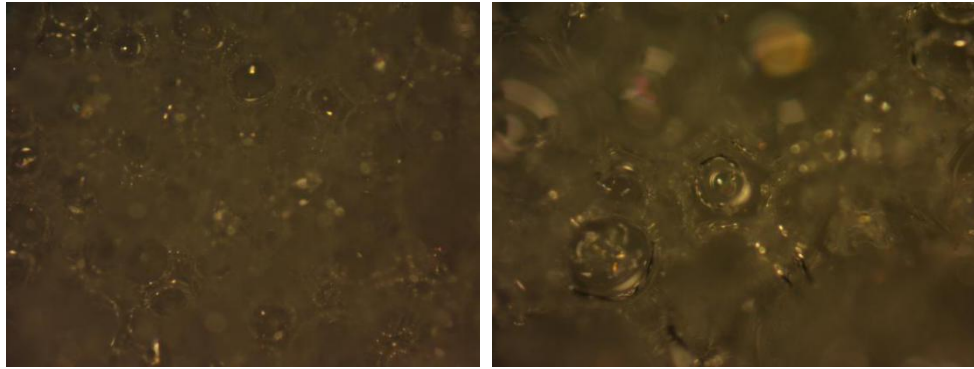
Şekil 3.51. Monofilament polipropilen elyaf malzemenin TG, DTG ve DTA grafiği.

Monofilament PP elyaf malzemenin erime sıcaklığı DTA eğrisinden de görüldüğü gibi 150-200°C aralığındadır. DTA eğrisine göre malzemenin termal olarak bozunması 380 °C'de başlamaktadır. TG eğrisine göre termal olarak bozunma sıcaklığı 400°C'dir. En fazla kütle kaybı 400 °C ile 500 °C arasında olmuştur. Deney sonunda malzeme tamamen külleşmiştir. Kütle kaybı %100'dür. Fakat fibrilmesh PP elyaf monofilament PP elyaf ile analiz sonuçları değerleri birbirinden farklı çıkmıştır.

### 3.5. Optik Mikroskop (OM) Analiz Sonuçları

#### 3.5.1. Takviyesiz Sert Poliüretan Köpük Malzemenin Optik Mikroskop Analiz Sonuçları

Şekil 3.52'de takviyesiz sert poliüretan köpük malzemenin optik mikroskop görüntüsü farklı büyütme oranları ile verilmiştir.



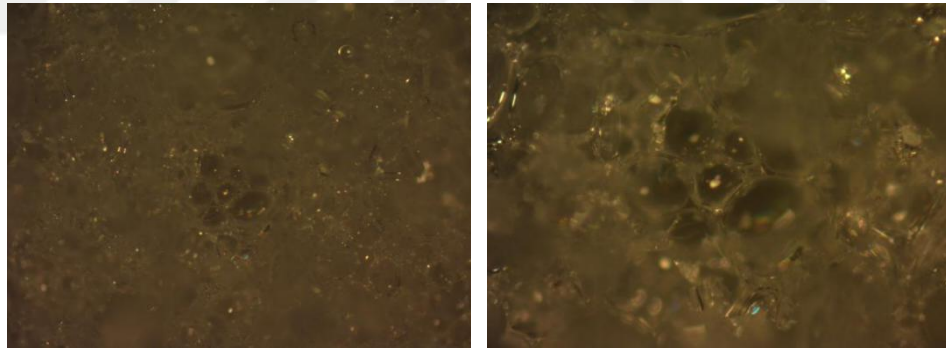
a)

b)

Şekil 3.52. Takviyesiz sert poliüretan köpük malzemenin (10 nolu numune) OM görüntüsü, a) x5, b) x10.

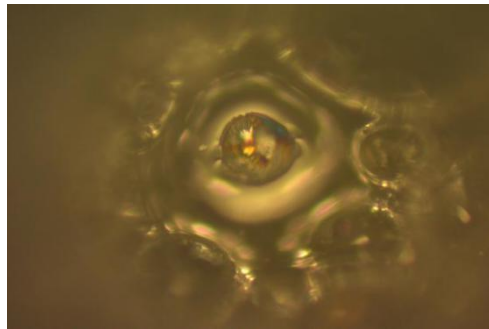
### 3.5.2. Mono Polipropilen Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Optik Mikroskop Analiz Sonuçları

Şekil 3.53'te monofilament 3 mm %1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin optik mikroskop görüntüsü farklı büyütme oranları ile verilmiştir.



a)

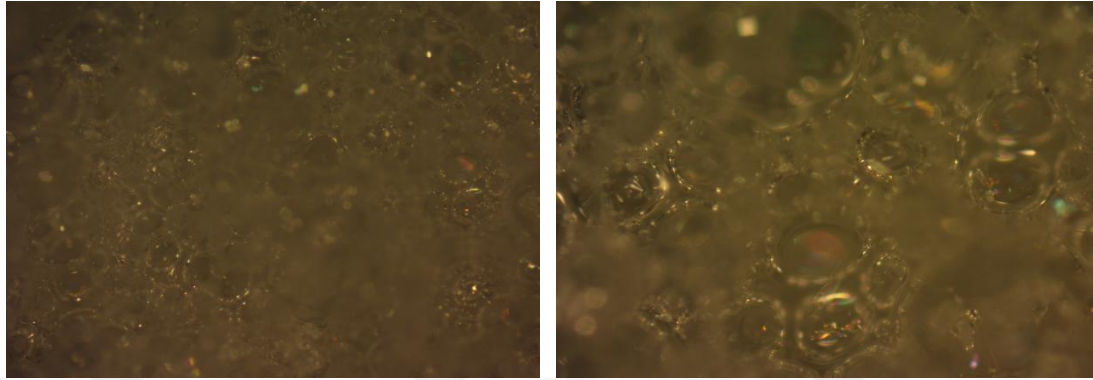
b)



c)

Şekil 3.53. Mono 3 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (14 nolu numune) OM görüntüsü, a) x5, b) x10, c) x20.

Şekil 3.54'te monofilament 6 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin optik mikroskop görüntüsü farklı büyütme oranları ile verilmiştir.

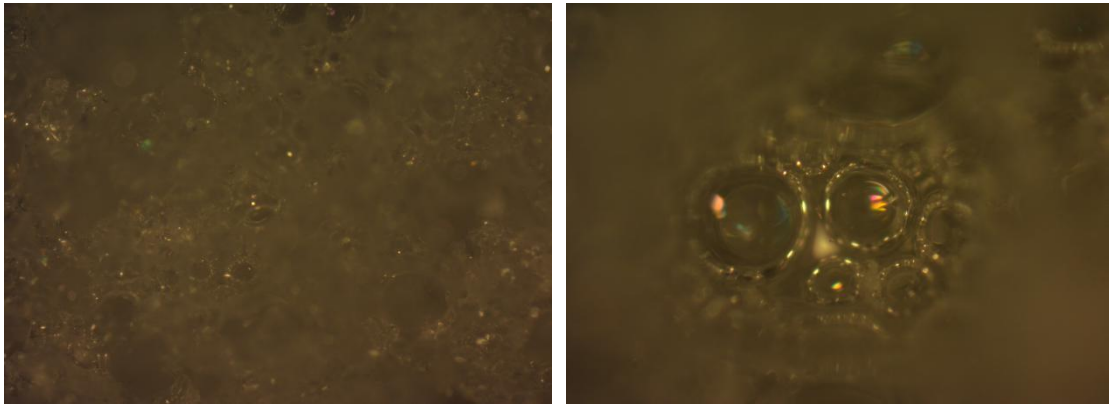


a)

b)

Şekil 3.54. Mono 6 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (22 nolu numune) OM görüntüsü, a) x5, b) x10.

Şekil 3.55'te monofilament 12 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin optik mikroskop görüntüsü farklı büyütme oranları ile verilmiştir.

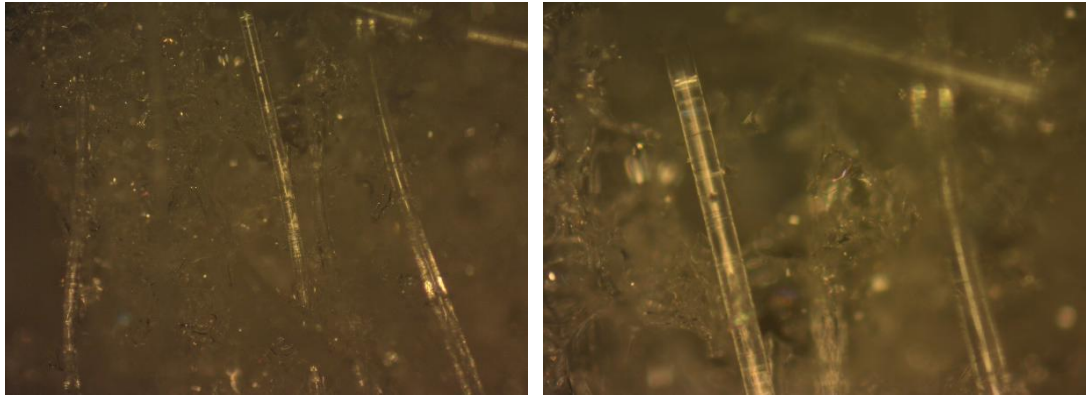


a)

b)

Şekil 3.55. Mono 12 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (21 nolu numune) OM görüntüsü, a) x5, b) x10.

Şekil 3.56'da monofilament 18 mm % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin optik mikroskop görüntüsü farklı büyütme oranları ile verilmiştir.



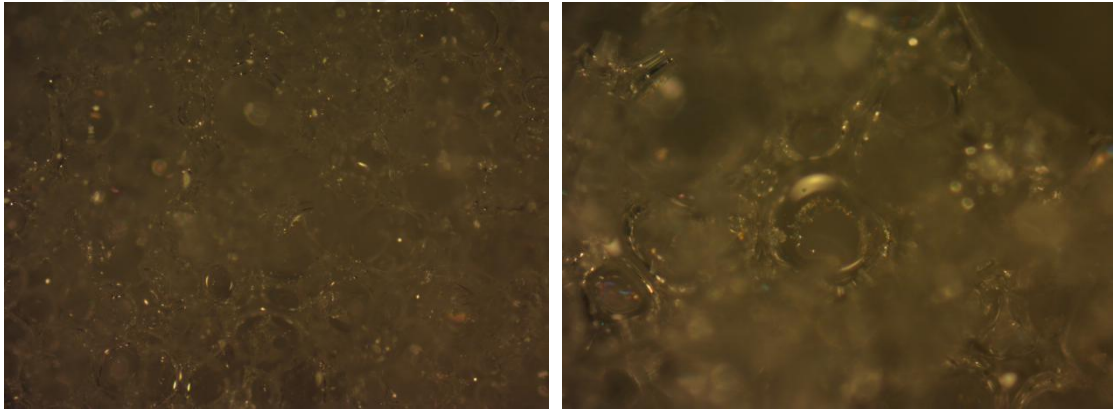
a)

b)

Şekil 3.56. Mono 18 mm % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (29 nolu numune) OM görüntüsü, a) x5, b) x10.

### 3.5.3. Fibril (Mesh) Polipropilen Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Optik Mikroskop Analiz Sonuçları

Şekil 3.57'da fibrilmesh 6 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin optik mikroskop görüntüsü farklı büyütme oranları ile verilmiştir.

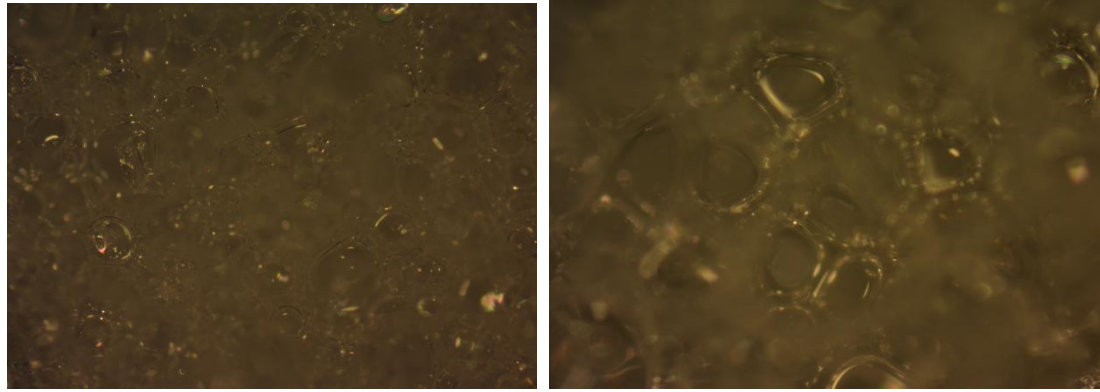


a)

b)

Şekil 3.57. Fibril 6 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (3 nolu numune) OM görüntüsü, a) x5, b) x10.

Şekil 3.58'da fibrilmesh 18 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin optik mikroskop görüntüsü farklı büyütme oranları ile verilmiştir.



a)

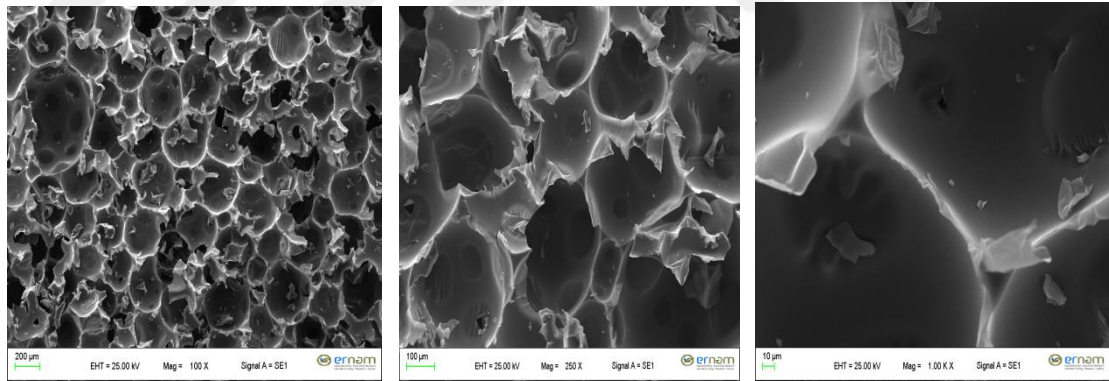
b)

Şekil 3.58. Fibril 18 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (4 nolu numune) OM görüntüsü, a) x5, b) x10.

### 3.6. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları

#### 3.6.1. Takviyesiz Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin SEM Analiz Sonuçları

Şekil 3.59'de takviyesiz sert poliüretan köpük malzemenin SEM kesit görüntüleri farklı büyütme oranları ile verilmiştir.



a)

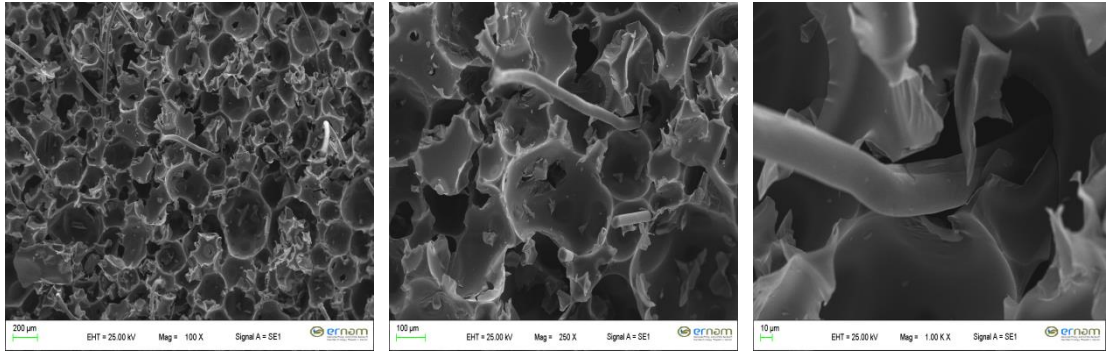
b)

c)

Şekil 3.59. Takviyesiz sert poliüretan köpük malzemenin (10 nolu numune) SEM görüntüleri, a) x100, b) x250 c) x1000.

#### 3.6.2. Mono Polipropilen Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin SEM Analiz Sonuçları

Şekil 3.60'de monofilament 3 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin SEM kesit görüntüleri farklı büyütme oranları ile verilmiştir.



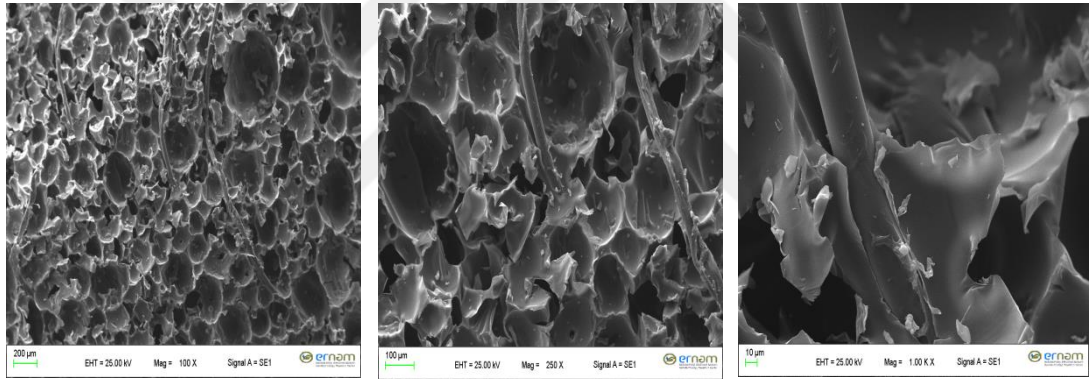
a)

b)

c)

Şekil 3.60. Mono 3 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (14 nolu numune) SEM görüntüleri, a) x100, b) x250, c) x1000.

Şekil 3.61’de monofilament 6 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin SEM kesit görüntüleri farklı büyütme oranları ile verilmiştir.



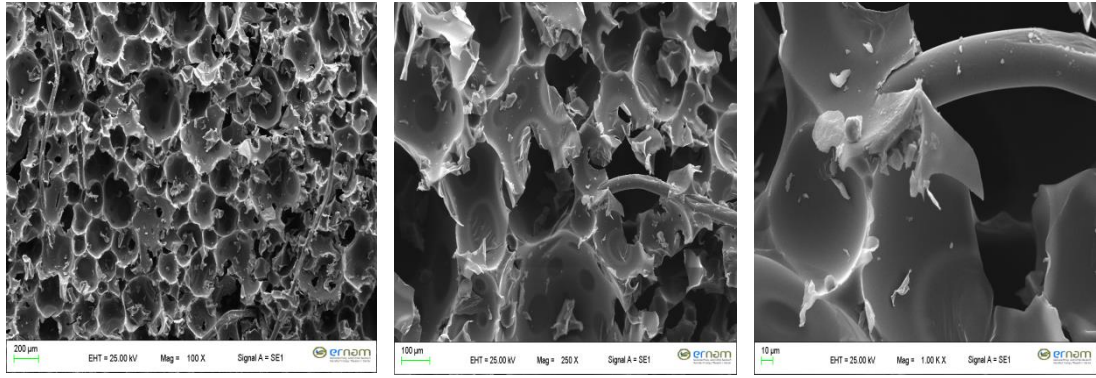
a)

b)

c)

Şekil 3.61. Mono 6 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (22 nolu numune) SEM görüntüleri, a) x100, b) x250, c) x1000.

Şekil 3.62’de monofilament 12 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin SEM kesit görüntüleri farklı büyütme oranları ile verilmiştir.



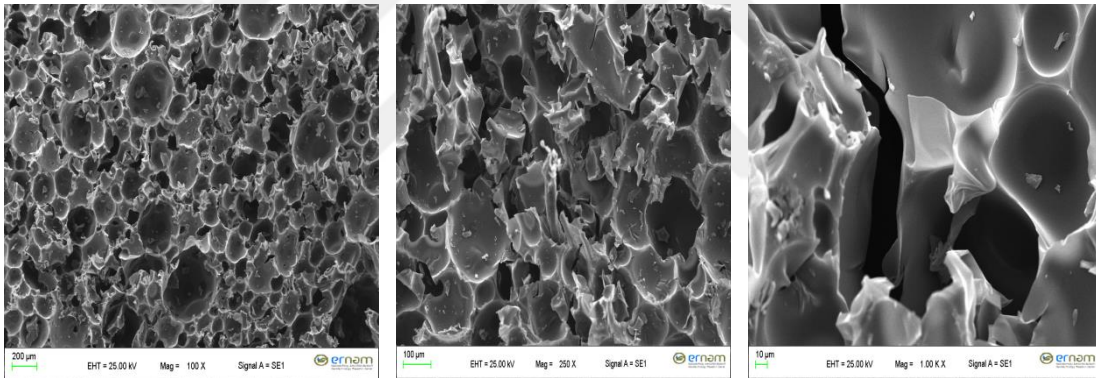
a)

b)

c)

Şekil 3.62. Mono 12 mm % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (21 nolu numune) SEM görüntüleri, a) x100, b) x250, c) x1000.

Şekil 3.63'te monofilament 18 mm % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin SEM kesit görüntüleri farklı büyütme oranları ile verilmiştir.



a)

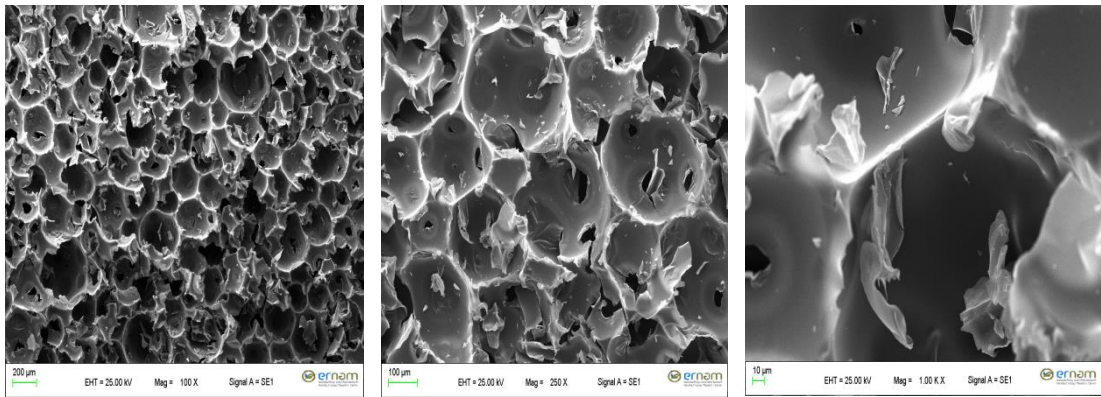
b)

c)

Şekil 3.63. Mono 18 mm % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (29 nolu numune) SEM görüntüleri, a) x100, b) x250, c) x1000.

### 3.6.3. Fibril (Mesh) Polipropilen Elyaf Takviyeli Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin SEM Analiz Sonuçları

Şekil 3.64'da fibrilmesh 6 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin SEM kesit görüntüleri farklı büyütme oranları ile verilmiştir.



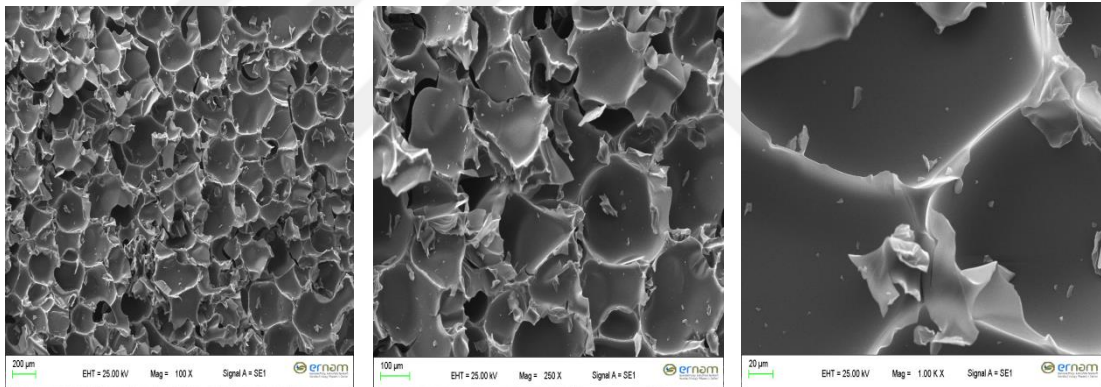
a)

b)

c)

Şekil 3.64. Fibril 6 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (3 nolu numune) SEM görüntüleri, a) x100, b) x250, c) x1000.

Şekil 3.65'te fibrilmesh 18 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin SEM kesit görüntüleri farklı büyütme oranları ile verilmiştir.



a)

b)

c)

Şekil 3.65. Fibril 18 mm % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük malzemenin (4 nolu numune) SEM görüntüleri, a) x100, b) x250, c) x1000.

## 4. BÖLÜM

### TARTIŞMA - SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 4.1. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Yoğunluk Sonuçları

Bu tez kapsamında üretilen kompozit sert poliüretan köpük malzemelerin yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada, sert poliüretan köpük yapılarda takviye malzemesi olarak Polyfibers firmasının ürettiği iki farklı polipropilen kırpık elyaf (Monofilament 3,6,12,18 mm, Fibermesh 6,12,18 mm) kullanılmıştır. Bu yapılarda ağırlıkça elyaf/poliüretan matris dikkate alınarak kompozit poliüretan yapı yoğunluğu ve yapıdaki ağırlıkça elyaf oranı (%) hesaplanmıştır.

Çalışmadaki yapıların yoğunlukları karşılaştırıldığında, değerler 72,15-140,24 kg/m<sup>3</sup> aralığında olduğu ve birbirine göre çok farklılık gösterdiği görülmüştür. Bunun nedeni, çalışmada kullanılan Monofilament polipropilen elyafların yoğunluklarının sabit poliüretan matristen daha yüksek olmasıdır. Bunun yanında kullanılan elyafların yapılarının da farklı olması yoğunluk değerlerini etkilemiştir.

Polipropilen elyaf yoğunluğu 0,91 g/cm<sup>3</sup> iken poliüretan matrisin ortalama yoğunluğu 0,11041 g/cm<sup>3</sup>' dir. Çalışmada, sert poliüretan kompozit yapılarda kullanılan elyafların ağırlıkça % miktarları birbirinden farklıdır. Yapılarda ağırlıkça % 0,5-2 arasında değişen oranlarda monofilament ve fibrilmesh polipropilen kırpık elyaflar kullanılmıştır. Kompozit sert poliüretan yapılara ait ağırlıkça % elyaf kullanım miktarları tüm yapılar için Tablo 4.1'de verilmiştir.

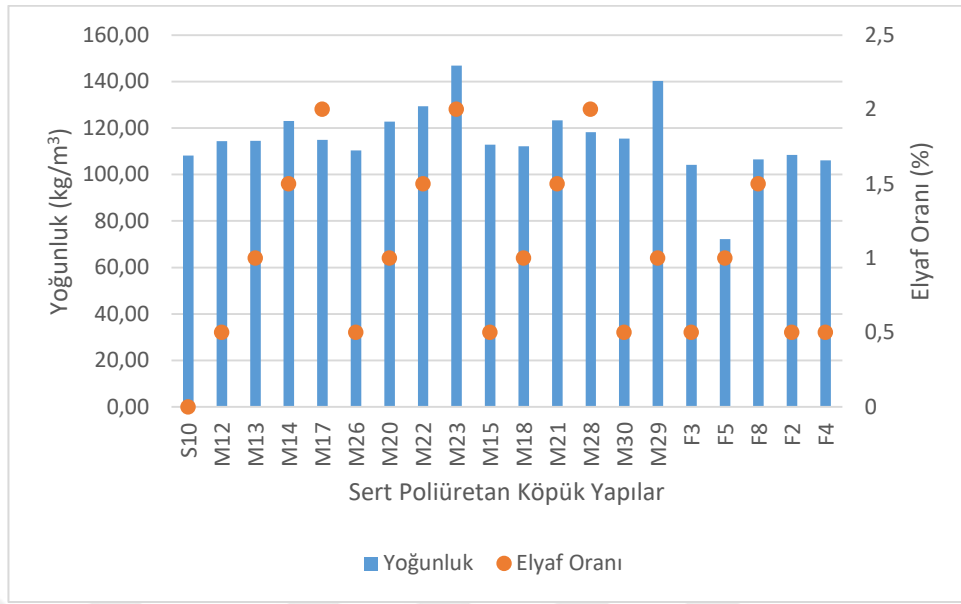
Sert poliüretan köpük yapıların yoğunluk sonuçları ve yapıdaki ağırlıkça % elyaf tüm yapılar için Şekil 4.1'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 4.1'den de görüldüğü gibi yapıların yoğunlukları 72-146 kg/m<sup>3</sup> aralığında gerçekleşmiştir. Sert poliüretan köpük kompozit yapıların yoğunlukları arasında önemli bir fark olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4.1. Sert poliüretan köpük kompozit yapıların yoğunluk ve elyaf oranları.

Test Numune No	Sert Poliüretan Köpük Kompozit Yapılar	Elyaf Uzunluğu (mm)	Yapı Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	Elyaf Oranı (Ağırlık Esası, %)
10	Takviyesiz	6	108,17	0
26	Mono PP Elyaf	6	110,34	0,5
20	Mono PP Elyaf	6	122,78	1
22	Mono PP Elyaf	6	129,33	1,5
23	Mono PP Elyaf	6	146,86	2
15	Mono PP Elyaf	12	112,86	0,5
18	Mono PP Elyaf	12	112,16	1
21	Mono PP Elyaf	12	123,37	1,5
28	Mono PP Elyaf	12	118,20	2
30	Mono PP Elyaf	18	115,53	0,5
29	Mono PP Elyaf	18	140,24	1
12	Mono PP Elyaf	3	114,35	0,5
13	Mono PP Elyaf	3	114,49	1
14	Mono PP Elyaf	3	123,00	1,5
17	Mono PP Elyaf	3	114,90	2
3	Fibril PP Elyaf	6	104,11	0,5
5	Fibril PP Elyaf	6	72,16	1
8	Fibril PP Elyaf	6	106,49	1,5
2	Fibril PP Elyaf	12	108,37	0,5
4	Fibril PP Elyaf	18	106,11	0,5

Monofilament polipropilen elyaf takviyeli yapıların yoğunlukları artmış, fibrilmesh polipropilen elyaf takviyeli yapıların ise yoğunlukları düşmüştür. Buradan da anlaşılacağı gibi mono destekli poliüretan yapıların lifsiz yapılara göre yoğunluklarında önemli bir artış görülmüştür. % 1 Mono 18 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapılarının lifsiz yapılara oranla en yüksek yoğunluğa ulaştığı tespit edilmiştir.

Monofilament polipropilen lifler daha sert yapıda ve karışım içerisinde daha homojen dağılabilmektedir. Staple lif olarak bilinen fibril (mesh) polipropilen lifler ise kümelenmiş halde bir grup olarak bulunmaktadır ve akordiyon şeklinde açılabilirler. İnce ve kısa yapıda olduklarından ve karışım içerisinde homojen dağılmadıklarından poliüretan yapıların yoğunluklarına olumsuz etkileri olmuştur.



Şekil 4.1. Sert poliüretan köpük yapıların yoğunlukları ve elyaf oranları.

#### 4.2. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Eğilme Testi Sonuçları

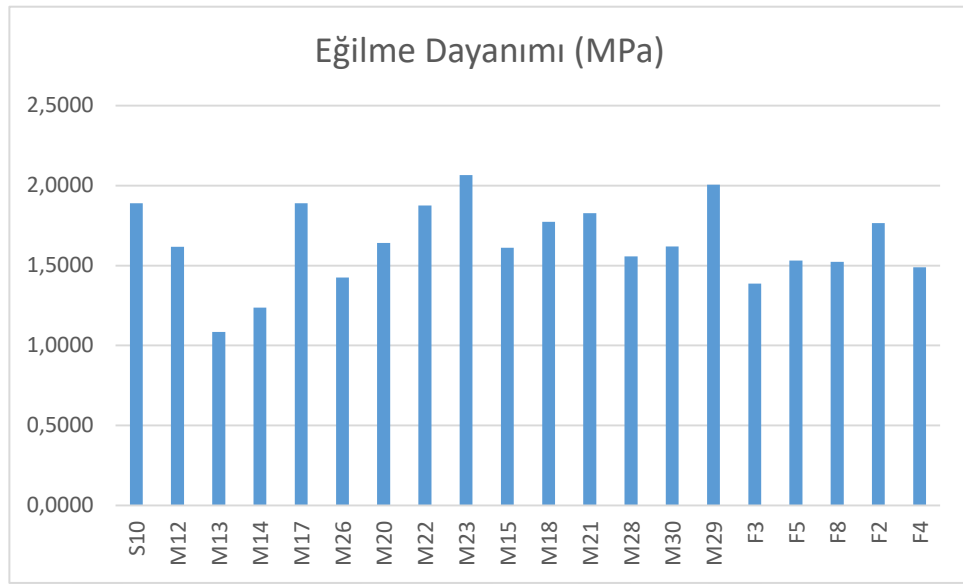
Bu tez kapsamında takviyesiz ve polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan kompozit yapıların 25 x 25 x 100 mm ebatlarında kesilen örneklerinin eğilme dayanımı, uzaması ve modül değerleri, gerilme-uzama (MPa-%), kuvvet-uzama (N-mm), kayma dayanımı (MPa) ve eğme modülü (GPa) birimleriyle hesaplanmıştır. Elde edilen veriler topluca bütün kompozit yapılar için Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Sert poliüretan köpük yapıların eğilme testi sonuçları.

Test Numune No	Sert Poliüretan Köpük Yapılar	Elyaf Oranı (Ağırlık Esası, %)	Ortalama Eğilme Yüğü (N)	Ortalama Eğilme Uzaması (mm)	Ortalama Eğilme Dayanımı (MPa)	Ortalama Eğilme Yüzde Uzaması (%)	Ortalama Eğilme Modülü (GPa)
S10	Takviyesiz	0	218,614	9,479	1,8888	17,498	0,0247
M12	Mono 3	0,5	187,207	8,563	1,6175	15,846	0,0275
M13	Mono 3	1	125,583	5,25	1,085	9,841	0,018
M14	Mono 3	1,5	143,123	3,438	1,2366	6,189	0,026
M17	Mono 3	2	218,646	7,688	1,8891	14,361	0,021
M26	Mono 6	0,5	165,065	8,625	1,4262	15,706	0,02
M20	Mono 6	1	189,996	6,188	1,6416	11,536	0,021
M22	Mono 6	1,5	217,16	7,667	1,8763	14,199	0,0235
M23	Mono 6	2	238,973	5,704	2,0649	10,373	0,031
M15	Mono 12	0,5	186,6	6,5	1,6122	12,089	0,0293
M18	Mono 12	1	205,195	6,219	1,7729	11,55	0,024
M21	Mono 12	1,5	211,513	6,125	1,8275	11,319	0,028
M28	Mono 12	2	180,237	5,875	1,5572	10,85	0,0225
M30	Mono 18	0,5	187,522	6,792	1,6202	12,561	0,023
M29	Mono 18	1	232,121	9,25	2,0055	9,29	0,032
F3	Fibril 6	0,5	160,569	7,049	1,3873	12,992	0,018
F5	Fibril 6	1	177,169	7,615	1,5307	14,124	0,0185
F8	Fibril 6	1,5	171,225	7,368	1,4794	13,632	0,0195
F2	Fibril 12	0,5	204,269	5,487	1,7649	10,233	0,037
F4	Fibril 18	0,5	172,35	6,351	1,4891	11,783	0,023

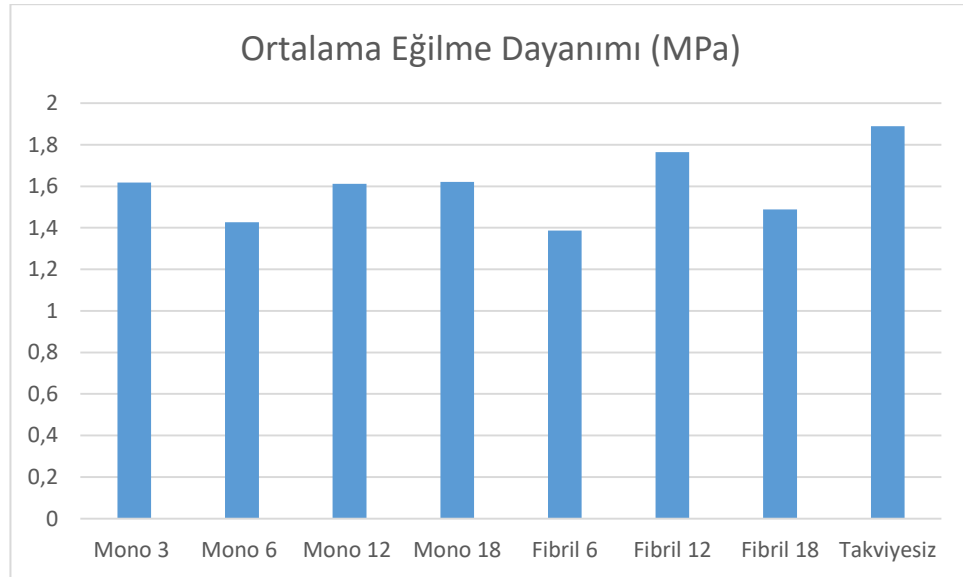
#### 4.2.1. Sert Poliüretan Köpük Malzemelerin Eğilme Dayanımı Sonuçları

Takviyesiz sert poliüretan ve polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan yapıların eğilme dayanımları Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, M17, M23 ve M29 nolu yapılar, yani Mono 3 (% 2), Mono 6 (% 2) ve Mono 18 (% 1) polipropilen elyaf takviyeli poliüretan yapıların eğilme dayanım değerleri takviyesiz poliüretan yapıya göre daha yüksek değerde elde edilmiştir. Fibril(mesh) polipropilen elyaf takviyeli poliüretan yapıların ise eğilme dayanım değerlerinin daha düşük değerde olduğu görülmüştür. Mono PP elyaf hacimleri arttıkça yapının da eğilme dayanımı arttırmıştır. Fibril PP elyafların yapıları kümelenmiş ve daha ince olduğu için eğilme dayanımına olumsuz etki etmiştir.



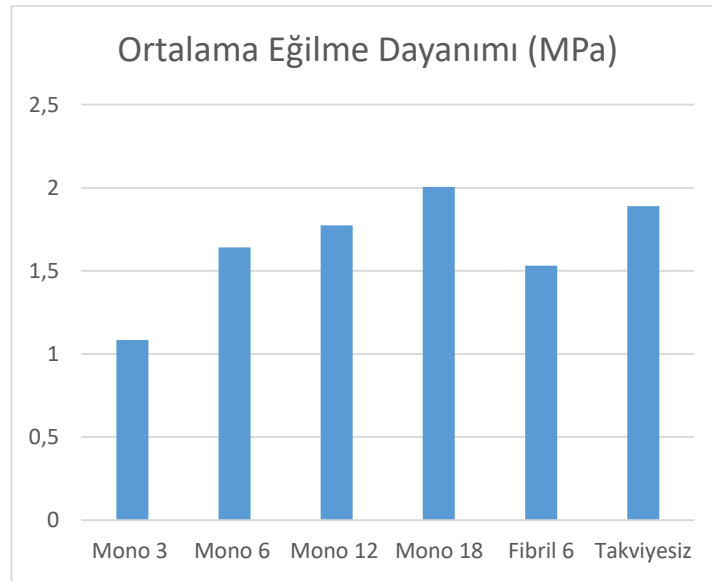
Şekil 4.2. Sert poliüretan köpük yapıların eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.

% 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme dayanımı grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir.



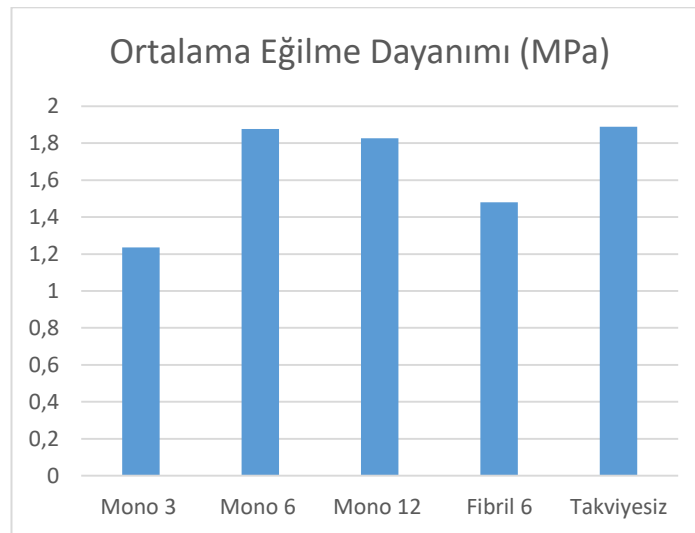
Şekil 4.3. % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.

% 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme dayanımı grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir.



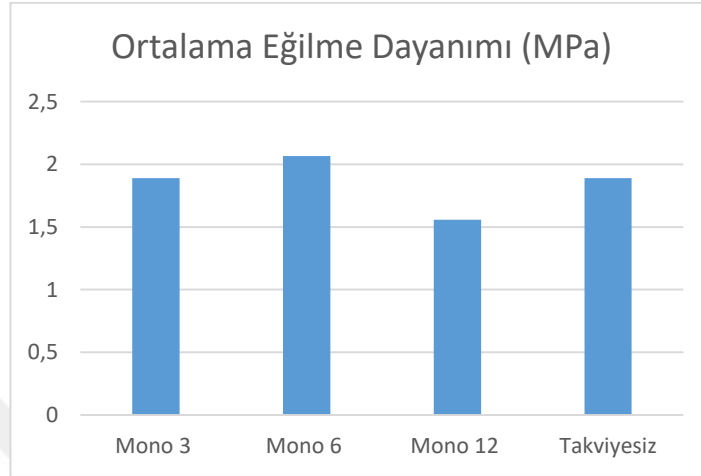
Şekil 4.4. % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.

Şekil 4.4'teki grafikten de anlaşılacağı gibi yapılardaki elyaf uzunluğu arttıkça eğilme dayanımı artmıştır. % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme dayanımı grafiği Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.

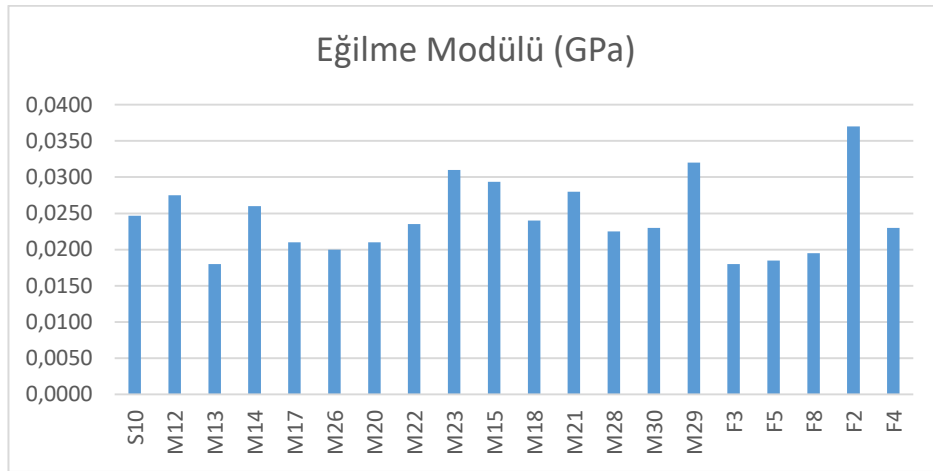
% 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme dayanımı grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir. Elyaf oranı arttıkça yapılardaki eğilme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.6. % 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.

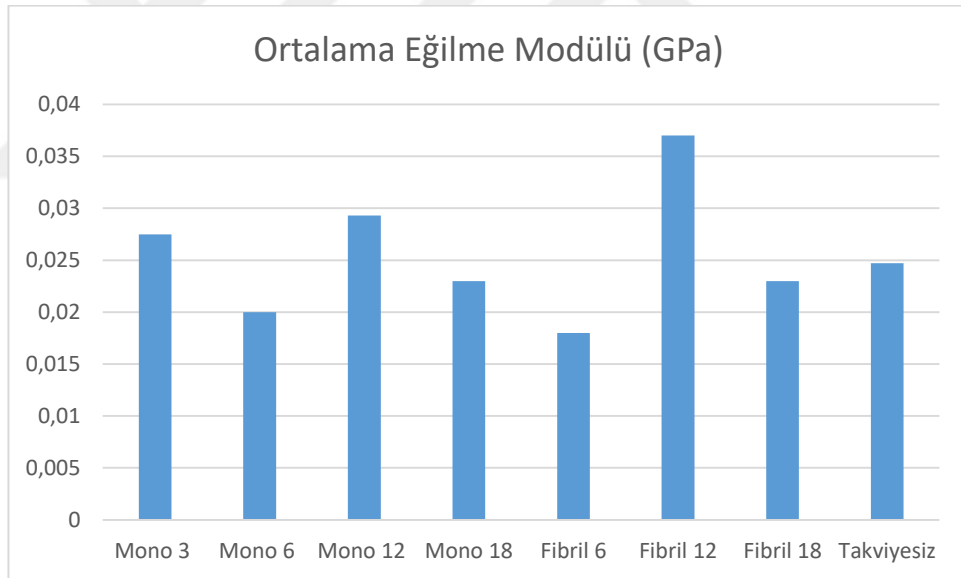
#### 4.2.2. Sert Poliüretan Köpük Yapıların Eğilme Modülü Sonuçları

Takviyesiz sert poliüretan ve polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan yapıların eğilme modülleri Şekil 4.7'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, mono PP takviyeli poliüretan yapıların eğilme modül değerleri fibril PP takviyeli poliüretan yapılara göre daha yüksek değerde elde edilmiştir. Bunun nedeni, sert poliüretan köpük yapılara mono PP takviye edildiğinde mono filament lif yapısının mukavemetinden dolayı matris içerisinde lineerliğini korumuştur. Dolayısıyla eğilme mukavemeti yüksek çıkmıştır. Buna paralel olarak fibrillerin zayıf mukavemet özelliklerinden dolayı fibriller doğrusallıklarını koruyamadığından eğilme dayanımları düşük çıkmıştır.



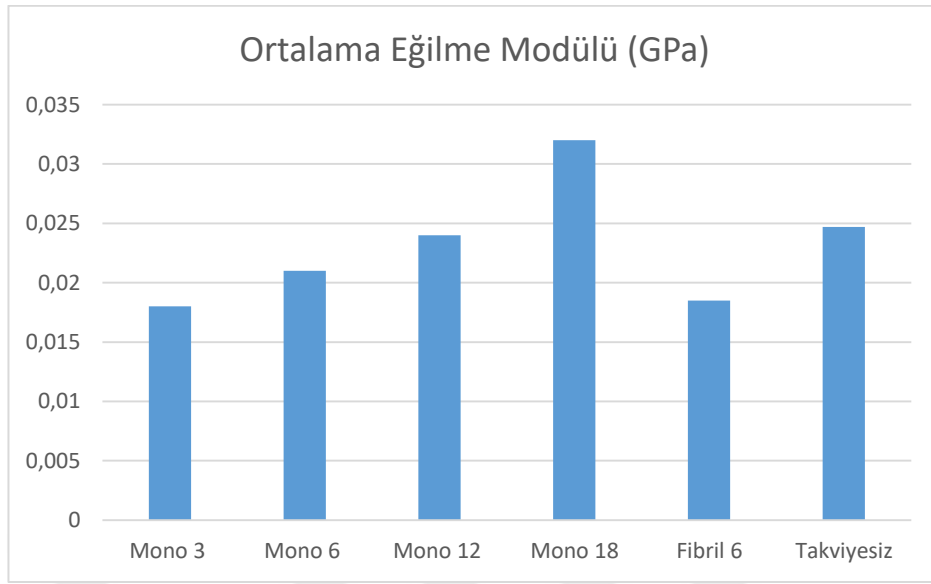
Şekil 4.7. Sert poliüretan köpük yapıların eğilme modülü sonuçlarının karşılaştırılması.

% 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme modülü grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir.



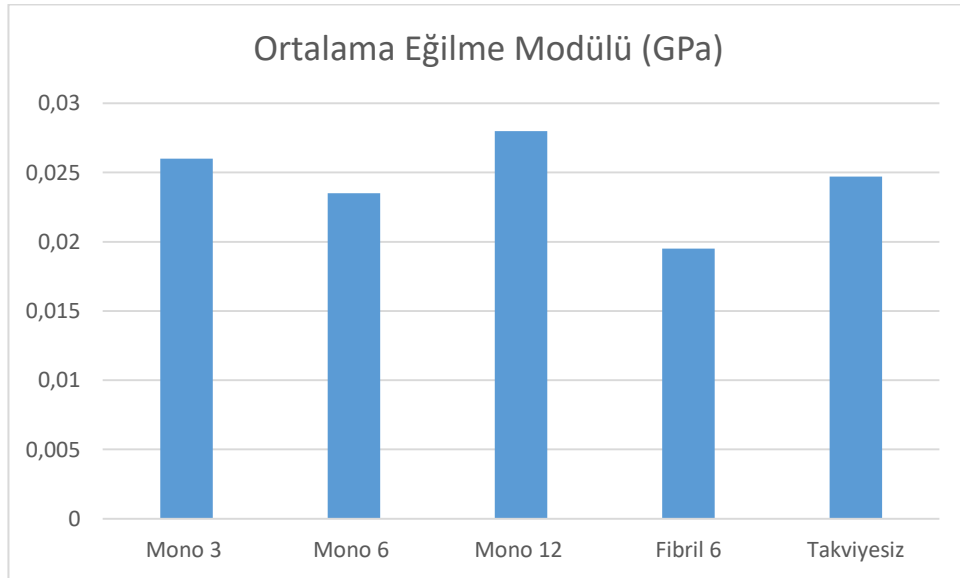
Şekil 4.8. % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme modülü sonuçlarının karşılaştırılması.

% 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme modülü grafiği Şekil 4.9’da verilmiştir.



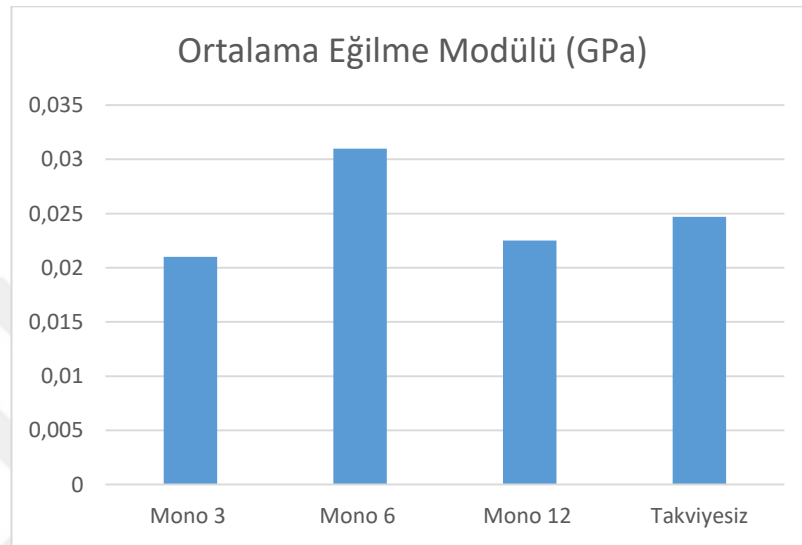
Şekil 4.9. % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme modülü sonuçlarının karşılaştırılması.

% 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme modülü grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme modülü sonuçlarının karşılaştırılması.

% 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme modülü grafiği Şekil 4.11’de verilmiştir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere, elyaf takviye oranı ve elyafın uzunluğu arttıkça eğilme modülü de artmıştır.

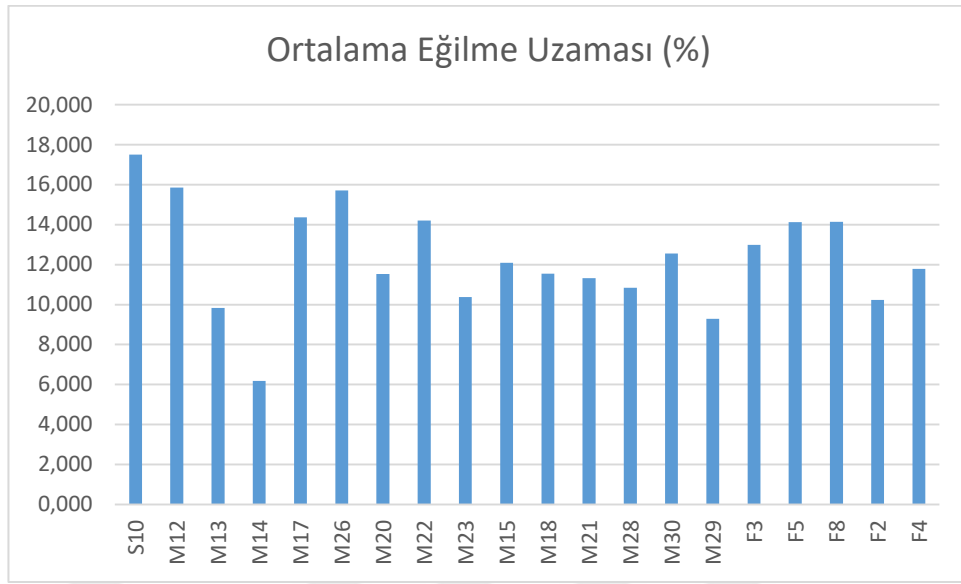


Şekil 4.11. % 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme modülü sonuçlarının karşılaştırılması.

#### 4.2.3. Sert Poliüretan Köpük Yapıların Eğilme Uzaması Sonuçları

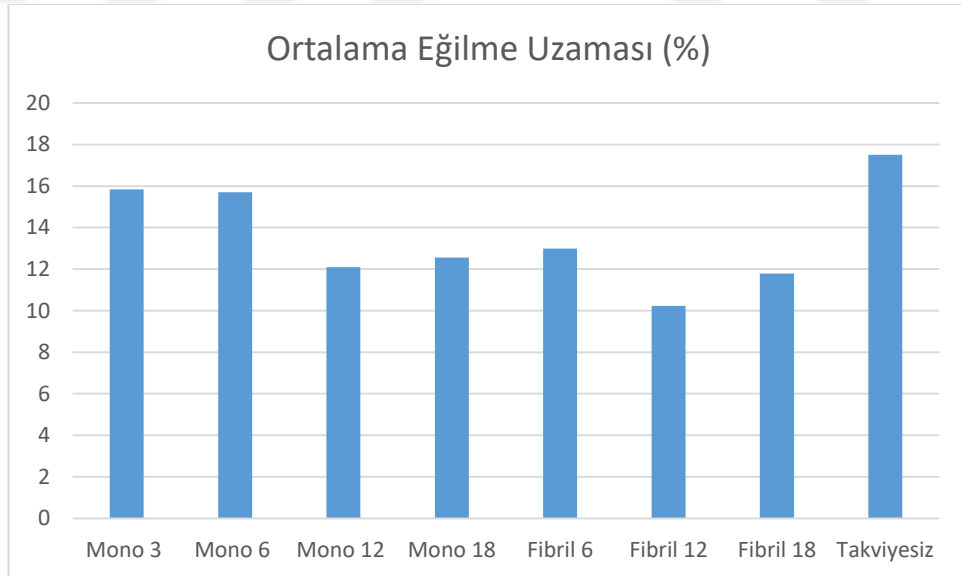
Takviyesiz sert poliüretan ve polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan yapıların eğilme uzaması Şekil 4.12’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, elyaf takviyeli sert poliüretan yapıların eğilme uzama değerleri takviyesiz sert poliüretan yapının eğilme uzama değerine göre daha düşük çıkmıştır. Buna neden olarak, eğme yüklemesi esnasında elyaf-poliüretan ara yüzeyinin etkileşiminden kaynaklanabileceği öne sürülmüştür. Eğer elyaf poliüretandan eğme yükü altında sıyrılırsa bu elyaf-poliüretan bozunmasına yol açacağı için yapının eğme uzama değerini etkileyebileceği söylenmektedir [36].

Sert poliüretan köpük yapılarına takviye edilen polipropilen elyaflar, poliüretan köpük içerisindeki hava kabarcık yapısını bozmaktadır. Katkı miktarı azaldıkça bozunma da azalmıştır. Elyaf boyu uzadıkça da bozunma artmıştır.



Şekil 4.12. Sert poliüretan köpük yapıların eğilme uzaması sonuçlarının karşılaştırılması.

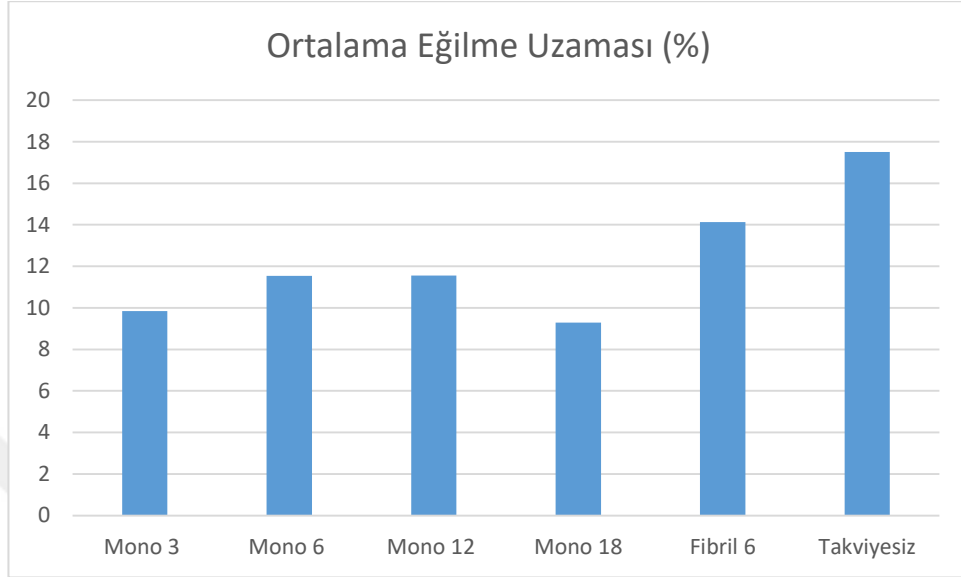
% 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların yüzde eğilme uzaması grafiği Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13. % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme uzaması sonuçlarının karşılaştırılması.

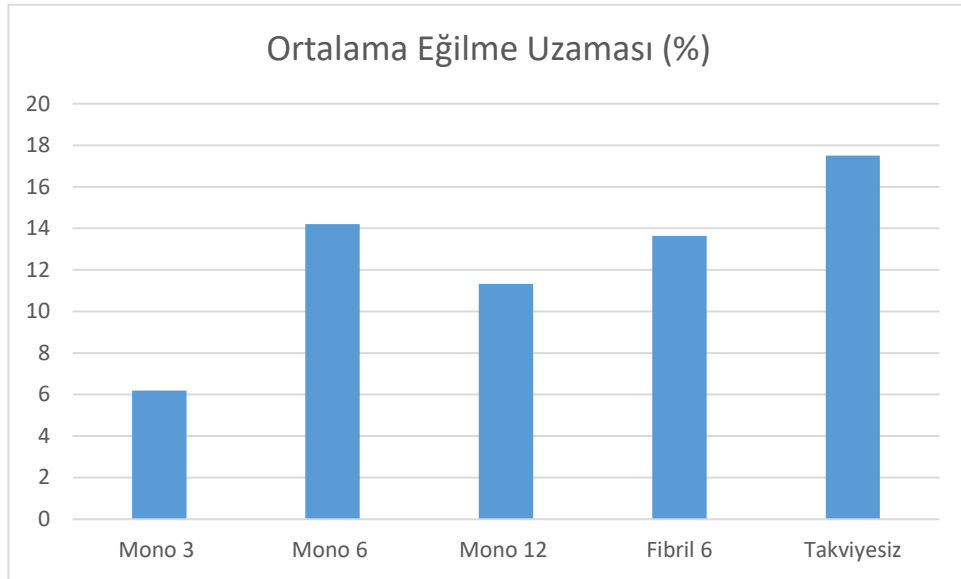
Şekil 4.13'den de anlaşıldığı gibi, % 0,5 elyaf takviyesinde monofilament ve fibril yapılarda elyaf boyu uzadıkça eğilme uzaması düşmüştür. % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların yüzde eğilme uzaması grafiği Şekil 4.14'te

verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi, elyaf oranının artması ile bütün yapılarda eğilme uzaması değerleri düşmüştür.



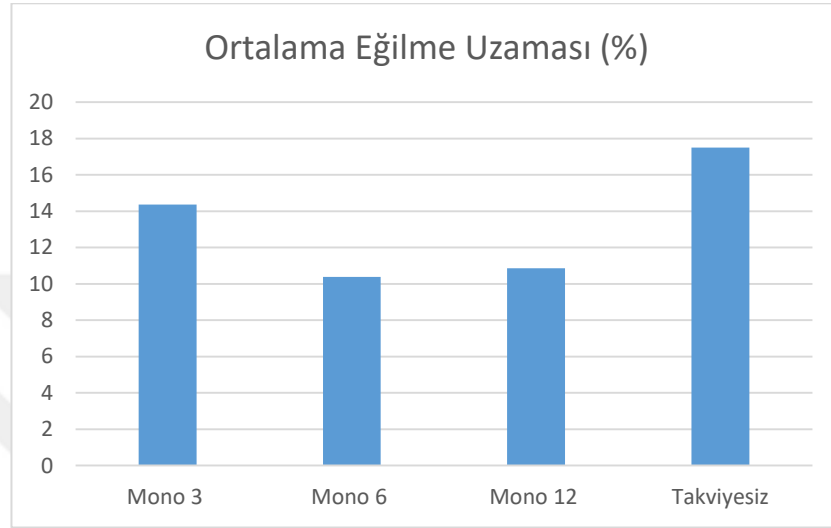
Şekil 4.14. % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme uzaması sonuçlarının karşılaştırılması.

% 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların yüzde eğilme uzaması grafiği Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15. % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme uzaması sonuçlarının karşılaştırılması.

% 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların yüzde eğilme uzaması grafiği Şekil 4.16'da verilmiştir. Şekil 4.15 ve 4.16'da görüldüğü gibi, yapılardaki elyaf oranındaki ve elyaf boyutundaki artış eğilme uzamasını olumsuz etkilemiştir.



Şekil 4.16. % 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların eğilme uzaması sonuçlarının karşılaştırılması.

### 4.3. Sert Poliüretan Köpük Yapıların Basma Test Sonuçları

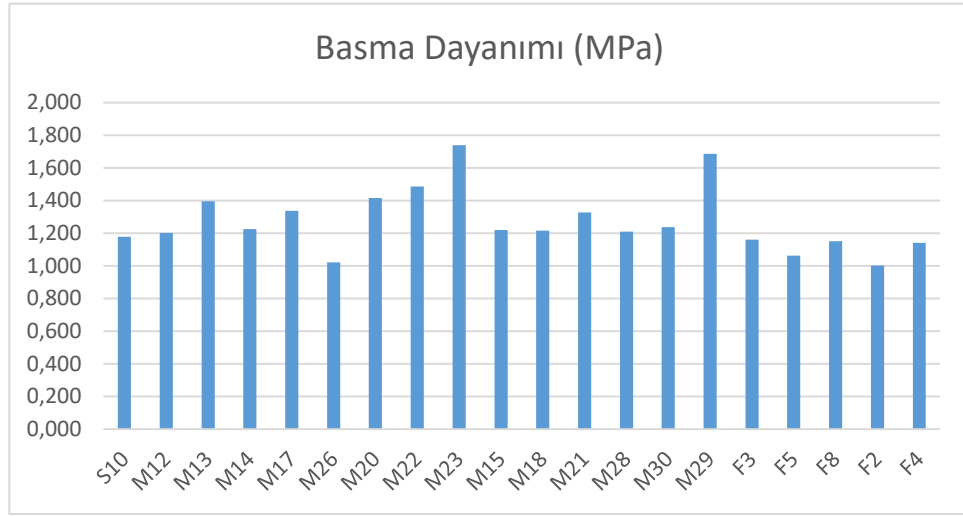
Bu tez kapsamında takviyesiz ve polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan kompozit yapıların  $50 \times 50 \times 40$  mm ebatlarında kesilen örneklerinin basma dayanımı ve basma kısılması hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Tablo 4.3.'te % 13 kısılma değerleri için verilmiştir.

Tablo 4.3. Sert poliüretan köpük yapıların standart basma (%13) test sonuçları.

Test Numune No	Sert Poliüretan Köpük Yapılar	Elyaf Oranı (Ağırlık Esaslı, %)	Ortalama Basma Yükü (N)	Ortalama Basma Dayanımı (MPa)	Ortalama Basma Kısalması (mm)	Basma Yüzde kısalması (%)
S10	Takviyesiz	0	2947,150	1,179	2,042	13
M12	Mono 3	0,5	3002,400	1,201	1,579	13
M13	Mono 3	1	3487,990	1,395	1,802	13
M14	Mono 3	1,5	3063,867	1,226	2,668	13
M17	Mono 3	2	3341,060	1,336	3,407	13
M26	Mono 6	0,5	2550,907	1,022	2,000	13
M20	Mono 6	1	3539,940	1,416	1,905	13
M22	Mono 6	1,5	3715,737	1,486	2,068	13
M23	Mono 6	2	4347,177	1,739	2,566	13
M15	Mono 12	0,5	3050,733	1,220	2,136	13
M18	Mono 12	1	3040,080	1,216	2,411	13
M21	Mono 12	1,5	3318,177	1,327	1,596	13
M28	Mono 12	2	3024,587	1,210	2,360	13
M30	Mono 18	0,5	3092,883	1,237	1,588	13
M29	Mono 18	1	4214,167	1,686	2,823	13
F3	Fibril 6	0,5	2901,140	1,160	1,888	13
F5	Fibril 6	1	2655,383	1,062	1,972	13
F8	Fibril 6	1,5	2877,767	1,151	1,955	13
F2	Fibril 12	0,5	2502,017	1,001	1,854	13
F4	Fibril 18	0,5	2854,197	1,142	1,964	13

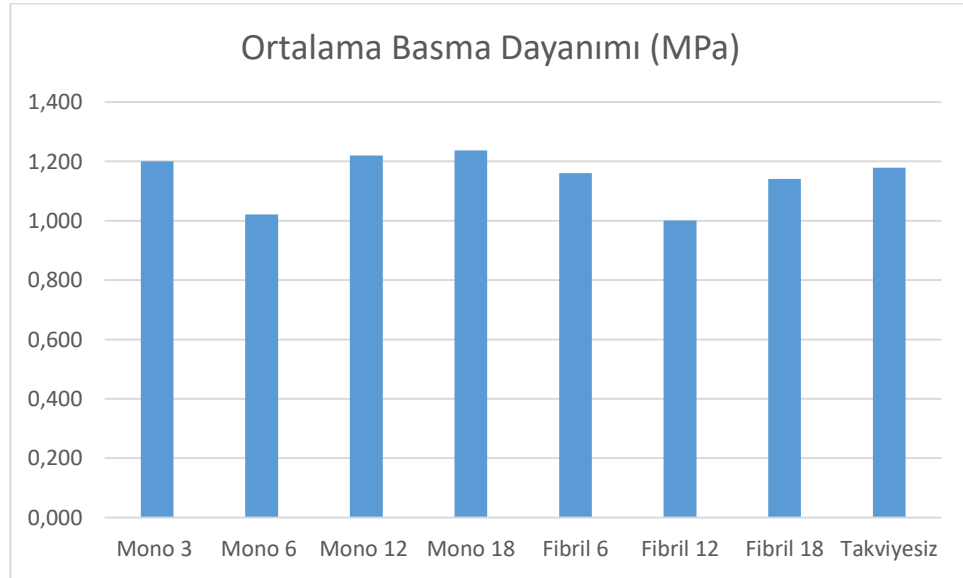
#### 4.3.1. Sert Poliüretan Köpük Yapıların Basma Dayanımı Sonuçları

Takviyesiz sert poliüretan ve polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan yapıların %13 değerindeki basma dayanımları Şekil 4.17’de verilmiştir. % 0,5 Mono 6 takviyeli sert poliüretan yapı dışında bütün mono polipropilen takviyeli sert poliüretan kompozit yapıların takviyesiz poliüretan yapısına göre basma dayanımını yüksek çıkmıştır. Fibril polipropilen takviyeli yapıların ise basma dayanımını fazla etkilemediği gözlemlenmiştir. M23 nolu % 2 mono PP takviyeli sert poliüretan yapının en yüksek basma dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



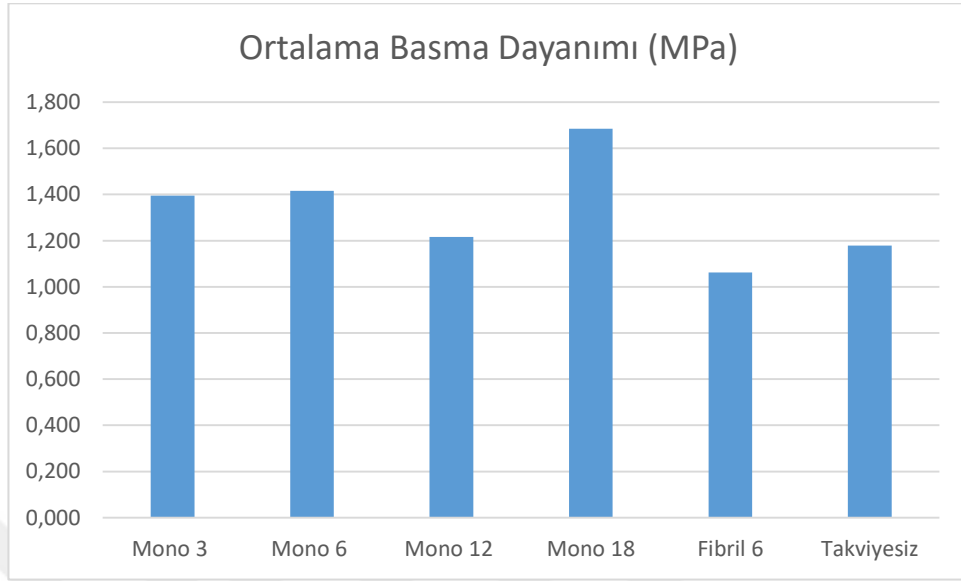
Şekil 4.17. Sert poliüretan köpük yapıların standart basma (% 13) dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.

% 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma dayanımı grafiği Şekil 4.18’de verilmiştir. Elyaf uzunluğu arttıkça yapılarıdaki basma dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.



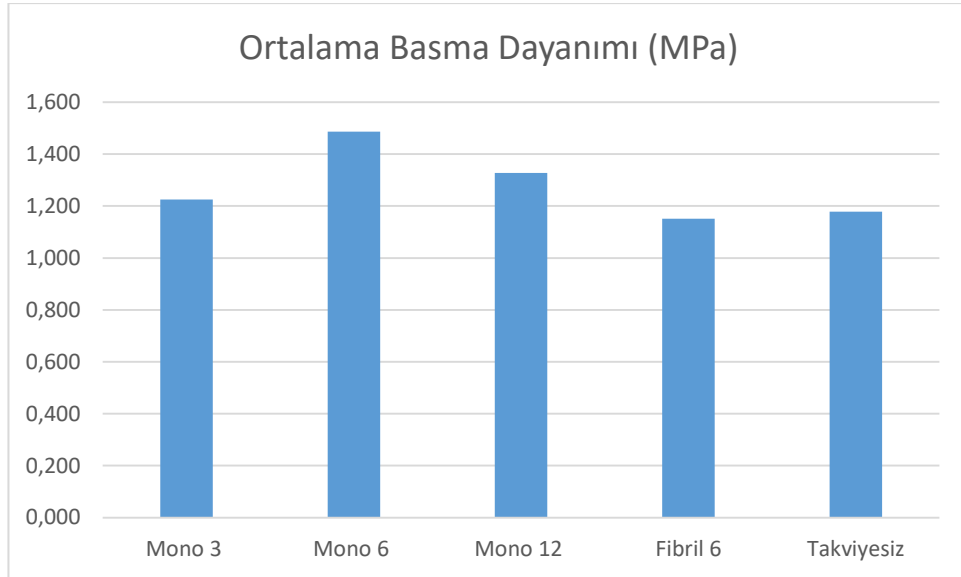
Şekil 4.18. % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.

% 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma dayanımı grafiği Şekil 4.19’da verilmiştir.



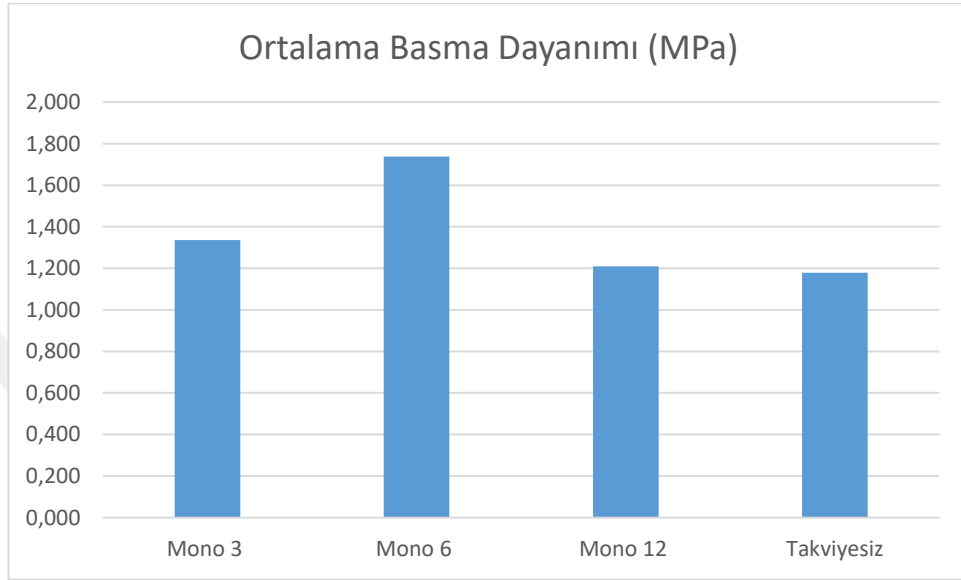
Şekil 4.19. % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.

% 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma dayanımı grafiği Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20. % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.

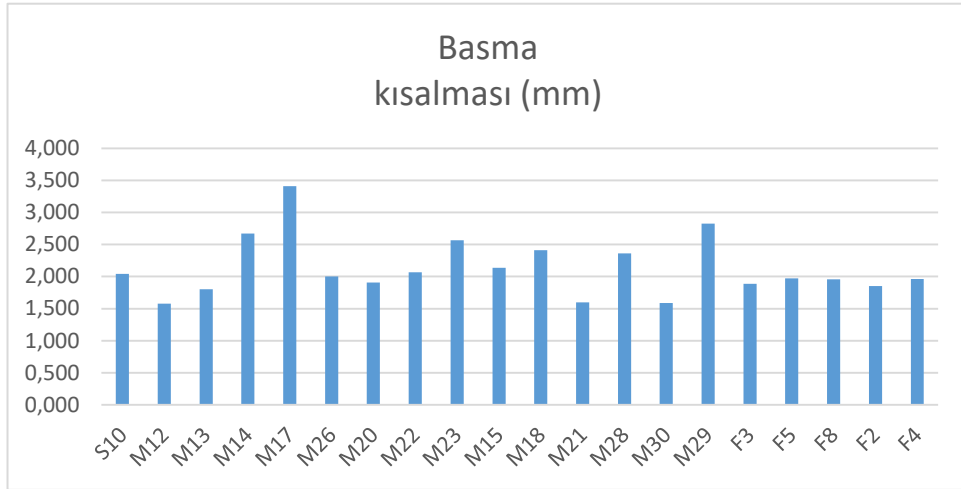
% 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma dayanımı grafiği Şekil 4.21'de verilmiştir. Yapılardaki elyaf oranının ve uzunluğun artması basma dayanımına olumlu etkide bulunmuştur.



Şekil 4.21. % 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma dayanımı sonuçlarının karşılaştırılması.

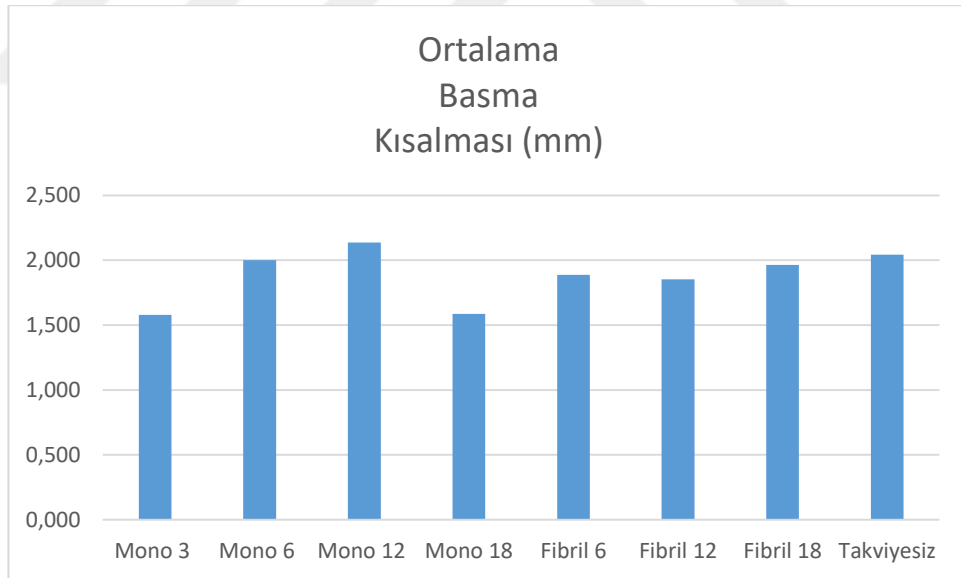
#### 4.3.2. Sert Poliüretan Köpük Yapıların Basma Kısalmaları Sonuçları

Takviyesiz sert poliüretan ve polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan yapıların %13 değerindeki basma kısılması değerleri Şekil 4.22'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, elyaf takviyeli poliüretan köpük yapıların yarısının basma kısılması takviyesiz poliüretan yapının basma kısılmasından yüksek çıkmıştır. Geri kalanlar ise takviyesiz yapının basma kısılması değerine yakın değerler taşımaktadır. Bu da göstermektedir ki poliüretan yapılara elyaf takviyesi yapıldığında basma kısılması artmaktadır. Mono 3 PP takviyeli yapıların en yüksek basma kısılmasına sahip olduğu görülmektedir.



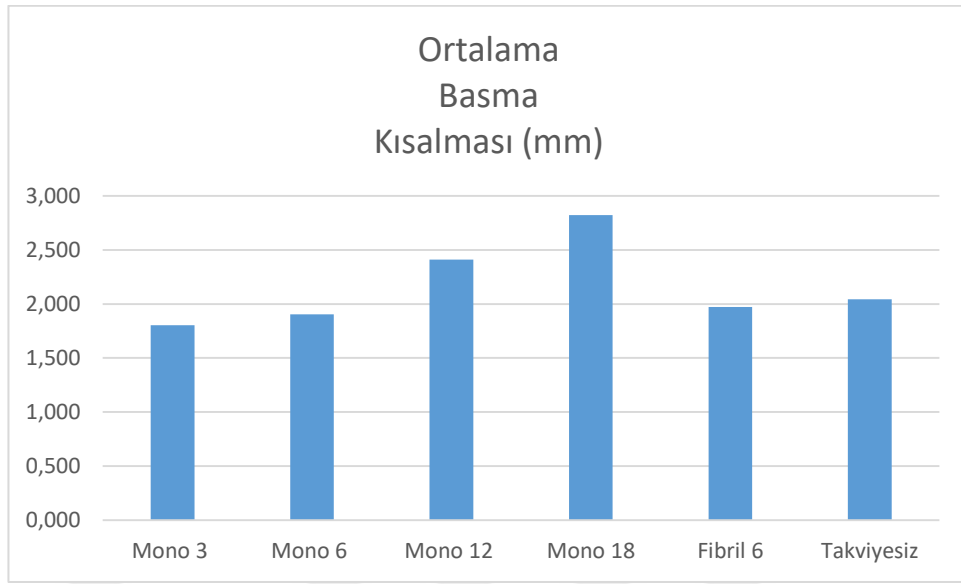
Şekil 4.22. Sert poliüretan köpük yapıların standart basma (% 13) kısılması sonuçlarının karşılaştırılması.

% 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma kısılması grafiği Şekil 4.23'te verilmiştir.



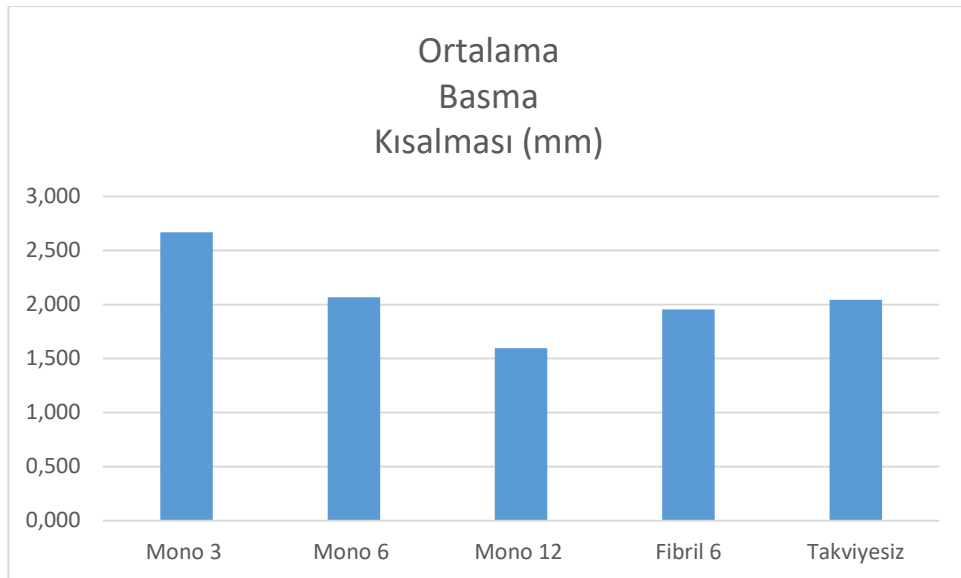
Şekil 4.23. % 0,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma kısılması sonuçlarının karşılaştırılması.

% 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma kısılması grafiği Şekil 4.24'te verilmiştir. Yapılarda elyaf uzunluğu arttıkça basma kısılması da artmıştır.



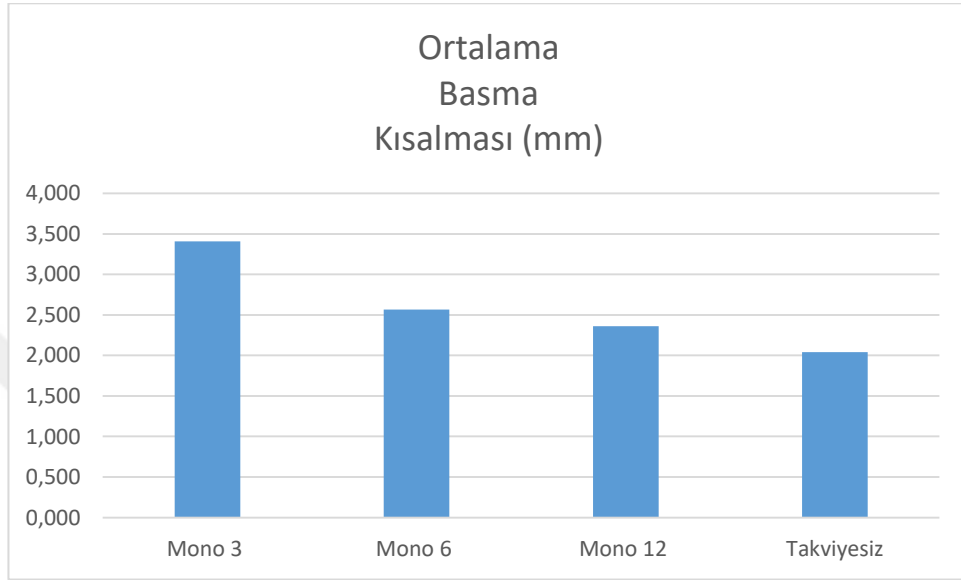
Şekil 4.24. % 1 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma kısalması sonuçlarının karşılaştırılması.

% 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma kısalması grafiği Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.25. % 1,5 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma kısalması sonuçlarının karşılaştırılması.

% 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma kısılması grafiği Şekil 4.26'da verilmiştir. Elyaf oranının artması ile takviyesiz sert poliüretan yapılarla oranla basma kısılması artmış fakat elyaf uzunluğu olumsuz etki yaratmaya başlamıştır.



Şekil 4.26. % 2 polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan köpük yapıların basma kısılması sonuçlarının karşılaştırılması.

#### 4.4. Genel Sonuçlar ve Öneriler

Bu tez kapsamında polipropilen takviyeli sert poliüretan kompozit yapılar başarılı bir şekilde üretildi. Özellikle seramik sağlık gereçleri sektöründe model alma destek aparatı olarak kullanılan sert poliüretan köpük yapıların mukavemeti artırılarak mekanik özelliklerinin güçlendirilmesi amaçlanmıştır (Şekil 4.27)



Şekil 4.27. Seramik sağlık gereçleri üretiminde model alma destek aparatı olarak kullanılan sert poliüretan köpük malzeme örnekleri.

Polipropilen elyaf destekli sert poliüretan kompozit yapılar üzerinde eğme ve basma testleri gerçekleştirilerek mekanik davranışları anlaşılmasına çalışılmıştır. Testler sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki gibidir.

1. Elyaf takviyeli sert poliüretan yapıların mekanik özellikleri, elyafın çeşidine, elyafın uzunluğuna ve elyafın oranına bağlıdır.
2. Monofilament polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan yapıların eğme ve basma dayanımı, takviyesiz poliüretan yapılara göre yüksek çıkmıştır.
3. Fibrilmesh polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan yapıların eğme ve basma dayanımını fazla etkilemediği gözlemlenmiştir.
4. Monofilament polipropilen elyaf takviyeli poliüretan yapıların basma ve eğme dayanımları, fibrilmesh polipropilen takviyeli poliüretan yapılara göre daha yüksektir.
5. Monofilament polipropilen takviyeli poliüretan yapılarda elyaf uzunluğu ve elyaf oranı arttıkça basma dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir.
6. Fibrilmesh polipropilen elyaf yapısı itibariyle poliüretan içerisinde homojen dağılmamış bu da mukavemete olumsuz etki etmiştir.
7. Yapılan her iki testte de en iyi sonuçları % 2 Mono 6 mm PP takviyeli sert poliüretan köpük yapılar vermiştir. % 47 mukavemet artışı sağlanmıştır.

Bu sonuçlara bakıldığında, mono polipropilen elyaf takviyeli sert poliüretan kompozit yapıların gelecekte ticarileşmesine olanak sağlanacaktır. Diğer yandan, üretim

yöntemlerinin geliştirilmesi ve elyaf-matris uyumunun iyileştirilmesine ihtiyaç duyulacaktır. Ülkemizin öncelikli araştırma konularından olan yeni malzeme ve üretim teknolojisi konusunda, teknolojik alt yapı ve bilgi birikimi arttırılarak, ülkenin bilimsel ve teknolojik araştırma gücüne katkı sağlayacaktır. Bu alt yapı ve bilgi birikimi yeni araştırmalar için basamak teşkil edecektir. Bunların yanında sert poliüretan köpük malzemelerin mekanik davranışları konusundaki boşluğu doldurarak, takip eden aynı konudaki çalışmalara ışık tutacaktır.



## KAYNAKÇA

1. Fried, J. R., 2014. Polymer Science and Technology, Third Edition. Courier Corporation, Massachusetts, pp 664.
2. Ashida, K., 2007. Polyurethane and Related Foams: Chemistry and Technology. CRC Press, Florida, pp 155.
3. Roesler, J., Harders, H., Baeker, M., 2007. Mechanical Behaviour of Engineering Materials: Metals, Ceramics, Polymers, and Composites. Springer, Berlin, pp 534.
4. J. F. Shackelford, 2014. Introduction to Materials Science for Engineers, 8th Edition. Pearson, Londra, pp 696.
5. Saçak, M., 1998. Polimer Kimyasına Giriş. A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, Ankara, 158 s.
6. Vahapoğlu, V., 2013. Kauçuk türü malzemeler: sınıflandırma. **Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 4 (1): 25-34.**
7. Aran, A., 2008. Malzeme Bilgisi Ders Notları. İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul.
8. Behrendt, G., Naber, B. W., 2009. The chemical recycling of polyurethanes. **Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 44 (1): 3-23.**
9. Demiryuğuran, F., 2015. Cam Elyaf, Karbon Elyaf ve Organik Madde Takviyeli Kompozit Poliüretan Köpük Malzemelerin Isıl Bozunma ve Yanma Davranışlarının İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 79 s.
10. Khemani, K.C., 1997. Polymeric Foams: Science and Technology. American Chemical Society, Washington, pp 239.
11. Yetgin, S.H., Ünal, H., 2008. Polimer esaslı köpük malzemeler. **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, ISSN - 1302- 3055 (17): 117-128.**

12. Lifshitz, J. M., 1983. Some mechanical properties of rigid polyurethane structural foam. **Polymer Engineering and Science**, **23** (3): 144-154.
13. Büyükkakıncı, B., Sökmen, N., Küçük, H., 2011. Thermal conductivity and acoustic properties of natural fiber mixed polyurethane composites. **Textile and Apparel**, **21** (2): 124-132.
14. Chian, K.S., Gan, L.H., 1997. Development of a rigid polyurethane foam from palm oil. **Journal of Applied Polymer Science**, **68** (1998), 509–515.
15. Akdoğan, E., 2011. Farklı Katkı Maddelerinin Poliüretan Malzemelerin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkileri. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 98 s.
16. Sonnenschein, M. F., 2015. Polyurethanes Science, Technology, Markets, and Trends. John Wiley & Sons Inc., New Jersey, pp 417.
17. Choe, K. H., Lee, D. S., Seo, W. J., Kim, W. N., 2004. Properties of rigid polyurethane foams with blowing agents and catalysts. **Polymer Journal**, **36** (5): 368-373.
18. Yang, Z.G., Zhao, B., Qin, S.L., Hu, Z.F., Jin, Z.K., Wang, J.H., 2003. Study on the mechanical properties of hybrid reinforced rigid polyurethane composite foam. **Journal of Applied Polymer Science**, **92**: 1493-1500.
19. Silva, M.C., Takahashi, J.A., Chaussy, D., Belgacem, M.N., Silva, G.G., 2010. Composites of rigid polyurethane foam and cellulose fiber residue. **Journal of Applied Polymer Science**, **117**: 3665-3672.
20. Szycher, M., 2013. Szycher's Handbook of Polyurethanes, Second Edition. CRC Press, Florida, pp 1092.
21. Eaves, D., 2004. Handbook of Polymer Foams. Rapra Technology Limited, Shropshire, pp 290.
22. Ridha, M., Shim, V.P.W., 2008. Microstructure and tensile mechanical properties of anisotropic rigid polyurethane foam. **Experimental Mechanics**, **(48)**: 763–776.

23. Emanoil, L., Liviu, M., 2012. The effect of loading rate and direction of formation on fracture toughness of rigid polyurethane foams. **Journal of Engineering Studies and Research**, **18(1)**: 120-127.
24. Chen, W., Lu, F., Winfree, N., 2002. High-strain-rate compressive behavior of a rigid polyurethane foam with various densities. **Experimental Mechanics**, **42** (1): 65-73.
25. Ma, W., Feichtinger, K., 2017. Rigid structural foam and foam-cored sandwich composites, pp. 257-315. In *Polymeric Foams: Innovations in Processes, Technologies, and Products* (S. Lee). CRC Press, Florida.
26. Lyons, A., 2010. *Materials for Architects and Builders*, Fourth Edition. Elsevier, Oxford, pp 420.
27. Thirumal, M., Khastgir, D., Singha, N.K., Manjunath, B.S., Naik, Y.P., 2008. Effect of foam density on the properties of water blown rigid polyurethane foam. **Journal of Applied Polymer Science**, **108**: 1810-1817.
28. Başer, İ., 2002. *Elyaf Bilgisi*, Marmara Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 179 s.
29. Saçak, M., 2007. *Lif ve Elyaf Kimyası*. Gazi Kitabevi, Ankara, 271 s.
30. Hsie, M., Tu, C., Song, P.S., 2008. Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber-reinforced concrete. **Materials Science and Engineering A**, **494**: 153 -157.
31. Polyfibers® (Web sayfası: <https://www.polyfibers.com> ), (Erişim tarihi: Kasım 2019).
32. Qian, C.X., Stroeven, P., 2000. Development of hybrid polypropylene-steel fibereinforced concrete. **Cement and Concrete Research**, **30**: 63-69.
33. Sun, Z., Xu, Q., 2009. Microscopic, physical and mechanical analysis of polypropylene fiber reinforced concrete, **Materials Science and Engineering A**. **527**: 198-204.
34. Ravago Petrokimya (Web sayfası: <https://www.ravagopetrokimya.com/tr>), (Erişim tarihi: Kasım 2019)

35. Voiconi, T., Linul, E., Marsavina, L., Sadowski, T., Kneć, 2014. M., Determination of flexural properties of rigid PUR foams using digital image correlation. **Solid State Phenomena**, **216**: 116-121.
36. Kalebayır, B., 2014. Çok Eksenli ve Katmanlı Lif/Poliüretan Katı Yapısal Panellerin Geliştirilmesi ve Özelliklerinin Karakterize Edilmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 173 s.
37. Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (Web sayfası: <http://taum.erciyes.edu.tr/>), (Erişim tarihi: Aralık 2019).
38. Alszadeh, M.M., Sadeghi, G.M.M., Abdouss, M., 2010. Synthesis and characterization of BHETA based new polyurethanes, **Mat.-wiss. u.Werkstofftech**, **41**, (8): 682-688.
39. Zhang, L., Zhang, M., Hu, L., Zhou, Y., 2014. Synthesis of rigid polyurethane foams with castor oil-based flame retardant polyols. **Industrial Crops and Products**, **52**: 380-388.
40. Bandyopadhyay-Ghosh, S., Ghosh, S.B., Sain, M., 2010. Synthesis of soy-polyol by two step continuous route and development of soy-based polyurethane foam. **J Polym Environ**, **18**: 437-442.
41. ASTM D790-03, Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003.
42. ASTM D1621-10, Standard Test Method for Compressive Properties Of Rigid Cellular Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.
43. ASTM D 7487 - 13, Standard Practice for Polyurethane Raw Materials: Polyurethane Foam Cup Test, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
44. ASTM D 1622-08, Standard Test Method for Apparent Density of Rigid Cellular Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.
45. ASTM E 1131-08, Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.

46. ASTM D 3576-04, Standard Test Method for Cell Size of Rigid Cellular Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Hale ASLANTAŞ

Uyruğu: Türkiye (TC)

Doğum Tarihi ve Yeri: 1 Mart 1990, Kayseri

Medeni Durumu: Bekâr

Tel: +90 544 220 11 28

email: [haleaslantas@gmail.com](mailto:haleaslantas@gmail.com)

Yazışma Adresi: Erciyes Üniversitesi Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı 38039  
Talas/KAYSERİ

### EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	2020
Lisans	KOU Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Müh.	2012
Lise	Nuh Mehmet Baldöktü Anadolu Lisesi, Ankara	2008

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2018	Turkuaz Seramik A.Ş.	AR-GE Mühendisi
2015-2016	Ferro Döküm A.Ş.	Ürün Mühendisi
2013-2014	Taegutec Türkiye LTD.	Satış Mühendisi

### YABANCI DİL

İngilizce