

**T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİYEN  
PARAMETRELERİN BELİRLENEREK ISIL VE AŞINMA  
PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yeşim BERBEROĞLU**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ferhat AYDIN**

**Mayıs 2019**

T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

POLİMER BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİYEN  
PARAMETRELERİN BELİRLENEREK ISIL VE AŞINMA  
PERFORMANSININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yeşim BERBEROĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 27/05/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından  
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

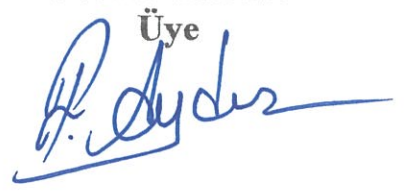
Prof. Dr.  
Kemalettin YILMAZ  
Jüri Başkanı



Prof. Dr.  
Metin İPEK  
Üye



Doç. Dr.  
Ferhat AYDIN  
Üye



## BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Yeşim BERBEROĞLU

08/05/2019



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Ferhat AYDIN'na teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Metin İPEK'e, İnşaat Teknikeri Sami GÜRSES'e, sevgili Özlem ĞUMA'ya, sevgili Tuğçe VURAL'a her zaman desteğini hissettiğim eşim Yusuf BERBEROĞLU'na ve hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme, bana kazandırdıkları her şey için sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
<b>BÖLÜM 1.</b>	
<b>GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>BÖLÜM 2.</b>	
<b>POLİMER BETONLAR .....</b>	<b>4</b>
2.1. Polimer.....	4
2.2. Polimerlerin Sınıflandırılması .....	5
2.2.1. Termoplastikler.....	6
2.2.2. Termoset plastikler.....	7
2.3. Polimerlerin Özellikleri .....	9
2.4. Polimer Beton .....	10
2.5. Polimer Beton Ürünlerinin İmalat Teknolojisi .....	11
2.5.1. Kalıplar .....	11
2.5.2. Polimer betonun yoğunlaştırılması .....	12
2.6. Polimer Beton Türleri .....	12
2.6.1. Polimer portland çimento betonları (PPCC).....	13
2.6.2. Polimer emdirme betonları (PIC).....	15
2.6.3. Polimer beton ve harçları (PC).....	17
2.7. Polimer Betonun Yaygın Olarak Kullanım Alanları .....	19
2.7.1. Onarım .....	19
2.7.2. Prekast polimer betonlar.....	20
2.7.3. Yollar.....	21
2.8. Literatür .....	22
<b>BÖLÜM 3.</b>	
<b>DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>27</b>

3.1. Malzeme ve Metot.....	27
3.1.1. Reçine .....	27
3.1.2. Kalıp ayırıcı vaks.....	29
3.1.3. Agregas.....	30
3.1.4. Karışım metodu .....	32
3.1.5. Kullanılan makine ve ekipmanlar .....	33
3.2. Deneyler.....	35
3.2.1. Polimer reçinesi deneyi .....	36
3.2.2. Agregas nem oranının etkisi .....	37
3.2.3. Agregadaki yabancı maddelerin etkisi .....	38
3.2.4. Agregas tane büyüklüğünün etkisi.....	39
3.2.5. Reçine oranının etkisi .....	40
3.2.6. Cam lifi oranının etkisi .....	42
3.2.7. Mermer tozu oranının etkisi.....	43
3.2.8. Sıcaklığın etkisi .....	44
3.2.9. Polimer beton aşınması.....	46
3.3. Deney Sonuçları .....	48
3.3.1. Polimer reçinesi deney sonuçları.....	48
3.3.2. Agregadaki nem oranının etkisi sonuçları .....	49
3.3.3. Agregadaki yabancı maddelerin etkisi sonuçları .....	52
3.3.4. Agregas tane büyüklüğünün etkisi sonuçları.....	54
3.3.5. Reçine oranının etkisi sonuçları .....	57
3.3.6. Cam lifi oranının etkisi sonuçları .....	62
3.3.7. Mermer tozu oranının etkisi sonuçları.....	67
3.3.8. Sıcaklık etkisinin sonuçları .....	72
3.3.9. Aşınmanın etkisi sonuçları .....	84

<b>BÖLÜM 4.</b>	
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>89</b>

<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>91</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>93</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

d	: Elek göz açıklığı
D	: En büyük agrega boyutu
PR	: Polimer Reçinesi
EKK	: Etüv Kuru Kum
YEKK	: Yıkanmış Etüv Kuru Kum
YEKM	: Yıkanmış Etüv Mıcır
YEKK -30	: Yıkanmış Etüv Kuru Kum %30 Polimer Reçinesi Oranlı
YEKK -37,5	: Yıkanmış Etüv Kuru Kum %37,5 Polimer Reçinesi Oranlı
YEKK -45	: Yıkanmış Etüv Kuru Kum %45 Polimer Reçinesi Oranlı
YEKK -50	: Yıkanmış Etüv Kuru Kum %50 Polimer Reçinesi Oranlı
PBK	: Polimer Beton Karışımı
PBK-%0,05	: Polimer Beton Karışımı %0,05 Cam Lifi Takviyeli
PBK-%0,5	: Polimer Beton Karışımı %0,5 Cam Lifi Takviyeli
PBK-%1	: Polimer Beton Karışımı %1 Cam Lifi Takviyeli
PBK-%5	: Polimer Beton Karışımı %5 Mermer Tozu Takviyeli
PBK-%10:	: Polimer Beton Karışımı %10 Mermer Tozu Takviyeli
PBK-%15	: Polimer Beton Karışımı %15 Mermer Tozu Takviyeli
Ga	: Agreganın ağırlığı
K	: Agreganın kompasitesi
DK	: Doğal Kum
n	: İstenen incelik ve kalınlığa göre ayarlanabilen katsayı
P	: Her elekten % geçen
V	: Ölçü kabının hacmi
$\Delta$	: Birim ağırlığı
$\Delta$	: Özgül ağırlığı

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 : Polimer su kanalı. ....	3
Şekil 2.1 : Termoplastik polimer zinciri. ....	7
Şekil 2.2 : Termoset plastik polimer zinciri. ....	8
Şekil 2.3 : Polimerlerin betonda üç ayrı kullanımı. ....	13
Şekil 2.4 : Yavuz Selim Köprüsü. ....	14
Şekil 2.5 : Polimer beton ile yapılan yol onarımı.....	20
Şekil 2.6 : Polimer beton borular.....	21
Şekil 2.7 : Polimer beton yol uygulaması. ....	22
Şekil 3.1 : Kalıp ayırıcı polivaks SV-6.....	29
Şekil 3.2 : Prizmatik çelik kalıplar ve kalıp ayırıcı.....	29
Şekil 3.3 : Elek analizi yapılmış 4 mm doğal kum. ....	31
Şekil 3.4 : 4 mm doğal kum Fuller eğrisi.....	32
Şekil 3.5 : Karışım metodu zaman çizelgesi. ....	33
Şekil 3.6 : Eğilme test cihazı.....	33
Şekil 3.7 : Basınç deneyi düzeneği. ....	34
Şekil 3.8 : Aşınma düzeneği ve aşınma böhme cihazı. ....	34
Şekil 3.9 : Deney matrisi.....	35
Şekil 3.10 : Priz almış polimer numuneleri ve 3 noktalı eğilme deneyi .....	36
Şekil 3.11 : Yıkanmamış etüv kurusu kum numuneleri .....	37
Şekil 3.12 : Yıkanmamış doğal kum numuneleri.....	38
Şekil 3.13 : Yıkanmış etüv kurusu kum numuneleri.....	39
Şekil 3.14 : Yıkanmış etüv kurusu mıcır.....	40
Şekil 3.15 : YEKK hacimce %30 polimer oranlı numuneler.....	41
Şekil 3.16 : YEKK hacimce %45 polimer oranlı numuneleri.....	41
Şekil 3.17 : YEKK hacimce %50 polimer oranlı deney numuneleri .....	42
Şekil 3.18 : PBK cam lifi takviyeli deney numuneleri.....	43
Şekil 3.19 : PBK mermer tozu takviyeli deney numuneleri.....	44
Şekil 3.20 : Numuneye uygulanan eğilme deneyi.....	45
Şekil 3.21 : Numuneye uygulanan basınç deneyi .....	45
Şekil 3.22 : Böhme cihazı ve polimer beton numunesi.....	48
Şekil 3.23 : Polimer reçinesi eğilme grafiği.....	49
Şekil 3.24 : Yıkanmamış etüv kurusu kum eğilme grafiği.....	50
Şekil 3.25 : Yıkanmamış doğal kum eğilme grafiği.....	51
Şekil 3.26 : Yalın polimer ile nem etkisi deneylerinin karşılaştırılması .....	52
Şekil 3.27 : Yıkanmış etüv kurusu kum eğilme grafiği.....	53
Şekil 3.28 : Yalın polimer ile zararlı madde etkisi deneylerinin karşılaştırılması .....	54
Şekil 3.29 : Yıkanmış etüv kurusu mıcır eğilme grafiği .....	55
Şekil 3.30 : Yalın polimer ile agrega büyüklüğü etkisi deneylerinin karşılaştırılması....	56
Şekil 3.31 : YEKK - %30 eğilme grafiği .....	57



Şekil 3.32 : YEKK-%45 eğilme grafiği .....	58
Şekil 3.33 : YEKK -%50 eğilme grafiği .....	60
Şekil 3.34 : Reçine oranının polimer beton dayanımına etkilerinin karşılaştırılması .....	61
Şekil 3.35 : PBK-%0,05 cam lifi takviyeli eğilme grafiği .....	62
Şekil 3.36 : %0,5 cam lifi takviyeli eğilme grafiği .....	64
Şekil 3.37 : PBK- % 1 cam lifi takviyeli polimer beton eğilme grafiği.....	65
Şekil 3.38 : Cam lifi oranının polimer beton dayanımına etkilerinin karşılaştırılması...	66
Şekil 3.39 : PBK-% 5 mermer tozu takviyeli eğilme grafiği .....	68
Şekil 3.40 : PBK - %10 mermer tozu takviyeli eğilme grafiği .....	69
Şekil 3.41 : PBK-% 15 mermer tozu takviyeli eğilme grafiği .....	70
Şekil 3.42 : Mermer tozu oranı polimer beton dayanımına etkilerinin karşılaştırılması	71
Şekil 3.43 : PBK -30 °C sıcaklıkta eğilme grafiği .....	73
Şekil 3.44 : PBK -30 °C sıcaklıkta basınç grafiği.....	74
Şekil 3.45 : +50 °C sıcaklıkta eğilme grafiği .....	75
Şekil 3.46 : PBK +50 °C sıcaklıkta basınç grafiği.....	76
Şekil 3.47 : PBK +100 °C sıcaklıkta eğilme grafiği .....	77
Şekil 3.48 : PBK +100 °C sıcaklıkta basınç grafiği.....	78
Şekil 3.49 : PBK +150 °C sıcaklıkta polimer beton eğilme grafiği.....	79
Şekil 3.50 : PBK +150 °C sıcaklıkta basınç grafiği.....	80
Şekil 3.51 : PBK +200 °C sıcaklıkta eğilme grafiği .....	81
Şekil 3.52 : PBK +200 °C sıcaklıkta basınç grafiği.....	82
Şekil 3.53 : Sıcaklık etkisinde eğilme dayanımlarının karşılaştırılması .....	82
Şekil 3.54 : Sıcaklık etkisinde basınç dayanımlarının karşılaştırılması .....	83
Şekil 3.55 : Sıcaklığın polimer beton eğilme dayanımına etkilerinin karşılaştırılması ..	83
Şekil 3.56 : Sıcaklığın polimer beton basınç dayanımına etkilerinin karşılaştırılması ...	84
Şekil 3.57 : Polimer beton ve normal betonun ağırlıkça aşınma sonuçlarının karşılaştırılması.....	87
Şekil 3.58 : Polimer beton ve normal betonun hacimce aşınma sonuçlarının karşılaştırılması.....	87

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1 : Termoset ve termoplastik matris malzemelerin avantaj ve dezavantajları ....	9
Tablo 3.1 : Polyester reçinesine ait özellikler .....	28
Tablo 3.2 : Polyester reçinesine kullanılan priz hızlandırıcıya ait özellikler .....	28
Tablo 3.3 : Elek analizi.....	30
Tablo 3.4 : Fuller eğrisi hesabı.....	31
Tablo 3.5 : Polimer reçinesi karışım oranı .....	36
Tablo 3.6 : EKK ve DK karışım oranları .....	37
Tablo 3.7 : YEKK ve EKK karışım oranları .....	38
Tablo 3.8 : YEKK ve YEKM karışım oranları .....	39
Tablo 3.9 : YEKK-30, YEKK-37,5, YEKK-45, YEKK-50 karışım oranları.....	40
Tablo 3.10 : PBK- %0,05, PBK-%0,5, PBK-%1, cam lifli karışım oranları .....	42
Tablo 3.11 : PBK- %5, PBK-%10, PBK-%15 mermer tozu karışım oranları .....	43
Tablo 3.12 : PBK karışım oranları .....	45
Tablo 3.13 : Polimer beton karışım oranları .....	48
Tablo 3.14 : Polimer reçinesi eğilme dayanımı sonuçları.....	48
Tablo 3.15 : Polimer reçinesi basınç dayanımı sonuçları.....	49
Tablo 3.16 : Etüv kurusu kum eğilme dayanımı sonuçları.....	50
Tablo 3.17 : Etüv kurusu kum basınç dayanımı sonuçları .....	50
Tablo 3.18 : Doğal kum eğilme dayanımı sonuçları .....	51
Tablo 3.19 : Yıkanmış etüv kurusu kum eğilme dayanımı sonuçları.....	53
Tablo 3.20 : Yıkanmış etüv kurusu kum basınç dayanımı sonuçları.....	53
Tablo 3.21 : Yıkanmış etüv kurusu mıcır eğilme dayanımı sonuçları.....	55
Tablo 3.22 : Yıkanmış etüv kurusu mıcır basınç dayanımı sonuçları .....	55
Tablo 3.23 : YEKK-%30 reçineli polimer beton eğilme dayanımı sonuçları .....	57
Tablo 3.24 : YEKK-45 eğilme dayanımı sonuçları.....	58
Tablo 3.25 : YEKK-%45 basınç dayanımı sonuçları .....	59
Tablo 3.26 : YEKK-50 eğilme dayanımı sonuçları.....	59
Tablo 3.27 : EKYK-%50 basınç dayanımı sonuçları .....	60
Tablo 3.28 : PBK-%0,05 cam lifli eğilme dayanımı sonuçları .....	62
Tablo 3.29 : PBK-%0,05 basınç dayanımı sonuçları .....	63
Tablo 3.30 : PBK-%0,5 cam lifli eğilme dayanımı sonuçları .....	63
Tablo 3.31 : PBK-%0,5 basınç dayanımı sonuçları .....	64
Tablo 3.32 : PBK-% 1 cam lifli eğilme dayanımı sonuçları .....	65
Tablo 3.33 : PBK-% 1 basınç dayanımı sonuçları .....	65
Tablo 3.34 : PBK-% 5 mermer tozu ilaveli eğilme dayanımı sonuçları .....	67
Tablo 3.35 : PBK-% 5 mermer tozu ilaveli basınç dayanımı sonuçları .....	68
Tablo 3.36 : PBK-% 10 mermer tozu ilaveli eğilme dayanımı sonuçları .....	69
Tablo 3.37 : PBK-% 10 mermer tozu ilaveli polimer beton basınç dayanımı sonuçları.....	69
Tablo 3.38 : PBK-% 15 mermer tozu ilaveli eğilme dayanımı sonuçları .....	70

Tablo 3.39 : PBK-% 15 mermer tozu ilaveli basınç dayanımı sonuçları .....	71
Tablo 3.40 : PBK -30 °C sıcaklıktaki eğilme dayanımı sonuçları .....	72
Tablo 3.41 : PBK -30 °C sıcaklıktaki basınç dayanımı sonuçları .....	73
Tablo 3.42 : PBK +50 °C sıcaklıktaki eğilme dayanımı sonuçları .....	74
Tablo 3.43 : PBK +50 °C sıcaklıktaki basınç dayanımı sonuçları .....	75
Tablo 3.44 : PBK +100 °C sıcaklıktaki eğilme dayanımı sonuçları .....	76
Tablo 3.45 : PBK +100 °C sıcaklıktaki basınç dayanımı sonuçları .....	77
Tablo 3.46 : PBK +150 °C sıcaklıktaki eğilme dayanımı sonuçları .....	78
Tablo 3.47 : PBK +150 °C sıcaklıktaki basınç dayanımı sonuçları .....	79
Tablo 3.48 : PBK +200 °C sıcaklıktaki eğilme dayanımı sonuçları .....	80
Tablo 3.49 : PBK +200 °C sıcaklıktaki basınç dayanımı sonuçları .....	81
Tablo 3.50 : Polimer beton yoğunluk hesabı.....	85
Tablo 3.51 : Polimer beton ağırlıkça aşınma sonuçları .....	85
Tablo 3.52 : Polimer beton hacimce aşınma sonuçları.....	86
Tablo 3.53 : Polimer beton ve normal beton aşınma değerlerinin karşılaştırılması .....	86

# POLİMER BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİYEN PARAMETRELERİN BELİRLENEREK ISIL VE AŞINMA PERFORMANSININ İNCELENMESİ

## ÖZET

Polimerler geçen yüzyılda keşfedilmiş ve hızlı bir şekilde geliştirilmiştir. Bu hızlı gelişmeler sayesinde polimerle ilgili yeni kullanım alanları ortaya çıkmıştır. Gelişmelerle birlikte artan ihtiyaçlara karşı geliştirilen çözümlerden biri polimer betondur. Polimer betonu, uygun bir granülometride agrega ve reçinenin karışımı ile oluşturulmaktadır. Korozyona dayanıklı, konvansiyonel betona göre daha yüksek çekme ve basınç dayanımına sahip kompozit bir malzemedir. Gelişen teknolojiyle birlikte, ileri mekanik özellikleri sayesinde birçok kullanım alanı bulmaktadır.

Bu çalışmada; agregadaki nem oranı, agregadaki yabancı maddenin etkisi, tane büyüklüğünün polimer beton dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmış ve uygun agrega türleri seçilerek farklı reçine oranlarındaki dayanım değerleri bulunmuştur. Belirlenen agrega tipi ve reçine oranı ile hazırlanan örnekler sıcaklık etkisi ve aşınma deneylerine tabi tutulmuştur. Ayrıca, cam lifi ve mermer tozu takviyelerinin polimer beton dayanımı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Polimer, polimer beton, reçine oranı, sıcaklık etkisi, cam lifi, mermer tozu, granülometri, aşınma

# **EXAMINATION OF THERMAL AND ABRASION PERFORMANCE BY DETERMINING PARAMETERS AFFECTING THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER CONCRETE**

## **SUMMARY**

Polymers were discovered in the last century and developed quickly. New areas of usage regarding polymers arose through these quick developments. One of the solutions that are developed against the increasing needs with the developments is also polymer concrete. Polymer concrete is formed by a mixture of aggregate and resin in a suitable granulometry. It is a composite material which is resistant to corrosion and has higher tensile and compressive strength than conventional concrete. Together with developing technology, it finds many areas of usage thanks to its advanced mechanic properties.

In this study; humidity rate in the aggregate, the effect of foreign material, the effect of particle size on polymer concrete strength were investigated and strength values in different resin ratios were found by selecting appropriate aggregate types. Specimens prepared by specified aggregate type and resin ratio were subjected to temperature effect and abrasion experiments. Furthermore, the effects of glass fiber and marble powder reinforcements on polymer concrete strength were investigated.

Keywords: Polymer, polymer concrete, resin ratio, temperature effect, glass fiber, marble powder, granulometr

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanlar, geçmişten günümüze kadar gelişen teknoloji, ihtiyaç ve isteklere paralel olarak oluşan problemlere karşı sürekli arayış içinde olmuşlardır. Bu problemleri azaltmak ve istekleri karşılayabilmek adına yeni malzemeler üzerinde çalışmış ve yeni tasarımlar geliştirmişlerdir.

Yapıların inşaa amacına bakılmaksızın, uzun ömürlü olması ve kullanım ömrü boyunca dayanımında bir kayıp oluşmaması, olabildiğince az onarım ihtiyacıyla dayanımını koruması beklenilir. Yapılarda kullanılacak malzemelerin ekonomik, estetik ve emniyetli olması gerekmektedir. Beton bu özellikleri karşılayabilen oldukça yaygın kullanım alanına sahip olan bir yapı malzemesidir. Çimento, agrega, su ve katı maddelerin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilen kompozit malzeme olan geleneksel beton, bazı durumlarda istenilen özellikleri sağlayamamakta ve özel betonların kullanımına gerek duyulmasına sebep olmaktadır.

Geleneksel betonların yetersiz kaldığı durumlarda kullanılan özel beton türlerinde biri de polimer betonlardır. Polimer betonlar, yüksek kimyasal etki altındaki yapılarda, düşük geçirim oranı sayesinde gerekli dayanımı sağlamakta ve endüstriyel döşemelerde, su kanallarında, köprülerde, yollarda, su altı yapılarında tercih edilebilmektedir.

Polimer betonu uygun graülometride bir agrega ile reçinenin karıştırılıp polimerize edilmesiyle oluşur. Karışıma katılan katalizör yardımı ile polimerizasyon süresi kısaltılıp ve daha hızlı olması sağlanmaktadır. Bazen kullanılan silan birleştirme ajanları polimer ile agraga arasındaki aderansı kuvvetlendirip, kompozitin dayanımını artırır. Polimer beton, geleneksel beton gibi çimento ve su içermez. Polimer betonu normal betona benzer şekilde kalıba vibrasyon uygulanarak yerleştirilmektedir.

Agregalar arasındaki boşluğun çok az olması için granülometrik bileşim iyi ayarlanmalıdır. Böylece bu boşlukları dolduracak polimer miktarda az olacaktır. Polimer betonun kimyasal yapısı, emici olmamasından dolayı su sızdırmaz ve yer altı inşaatı için de ideal bir hammadde karışımıdır. Çimento bağlayıcılı harçlar klor esaslı asidik çözeltilere, sülfat etkilerine dayanmazken, polimer esaslı harçlar gerek tamir harcı, gerekse kaplama olarak dayanıklılık gösterir. Polyester esaslı malzemeler yangın sıcaklığında çözünerek bağlayıcı ve taşıyıcı özelliklerini kaybedebilir. Bu yüzden kritik uygulamalarda bu durum göz önünde bulundurularak, yangına karşı kaplama ile korunmalıdır ve alevle direkt olarak asla temas etmemelidirler. Polimer beton suya çok dayanıklı bir malzemedir.

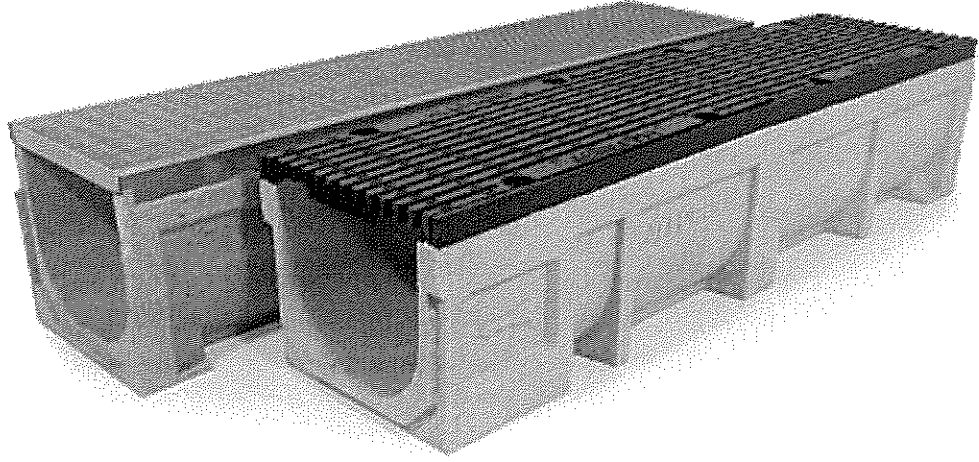
Yapışabilme özelliği, bu malzemelerin en önemli özelliğidir. Bu sebeple, polimer betonlar pratik kullanımda en çok tamir ve yapışma için kullanılmaktadır. Polimer betonların en önemli özelliklerinden biriside normal betondaki rötne çatlaklarının, polimer beton yapımında hiç su kullanılmaması nedeniyle görülmemesidir. Bu özelliğin sonucunda, polimer betonların, dona ve kimyasal etkilere dayanıklı malzemeler oldukları görülür. Bu nedenden dolayı bu malzemeler kimyasallara karşı dayanıklılık istenilen yapılarda rahatlıkla kullanılabilirler. Polimer betonların bir özelliği de taşıma gücüne göre ağırlıklarının az olmasıdır. Bu sayede ölü yükü az, kapasitesi fazla olan yapılar geliştirilebilir. Böylece malzemedan ve zamandan tasarruf edilebilir. Polimer betonların eğilme mukavemetleri normal betona göre çok yüksektir.

Polimer betonların bazı kullanım alanları şunlardır:

- Portland çimentolu betonlara katkı malzemesi olarak,
- Beton yüzeylere uygulanması (aşınma ve kaymaya karşı),
- Yapısal ve dekoratif konstrüksiyon panellerinde,
- Kanalizasyon borularında, yer altı yapılarında, drenaj kanallarında, vb.,
- Jeotermal uygulamalarda karbon ve çelik boruların astarlanmasında
- Yüzme havuzları, güverte ve deniz yapılar

- Barajlar, hendek, rezervuar ve iskeleler gibi hidrolik yapılarda (Rebeiz ve Fowler, 1991; Fowler, 2004).

Polimer betondan imal edilmiş su kanalı Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Polimer su kanalı.



## **BÖLÜM 2. POLİMER BETONLAR**

Polimer beton; artan ihtiyaç ve istekleri karşılamak amacıyla geliştirilen, kullanımı gün geçtikçe artan yeni nesil yapı malzemelerinden birisidir. Polimer beton kullanım alanına göre reçine, agrega istenilirse çeşitli katkı maddeleri ve minerallerden oluşmaktadır. Polimer betonun su geçirimsizliğinin fazla olması sebebiyle su kanallarında kullanılırken, mekanik dayanımının yüksek ve malzemenin hafif olması sebebiyle rögar kapaklarının kullanımında da tercih edilmektedir.

### **2.1. Polimer**

Makro moleküllerin varlığı ilk olarak 1920'li yıllarda Hermann Staudinger tarafından öne sürülmüş ve geçen 90 sene içinde polimerler günlük yaşamımızın hemen her safhasında kullanılır hale gelmiştir. Sahip oldukları üstün özellikleri nedeniyle polimerik malzemelerin kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır. Polimerlerin başlıca avantajları, hafif oluşları, korozyona karşı dayanıklı oluşları ve kolay işlenebilirlikleridir. Yapı malzemeleri olarak da polimerlerin çok büyük bir önemi vardır. Bugün dünyada üretilen polimerlerin yaklaşık %30'u her sene yapı endüstrisinde kullanılmaktadır (Akar, 1991).

Polimerler monomer adı verilen küçük moleküllerin ardı ardına dizilmesi ile oluşan uzun zincirli yapılardır. Tek bir polimer zincirinde binlerce ya da milyonlarca monomer bulunur. Polimer zincirini oluşturan monomerlerin özellikleri ve zincirlerin birbirleri ile olan etkileşimleri polimer malzeme özelliklerinde belirleyici olmaktadır. Genelde polimer denince ilk akla organik polimerler gelmesine rağmen inorganik polimerler de oldukça yaygındır. Polimer zincirleri doğrusal yani lineer olabildiği gibi dallanmış yapıda da olabilir, bu durumda ana zincirden yan dallar ayrılmaktadır. Yan dallar başka ana zincirlere bağlanıyorsa oluşan polimerlere çapraz bağlı polimerler

denir ki, günümüzde kullanılan polimerlerin yarıya yakını çapraz bağlı yapıdadır. Çapraz bağlı polimerler hiç bir solventte çözünmezler ancak sıvıları emerek şişerler ve bir jel oluştururlar (Akman,1987).

## 2.2. Polimerlerin Sınıflandırılması

Genelde polimerlerde kristal ve amorf bölgeler bir arada bulunmaktadır. Kristal bölgeler malzemeye sertlik ve kırılganlık, buna karşılık amorf bölgeler malzemeye tokluk verir. Dolayısıyla malzemenin kristalinite derecesi mekanik özelliklerinde çok önemlidir. Düzenli yapılar ya da lineer zincirler kristal oluşumunu kolaylaştırır. Moleküller arası çekim kuvvetleride kristaliniteyi arttırmaktadır. Polimerlerin termal özellikleri onların erime ve camsı geçiş sıcaklıkları ile tanımlanır. Polimer zincirler camsı geçiş sıcaklığı  $T_g$ 'nin altında donmuş bir yapıda  $T_g$ 'nin üzerinde ise kauçuksu durumdadır. Bu sıcaklıkları yan gruplar ya da zincirin sertliği belirlemektedir (Baysal,1981).

Polimerler; yapay polimerler ve doğal polimerler olarak iki gruba ayrılır (Akkovalı, 1993).

- Yapay Polimerler (plastikler)
- Doğal Polimerler (selüloz, doğal kauçuk vb.)

Plastiklerin (yapay polimerler) yapısı amorf haldedir. Bu yüzden, uzun ve karışık zincirlerin birbirleri ile uyum sağlayıp düzenli bir yapı oluşturmaları oldukça zordur. Bir lineer polimer yapısı pişmiş makarnayı andırır ve polimer zincirleri birbirlerine dolanmış halde bulunur. Amorf, ana yapı içerisinde bulunan küçük yapıli bölgeler, kristalitler olarak adlandırılır ve oluşan kristaller rastgele yönelirler.

Kristalleşme soğuma hızı ile ters, mekanik özellikler ile doğru orantılıdır. Kompozitlerde, matriks malzemesi olarak genellikle plastikler kullanılır. Plastikler de kendi içinde iki gruba ayrılırlar (Akman, 1990).

- Termoplastikler
- Termosetplastikler

### 2.2.1. Termoplastikler

Termoplastik molekülleri birbirlerine zayıf Van der Waals bağları ile bağlı oldukları için rijit bir yapıya sahip değildir. Bu plastikler ısı ile yapısal değişikliğe uğramadan şekil değiştirebilirler. Yüksek sıcaklıklarda yumuşayıp eriyik hale gelirler ve tekrar soğutulduklarında sertleşirler. Sıvı halde bulunduğu sıcaklıklarda viskozitesi yüksektir. Bu nedenle ara yüzey bağı termosetlere göre daha zayıftır. Düşük sıcaklıklarda bile kolay şekil verilmesi, malzemeye ekonomik değer katar (Pişkin, 2010).

Termoplastikler çeşitli sıcaklıkta ve hallerde bulunur. Bunlar:

- Katı Hal: Malzeme, cam gibi sert ve tokluk arz eden sert bir haldedir.
- Termoelastik Hal: Bu, malzemenin yüksek elastikiyete sahip olduğu durumdur.
- Termoplastik Hal: Bu durumda, malzeme akışkan bir sıvı halindedir. Bu haldeyken malzeme, balmumuna benzer, ısıtıldığında yumuşar, erir ve şekil verilebilir (Pişkin, 2010).

Termoplastikler, üretimlerindeki zorlukların yanı sıra yüksek maliyetlerinden dolayı kompozit malzemelerde matris olarak tercih edilmezler. Ayrıca, oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlar, bu da onların üretimde zaman kaybına yol açmasına sebep olur. Bazı termoplastikleri istenilen şekillere sokabilmek için çözücülere (solventlere) ihtiyaç duyulabilir. Termoplastikler, termosetlere kıyasla daha pahalı bir hammaddeye sahiptir. Tercih edilmemesinin diğer bir sebebi ise, termoplastik bağlayıcı malzemelerin, termoset reçinelerden daha gevrek olmasıdır (Pişkin,2010).

Fakat termoplastiklerin neme karşı dayanımları yüksektir. Ayrıca, yüksek süneklik özelliği sayesinde, ortalama elastik modülü, yüksek mukavemetli liflerin, kompozitin içinde tüm mukavemet potansiyellerini kullanmalarını sağlayabilen nadir

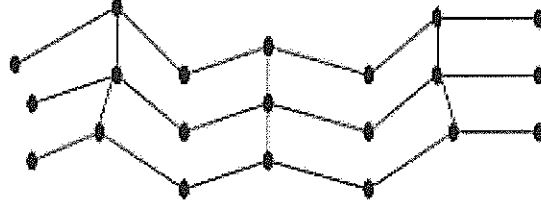
bağlayıcılarıdır. Termoplastik reçineler, malzemenin çekme ve eğilme dayanımını arttırması için kullanılırlar. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan termoplastikler, uçak sanayisinde de yüksek performanslı malzeme çözümlerinde de kullanılmaktadırlar. Çoğunlukla enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplama yöntemleri ile üretilen termoplastikler, GMT (Glass Mat Reinforced Thermoplastics / Preslenebilir Takviyeli Termoplastik) olarak da üretilmektedir. Bu yöntemle hazırlanan takviyeli termoplastikler, soğuk plakaların preslenebilmesi ve geri dönüşüme uygun olduğundan dolayı, özellikle otomotiv sektöründe tercih edilmektedir. Bunların dışında plastik çanta, plastik boru gibi çeşitli malzemeler de üretilmektedir (Pişkin, 2010). Termoplastik polimer zinciri yapısı Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Termoplastik polimer zinciri (Pişkin, 2010).

### 2.2.2. Termoset plastikler

Termosetler, ısı işlem yardımıyla üretilen ve geri dönüşümü olmayan plastiklerdir. Yani, bir kez ısı ile şekil verildikten sonra, yapısal değişikliğe uğrayan ve tekrar şekillendirilemeyen plastiklerdir. Ayrıca, erime özelliğinin olmaması termoplastikler gibi akıcılık kazanmasını önler. Buna karşın, yangında kömürleşerek doğal bir ısı yalıtım tabakası oluştururlar (Pişkin, 2010). Termoset plastik polimer zinciri yapısı Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Termoset plastik polimer zinciri (Pişkin, 2010).

Termosetler, polimerizasyonla iki kademede elde edilirler. İlk olarak, malzemenin ihtiva ettiği monomerler, reaktörde lineer zincirler oluşturmaya başlar. İkinci polimerizasyon işlemi ise kalıplama esnasında, sıcaklık ve basınç altında önceden reaksiyona girmeyen kısımlar sıvılaşarak molekül zincirlerini üç boyutlu olarak rijitleştirirler. Bu yüzden tekrar ısı ile yumuşatılamazlar. En çok tercih edilen termosetler;

- Epoksiler,
- Polyesterler,
- Fenoliklerdir.
- Silikon
- Polymide
- Bismaleimide (BMI)
- Amino Reçineler

Termoset ve Termoplastiklerin avantaj ve dezavantajları nın karşılaştırılması Tablo 2.1'de verilmektedir (Sönmez, 2016).

Tablo 2.1 : Termoset ve termoplastik matris malzemelerin avantaj ve dezavantajları (Sönmez, 2016).

Özellik	Termoset Matris	Termoplastik Matris
Formulasyon	Karışık	Daha Basit
Eriyik Akışkanlığı	Düşük	Daha Yüksek
Maliyet	Orta	Yüksek
Raf Ömrü	Oldukça Düşük	Yüksek
Proses Çevrimi	Oldukça Uzun	Oldukça Kısa
Ürün Boyutları	Çok Büyük Olabilir	Küçük - Orta
Çözücülere Karşı Dayanım	İyi	Zayıf - İyi
Hasar Toleransı	Mükemmel	İyi
Üretim Kolaylığı	Emek Yoğun	Daha Az Emek Yoğunluğu

### 2.3. Polimerlerin Özellikleri

- Polimer malzeme ısı ve elektrik yalıtkanıdır. Bunda iç bağların kovalent oluşu etkindir.
- Polimer malzemeler makaslamaya duyarlıdır, kayma dirençleri düşüktür. Çoğunda yüksek basınç ve çekme dayanımları elde edilebilmektedir.
- Kimyasal etkilere dayanıklılıkları yüksektir. Çoğunlukla asitlere, bazlara iyi dayanırlar. Buna karşılık organik solventlere dayanıklılıkları iyi değildir. Bu solventler, aseton, eter, xylene, cycleohexanol, glycol vb. maddelerdir. Özellikle kloroform plastiklerin çoğunluğu üzerinde etkin bir solventtir. Esasen bir polimeri tanımlamada muhtelif solventlerdeki davranış, belirli bir süreç içinde incelenir. Bu arada tanımlamada alev alma ve oluşan dumanın rengi, kokusu, alevin rengi, külün görünüşü de yararlı bilgiler verir. Piroliz de (bir deney tüpü içerisinde ve yüksek sıcaklıkta ısıtmak) bir tanımlama yöntemidir.
- Yüksek sıcaklıklar polimerler için daima tehlikelidir. Bazı türleri 300-400°C'a kadar dayanmakla beraber (polifluoretilen, teflon, melamin vb.) çoğunluk 80°C'yi aşılması halinde zarar görürler.
- Polimerlerin suya karşı dayanıklılıkları genellikle iyidir. Ancak bazıları, özellikle su buharına karşı duyarlı olurlar ve bozulabilirler.

## 2.4. Polimer Beton

Polimer beton, normal betona göre yüksek basınç ve çekme dayanımlarına sahip, korozyona karşı dayanımı yüksek yeni nesil kompozit bir malzemedir. Polimer betonlar, kullanım alanına göre uygun reçine (matris malzeme), agregası (faz malzeme) ve kimyasal katkı maddelerinden oluşmaktadır.

Polimer beton; sürekli polimer matrisi içinde filler ve agregadan oluşan dağılı faza sahip bir kompozittir. Kompozitler hidrate çimento fazından oluşmazlar, buna rağmen agregası veya filler Portland çimentosu gibi kullanılabilir. Polimer betonlar ilk defa Çekoslovak Bilimler Akademisinin'de 1960'lı yılların başında keşfedilmiştir. 1960 yılı ortalarında ise bu ürünü teknolojiye sürmek ve dünya çapında bir pazar oluşturmak insanların görüşüydü. O yıllarda teorik olarak birçok çalışma yapılmış fakat pratik ve deneysel çalışma yapılmamıştır. İlk olarak A.B.D'de kullanılmaya başlayan poliyester ve epoksi günümüze kadar gelişimine devam etmiştir. Bağlayıcı olarak poliyester-styrene, poliüretan, uran, epoksi ve metil metakrilat polimerleri kullanılmıştır. Polimer bağlayıcısını az kullanıp, agregalar arasındaki boşluğun aza indirebilmek için granülometrik bileşimi iyi ayarlanmalıdır (Dikeou ve Fowler, 1981).

Beton ile ilgili, pratik ve deneysel çalışmalara ilk olarak Blue Circle Endüstri firması ticari olarak başlamıştır (Young, 1981). Yapı malzemelerinin değerini belirlemede en önemli faktör malzemenin kullanımı ve fiyatıdır. Bu nedenle, beton yüksek mukavemeti, hava ve suya direnci, ucuz maliyetinden dolayı inşaat mühendisliğinde vazgeçilmez bir malzemedir. Çimento bağlayıcı malzemeler yavaş küre sahiptir ve onarımı çok zordur. Burada amaç betona alternatif bir malzeme sunmak değil özel uygulamalar ile kalitesini yükseltmektir.

Günümüzde pek çok plastik madde inşaat mühendisliği alanına girmiştir. Bunlardan bir kısmı detay malzemesidir. Yer döşeme malzemeleri, örtü malzemeleri, ısı izolasyon malzemeleri, boya ve badana katkı maddeleri, derz malzemeleri, yapıştırıcı ve tamir malzemeleri, mobilya kaplamaları, su iletim boruları (sert ve yumuşak PVC) gibi malzemeler. Plastik maddelerin inşaat mühendisliğindeki diğer uygulaması; doğrudan

taşıyıcı malzeme olarak yer alması veya taşıyıcı malzemelerin dayanıklılığın arttırmak üzere kullanılmasıdır. Bu polimerin beton katkı maddesi olarak taşıyıcı elemanların dayanımı ve dayanıklılıklarının artırılması amacına yöneliktir (Hollaway, 1993).

Kompozit malzeme olan polimer betonun çeşitli bağlayıcıları bulunmaktadır, bağlayıcılarına göre farklı kullanım alanları oluşmaktadır. Bu bağlayıcılar polyester reçine, fenolik reçine, vinilester reçine, epoksi reçine ve silikon reçine olmak üzere 5 çeşittir (Soykan ve Özel, 2012).

## **2.5. Polimer Beton Ürünlerinin İmalat Teknolojisi**

Polimer beton kütlesi hazırlanırken, verilen kompozisyonun uygun olması ve karışım sürecinde, üretilen harcın homojen olması önemlidir. Ayrıca bu homojenlik, üretim prosesinin sonuna kadar sürdürebilmelidir. Döküm makinesi kullanılması ile bu sağlanabilir. Polimer beton, üretilen parçaların boyutları, imalat teknolojisi gibi birçok değişkene bağlı olarak tipleri değişen döküm makineleri ile üretilmektedir. (Kaya, 1983).

### **2.5.1. Kalıplar**

Polimer beton normal betona göre daha hızlı priz aldığından dolayı kalıplar, harcın dolununun kolay yapılabilmesi için uygun geometride ve düzgün yüzeylere sahip olmalıdır. Ayrıca kalıp yüzeyi polimer beton harcının hızla akmasına ve kolay yerleşmesine olanak tanımalıdır. Polimer betonun daha iyi yerleşebilmesi vibratör uygulaması yapılmaktadır. Bu sebeple kalıplar vibratöre uygun ve sağlam bir şekilde yerleştirilmeli, gerekirse sabitlenmelidir. Böylece kalıplar vibratörün uyguladığı kuvvetten en az şekilde etkilenirken polimer beton vibratörün uygulanmasından en verimli şekilde yararlanmış olmaktadır.



### **2.5.2. Polimer betonun yoğunlaştırılması**

Polimer beton viskozitesinin yoğunluğuna bağlı olarak titreşim veya merkezkaç kuvveti ile yoğunlaştırılabilir. Genel olarak tercih edilen uygulama titreşimle yoğunlaştırmadır. Polimer betonun titreşimle yoğunlaştırılması sırasında uzun süreli titreşimlerden uzak durulmalıdır. Çünkü uzun süreli titreşimler reçinenin (bağlayıcının) homojen dağılımını bozmaktadır. Ayrıca uzun süreli titreşimler agreganın dibe çökmesine sebep olmaktadır. Bozulan homojen dağılım polimer beton dayanımını olumsuz etkilemektedir.

### **2.6. Polimer Beton Türleri**

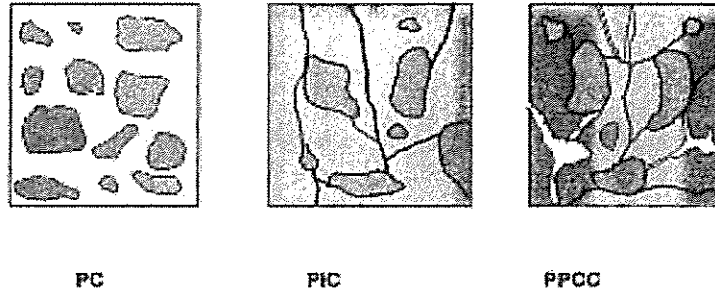
Yüksek basınç mukavemeti elde etmek için pek çok yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunlar çoğunlukla çimento hamuru fazındaki boşlukların minimuma indirme esasına dayanır. Günümüzdeki en büyük gelişme, su/çimento oranı düşük, buna karşılık işlenebilme özelliği yüksek, beton harcı yapabilmeye olanak sağlayan süper akışkanlaştırıcıların gelişmesidir. Bu katkılar ile su/çimento oranı %30'lar mertebesine çekilmiştir, böylece kılcal boşluklar ortadan kalkmaktadır. Çimento tanelerinden 25 defa daha ince silis dumanı kullanımı ile mukavemet de artmıştır. Silis dumanı kılcaldan ince boşlukları tıkayarak, agrega çimento bağlanmasını puzolonik etkileri ile iyileştirir, hamur fazının mükemmelleşmesini sağlamaktadır.

Beton sürekli çimento hamuru içinde agregalardan oluşan dağılı faza sahip bir kompozittir. Yüksek mukavemetli beton üretebilmek; çimento hamuru fazının mukavemetini arttırmak ve agregayla olan aderansını arttırmakla olur. Elastik sabitlerin hesabında yararlı olan kompozit malzeme modelleri, mekanik dayanımları tahmininde yararlı olmamaktadır. Ancak kompozitin mukavemeti, matriksin veya dağılım fazı mukavemetleri ile sınırlıdır. Normal ağırlıkta bir betonda, doğal kayaçlardan elde edilen agregaların mukavemetleri çimento matrisinin mukavemetinden yüksektir (Akman, 1990).

Beton-polimer kompozitleri, geleneksel harç ve betondaki suyla karıştırılmış çimento bağlayıcının bütünü veya bir kısmının polimerle yer değiştirmesiyle ve çimento hidrate bağlayıcının polimerle güçlendirilmesiyle elde edilen malzemelerdir. Polimerlerin beton teknolojisinde kullanımını üç grupta toplayabiliriz (Akman, 1990). Ancak her üç grupta polimer betonlarının alt grubudur.

- PCC veya PPCC (Polymer CementConcrete) olarak adlandırılan polimer- portland çimento betonları. (Polimerle geliştirilmiş harç)
- PIC(Polymer Impregnated Concrete) polimer emdirilmiş beton veya harçlar.
- PC (Polymer Concrete) sentetik reçine betonlar

Polimerlerin betonda kullanımını Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Polimerlerin betonda üç ayrı kullanımı (Pişkin, 2010).

PPCC'de agregalar çevresinde bir polimer filmi oluşmuştur, kılcal boşlukların bir bölümü de dolmuştur. PIC' de tüm kılcal boşluklarla birlikte jel boşluklarının bir kısmı polimerle dolmuştur. PC'de agregaların çeviren matris polimerdir, çimento yoktur (Ohama, 1995).

### 2.6.1. Polimer portland çimento betonları (PPCC)

Polimer Portland çimento betonlarında lateks veya emülsiyon dağılım şeklindeki polimer malzeme normal çimento harcı veya betonuna taze halinde karışım sırasında ilave edilir, betonun prizi sırasında polimerde polimerize olarak istenilen süneklikte ve

geçirimsizlikte beton elde edilmektedir. PPCC 'de beton malzemenin tokluğu,sünekliği ve betonun aderansı artmaktadır.

Özellikle Japonya'da polimerle geliştirilmiş harçlar, bitirme ve tamir işleri için yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Amerika'da polimerle geliştirilmiş beton köprü donatılarının kaplanmasında ve onarım işlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalara göre her yıl 1,2 milyon m<sup>2</sup> kadar köprü donatısı polimerle geliştirilmiş betonla kaplanıyor. PPCC ve harç üretiminde polimer miktarıçimento ağırlığının %5-20'si oranındadır (ACI Manual of Concrete Practice, 1993).

Ülkemizde yapılan gerek estetik gerekse teknik özellikleriyle dünyanın sayılı köprüleri arasında yer alan. 3. Boğaz Köprüsü 59 metrelik genişliği ile dünyanın en geniş, 1408 metrelik ana açıklığı ile üzerinde raylı sistem olan dünyanın en uzun asma köprüsü özelliği ile ilklerin köprüsü olan; ayrıca bir başka ilki ise 322 metreyi aşan yüksekliği ile dünyanın en yüksek kuleye sahip asma köprüsü olan Yavuz Selim Köprüsü'nde mastik asfalt uygulaması öncesi betonda kot problemi yaşanan bölümler için esnek polimer beton dizayn edilmiştir. Yavuz Selim Köprüsü Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : Yavuz Selim Köprüsü.

PPCC, betonarme yapıların karbonatlaşmaya, klor iyonu ve oksijen difüzyonuna maruz kalması sonucu oluşan hasarlara karşıda kullanılır. Ayrıca son zamanlarda, yüksek polimer/çimento oranı polimerle geliştirilmiş tutkal veya sulu çimento su yalıtımını sağlamak amacıyla kullanılır. PPCC betonları bütün kullanım durumlarında geleneksel beton ve harç malzemeleri ile karşılaştırılabilir. Yalnız kür şartları farklıdır. Geleneksel beton kür şartları uygulandıktan bir gün sonra 60'dan 80F (15'den 20°C) gibi bir kür uygulanması gerekir. Polimer yapısının ve Portland çimento matris mukavemetinin gelişmesi için zaman önemli bir faktördür. PPCC teknolojisinde birçok polimer yaygın olarak kullanılmaktadır (Pişkin, 2010).

### **2.6.2. Polimer emdirme betonları (PIC)**

PIC' de önceden dökülmüş ve sertleşmiş betonlara polimer emdirilmektedir. Betonun en ince kılcal boşluklarına kadar nüfuz eden polimer buralarda polimerize olmakta ve geçirimsiz, çok yüksek dayanımlı betonlar elde edilmektedir. Genellikle herhangi şekil, irilik, yönlenme ve kalitede olan Portland çimento betonuna monomer emdirilebilir. Monomer beton içindeki boşlukları doldurur. PIC'nin üretiminde başarılı olabilmek için yüksek oranda polimer emdirilmeli ve tam polimerizasyon sağlanmalıdır.

Monomer beton içine atmosferik basınç veya basma ile nüfuz eder. Beton boşluklarının %85'inin dolması gerekmektedir. Emdirme işleminden sonra, monomeri polimere dönüştürmek için polimer beton içine çekilir. Bu işleme polimerizasyon denir ve yüksek molekül ağırlığıyla kimyasal bağlar meydana getirerek uzun polimer zinciri oluşturur. Vakum, basınçla emdirme, termal katalizör, sualtında saklama, radyasyon, kurutma gibi değişik emdirme yöntemleri vardır. PIC konusunda yapılan deneyler neticesinde PIC'nin betonun mukavemetini arttırdığı kanıtlanmıştır.

PIC'lerin üretim proseslerinde önemli konularından biriside kullanılan polimerlerin düşük viskoziteli olmaları gerekir. Sertleşmiş betona monomerin penetrasyonu oranı ve derecesi yoğunluk ile betondaki boşluk miktarına bağlıdır (ACI Manual of Concrete Practice, 1993).

Çapraz bağlayıcıların PIC'de sıkça kullanılmasının sebebi mukavemeti sağlaması ve agrega ile bağ oluşturarak betonu uzun zaman rutubetten korumasıdır. PIC tekniğinde kısmen emdirme (yüzey emdirme betonu) veya tamamen emdirme şeklinde iki yöntem izlenir. Kısmen emdirme metodu geleneksel Portland çimento betonunu belli bir derinliğe kadar iyice ıslatarak emdirme metodudur. Böylece su geçirmezlik ve durabiliteyi sağlamak için bu derinlikte bir bölge oluşturulur. Tamamen emdirmede ise beton üzerindeki rutubet tamamen kaldırılır ve sonuç olarak beton içindeki boşluklar tamamen polimerize olur.

PIC'ler prefabrikasyon için de kullanılmasına karşın yerinde betona uygulanan yöntemler de vardır. Daha çok köprü tabliyelerinin onarım işlerinde kullanılmaktadır. Polimer emdirme betonlarının spesifik uygulamaları da vardır. Bazı polimeremdirilmiş uygulamalar şunlardır:

- Kimyasal depo tanklar ve ulaşım boruları,
- Gaz temin edici borular,
- Orta seviyeli radyoaktif malzemelerde konteynır,
- Restorasyon işlerinde,
- Okyanus mühendisliğinded Deniz yapılarında,
- Köprü tabliyelerinde,

PTC'nin yapı malzemesi olarak kullanılması şu nedenlerden dolayı engel teşkil etmektedir.

- Üretim teknolojileri karmaşıktır. Buna ek olarak harç ve betonun kurumasında ve polimerizasyonda büyük termal enerji tüketilir ve üretim fiyatları yüksektir.
- Performansları ve fiyatları arasında denge zayıftır.
- Kalite kontrolleri zor ve stüktürel uygulamalarda güvenilirlikleri zayıftır.

### 2.6.3. Polimer beton ve harçları (PC)

Polimer harç ve betonların başlıca özellikleri:

- ( -18) °C'dan 40 °C'a kadar çevre şartlarında hızlı kür,
- Yüksek çekme, eğilme ve basma mukavemetleri,
- Bir çok yüzeyle iyi yapışma,
- Donma ve erime çevresinde uzun süre dayanıklılık,
- Suya ve çözücülere karşı düşük geçirgenlik,
- İyi kimyasal direnç,
- Düşük rötre (ACI Manual of Concrete Practice, 1993).

Betonun uygulama ve kalitesi polimer cinsine, agrega tipine ve granülometrisine bağlıdır. Polimer harç ve betonu için ticari olarak mevcut bağlayıcılar çeşitli termoset reçineleri, katranla geliştirilmiş reçineler, reçineyle geliştirilmiş asfaltlar ve vinil monomerleridir. En çok kullanılan polimer bağlayıcılar epoksi reçineleri, doymamış polyester reçinesi, vinil ester ve metilmetakrilat monomeridir. Metil-metakrilat monomerinin kullanımı, yüksek yanabilirliği ve kötü kokusu nedeniyle sınırlandırılmıştır. Metil metakrilat bağlayıcı harç ve betonlar iyi işlenebilirliği ve düşük sıcaklıklarda kürlenebilmesinden dolayı ilgi çekici bir malzemedir.

Polimer betonlar için görünen önemli bir problem sıcaklıktır. Sıcaklığın yükselmesi basınç ve eğilme dirençlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu azalma epoksi betonlarında %15, polyesterlerde %56, akrilik polimerlerde ise %20 oranlarındadır. Yapılan araştırmalara göre, epoksi betonlarında sıcaklığın artması sonucu mukavemetinde artış gözlenmektedir, Polyester betonlarında ise ısı arttıkça mukavemet önemli ölçüde azalmaktadır. Buna sebep 75°C'de depolimerize olmalarıdır. Akrilik numunelerin mekanik mukavemeti çok değişmemektedir. Epoksi reçineleri polyester ve fenolik reçinelerinden daha düşük maliyete sahip olmalarına karşı fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı tercih sebebi olmuşlardır (Kaya, 1983).

Polimer betonlarında üç faz sistemi görülür;

- Dağılı faz (agregalar),
- Sürekli faz (polimer),
- Üretim işlemi sırasındaki bazı boşluklar hava gibi.

PC' lerde geleneksel betonlarda görülen rötre çatlakları görülmez. Bunun sebebi polimer betonu üretiminde bağlayıcı olarak su ve çimento kullanılmamasıdır. Dona ve kimyasallara karşı dayanıklıdır, taşıma güçlerine göre ağırlıkları oldukça düşüktür. PC'lerin tipik özellikleri şöyle sıralanabilir (Dikeo ve Fowler, 1990):

- Basınç mukavemeti 40-140 MPa
- Eğilme mukavemeti 8-35 MPa
- Elastisite modülü 700-35000 Mpa
- Isıl genleşme katsayısı 5-10\*10
- Su içeriği < %1 -6
- Dona dayanıklılık iyi
- Asitlere dayanıklılık çok iyi

Polimer betonların da su ve çimento yerine bağlayıcı olarak reçine ve işlenebilirlik sağlaması amacıyla kalsit, silis dumanı ve uçucu kül gibi mineral katkıları kullanılır. Polimer harç ve betonlarında bağlayıcı olarak polimer miktarı normalde ağırlığının %9-25'i kadardır. Genellikle kuvvetli karıştırıcılar ile üretilen polimer betonları benzer yöntemlerle kalıplara konup şekillendirilir.

Yapı sektöründe bu malzemeler şu iki sebepten dolayı fazla gelişmemiştir;

- Polimerler çok geniş malzeme grubundan oluşmaktadır. Sıcaklık, elastikiyet ve kimyasal özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Maliyetleri geleneksel betonun maliyetinin 5 ila 10 katıdır.
- Polimer betonları için bir beton karışım hesap yöntemi yoktur. Yalnızca özel araştırmalarda reçine ve agregalar için formüller kullanılır.

## 2.7. Polimer Betonun Yaygın Olarak Kullanım Alanları

### 2.7.1. Onarım

İlk olarak bilinen polimer kompozitler beton onarımı ve yol işlerinde kullanılmaktadır. Silis dumanı lateksle karıştırılarak agregayla birlikte kullanılabilir [14]. Polimer betonları aynı zamanda farklı reçinelerle de kullanılabilir. Epoksiler, metakrilatlar, furkan, polyester-stren ve üretilenler. Düşük viskoziteli metakrilat ve üretilen agregaların yapıda yerleşmeleri için bir avantajdır, Uygulamalarda çok ince çatlaklar polimer enjeksiyonu ile onarılırken, geniş ve derin çatlaklar da dolgu maddeleri karıştırılmış polimer harcı kullanılmaktadır. İnce ve iri agrega kullanılarak üretilen betonun ise rötresi azalmakta, yangına dayanıklılığı artmakta, elastiklik modülü ve basınç dayanımı yükselmektedir (Fowler, 1995).

Epoksi gibi çok viskoz reçinelerde önceden karışım yapılır. Epoksilerin hazırlanması üç farklı karışımdan meydana gelir; reçine, kür uygulayıcı ve agregadır. Epoksi reçine betonlarında agrega granülometrisine bağlı olarak: agrega/reçine oranı ağırlıkça 1:1' den 15:1' e kadar değişebilir. Birçok uygulamalarda üretimin sonunda fiziksel özellik kazandırmak amacıyla çapraz bağlanma ve plastikleştiriciler de katılır. Polimer betonların kürü genellikle ekzotermik reaksiyon kür şartlarına benzer şekildedir. P.C.'nin kullanma ömrü yani pot-life ve kür zamanı başlangıcı, konsantrasyon ve hızlandırıcıların miktarından etkilenir (ACI Manual of Concrete Practice, 1993). Polimer beton ile yapılan yol onarımı örneği Şekil 2.5'de gösterilmiştir.





Şekil 2.5 : Polimer beton ile yapılan yol onarımı (www.youtube.com).

### 2.7.2. Prekast polimer betonlar

Prekast polimer betonları hızlı kür, yüksek mukavemet ve ince kesitlerde düşük permeabilite gibi özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Prekast PC'lerin bazı uygulamaları şöyledir : dekoratif inşaat panelleri; borular, çatı kemerleri, drenaj kanalları, korozyona dirençli tuğlalar, astar, kiremitler; ufak su akışını kontrol eden ürünler, geçirimsiz, manyetik olmayan elektrik aletleri, hayvan beslenme barınakları için parçalar, elektrik yalıtkanları gibi.

Prekast polimer betonlarında yaygın olarak polyester/styren kullanılır. Epoksi reçineleri düşük rötre, yüksek mukavemete ve rijitliğe sahip olduğu için makine parçaları ve aletleri üretiminde kullanılır, Uygulamalarda korozyona ve aside direnç önemlidir, bu nedenle vinylester, furan ve sülfür betonları kullanılır. Polimer beton ile yapılan borular Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : Polimer beton borular (www.kayson-ir.com).

### 2.7.3. Yollar

Polimer betonlar yollarda ve hava alanlarında kullanılır. Düşük su ve klor geçirgenliğine sahiptir. Bu yüzden yolların bozulmasını ve donma çözünmeden oluşacak yarılmaları önler. Yol kaplamaları için bazı teknikler kullanılmaktadır, selflevelling sistemi, mala uygulamalı yollar, önceden karıştırma işlemi gibi. Polimer beton ve harçları köprü tabliyelerinde, fabrikalarda zemim kaplamalarında, stadyumlarda diğer suya ve aside dayanıklı yapılarda kullanılabilir. PC'ler kurduğu bağlar nedeniyle çekme ve ona yakın kayma mukavemetine sahiptir. Analitik çalışmalar ısının değişmesiyle yol yüzeyinin basınç ve kayma gerilmesinin değiştiğini göstermektedir. Polimer beton yol uygulaması örneği Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Polimer beton yol uygulaması (www.youtube.com).

## 2.8. Literatür

GÖKÇEGÖZ Y. (2015) [Polimer Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri] çalışmasında betona kimyasal ve mineral esaslı katkı malzemeleri katarak mekanik ve kimyasal özelliklerini arttırmayı amaçlamıştır. Bunun için Akrilik asit esteri ve modifiye polikarboksilat polimerik iki adet katkı ve iki farklı çimento (CEM IV/B(P) 32,5 R ve CEM I 42,5 R) kullanmıştır. Taze betonda birim hacim kütle ve yayılma deneyi, sertleşmiş betonda ise basınç dayanım deneyi yapılmıştır. Akrilik Asit Esterinin betonun işlenebilmesini ve basınç dayanımını arttırmadığı saptanmıştır. Modifiye Polikarboksilat Esaslı Polimerin ise betonun işlenebilmesini ve basınç dayanımını arttırdığı görülmüştür. CEM I 42,5 R çimentosu betonun işlenebilme ve basınç dayanımını arttırmıştır. Akrilik Asit Esteri katkılı betonda, katkı basınç dayanımını değişikliğe sebep olmadığı gözlemlenmiştir.

PİŞKİN A. (2010) [Polimer Beton Üretiminde Cam Tozu Kullanılabilirliğinin Araştırılması], çalışmasında polimer betonda üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılan kuvars agregası tozu yerine %10- %20- %30- %40- %47 oranında cam tozu

ilave ederek, üretilen betonun işlenebilirliği, basınç ve eğilme dayanımlarındaki değişimleri araştırmıştır. Yapılan deneylerde dört farklı oranda polimer reçinesine kuvars agregası katılarak üretilen numunelere çökme deneyi yapmış, kür uygulamış ve dayanımını alabilmesi için 20 gün beklemiştir. Numuneler arasından en ideal ve ekonomik olan karışım oranı seçildikten sonra kuvars agregası yerine beş farklı oranda cam tozu karıştırmıştır. Numuneler taze iken çökme, sertleştikten sonra eğilme ve basınç deneyleri yapmıştır. Polimer betonda kuvars tozu yerine %10 ve %30 değerlerinde cam tozu kullanıldığı takdirde eğilme dayanımları %78 seviyesinde artarken, oran %47 olduğunda polimer betonun granülmetrisinin ideal Fuller eğrisinden uzaklaşdığı için eğilme dayanımındaki artış %45 civarında olduğu gözlemlenmiştir. Polimer beton numunelerinde %30 cam tozu kullanıldığında basınç dayanımında %29 oranında artış olduğunu, cam tozu %47 oranında kullanıldığında ise basınç dayanımındaki artışın %15 oranında olduğunu tespit edilmiştir.

AKKAYA ÖZDEN Ç. (2010) [Polimer Betonların Donma- Çözülme Etkisine Dayanıklılığı], çalışmada polimer betonların donma-çözülme etkisine dayanıklılığını incelemiştir. Bu amaçla reçine/dolgu oranı farklı olan 3 seri polimer beton numuneler hazırlamıştır. Numuneleri donma sıcaklığı -10 °C, -20 °C, -30 °C , çözülme sıcaklığı +5 °C kabul ederek donma-çözülme deneylerine tabi tutmuştur. Yapılan deneyler sonucunda Reçine/Dolgu oranının artmasının polimer beton dayanımlarını ve donma-çözülme dayanıklılığını arttırdığını tespit edilmiştir.

BAYRAM Y. (2015) [Polimer Betonların Bazı Termodinamik Özelliklerinin Araştırılması], çalışmada iki farklı reçine türü (polyester ve vinilester) ile iki farklı faz malzemesini farklı oranlarda kullanarak ürettiği polimer betonların termomekanik özelliklerini araştırmıştır. Polyester reçineli betonda %30, %60 mineral ve %4.5, %9 lif kullanmıştır. Vinilester reçineli betonda %15, %30 mineral ve %4.5, %9 lif kullanmıştır. Ayrıca numuneler farklı sürelerde (1, 3, 5 saat) ve farklı sıcaklıklarda (-25, 25, 75, 175, 275 ve 375 °C) fırında bekletmiştir. Bu süre sonunda da numuneler üzerinde eğilme, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, ısı iletimi, birim hacim ağırlık deneyleri yapmıştır. Polimer betonun termomekanik özelliklerinde faz malzemesinin türü kadar matris/faz oranının, sıcaklığın ve sürenin etkili olduğu belirlemiştir.

TOPSAKAL A. (2013) [Polimer Betonların Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi], çalışmada polimer beton üretiminde faz malzemesi olarak kullanılan, mineral dolgu malzemesi ve/veya liflerin polimer beton özellikleri üzerindeki etkisinin araştırmıştır. Matris olarak iki farklı reçine türü (polyester ve viniliester), faz malzeme olarak ise mineral kökenli malzeme (standart CEN kumu) ve üç farklı lif türü (polipropilen, cam, karbon ve çelik) kullanılarak polimer betonlar üretmiştir. Araştırma deneyleri için faz malzeme kullanım oranlarını basınç mukavemeti, işlenebilirlik ve maliyet kriterleri dikkate alınarak ön deneyler sonucunda belirlemiş olduğu (polyester ve viniliester reçine için, mineral dolgu malzemesi kullanım oranı sırasıyla % 60 ve % 30 ve lif kullanım oranı sırasıyla % 4.4 ve % 9) numuneler ile karma fazlı (polyester reçine için % 30 mineral + % 2.2 lif, viniliester reçine için % 15 mineral + % 4.5 lif) numuneler üretmiştir. Üretilen polimer betonların; reaksiyon sıcaklığı, ultrases geçiş hızı, schmidt yüzey sertliği, eğilme ve basınç dayanımları, yüksek sıcaklık etkisi (-25, 25, 75, 175, 275, 375 °C'de), üç farklı kür ortamında (hava, % 20'lik Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve MgSO<sub>4</sub>) ve farklı kür süreleri için (28, 56 ve 90 günlük) durabilite (dayanıklılık) özelliklerini araştırmıştır. Polimer betonun mekanik ve fiziksel özelliklerinde faz malzemesinin türü kadar matris/faz malzemesi oranında etkili olduğu, durabilite özelliklerinde maruz kaldığı etki ve süreden daha fazla oranda reçine türünün ve kimyasal yapısının etkili olduğu sonuçlarına ulaşmıştır.

SOYKAN O. ve ÖZEL C.(2014) [Polimer Betonlarda Kür Süresinin Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklere Etkisi], çalışmalarında polimer betonlara kür süresinin etkisinin araştırmışlardır. Matris malzeme olarak ortoflatik esaslı genel amaçlı doymamış polyester reçine ile 7 farklı elek aralığından oluşan 3 farklı (mermer, andezit,vearduvaz) faz malzemenin üretilen polimer beton numuneleri üzerinde fiziko-mekanik analizler (minerallerin özgül ağırlıkları, basınç dayanımı, eğilme dayanımı) yapmışlardır. Yapılan bu deneysel çalışmalardan elde edilen deneysel sonuçlara göre kür süresine bağlı olarak polimer beton özelliklerinin değişimini incelemişlerdir. Yapılan çalışmada faz malzemenin özelliklerine göre dayanımındaki değişim tespit edilmiştir.Bu değişim araştırmada kullanılan minerallerle sınırlı olarak basınç dayanımında en çok %35, eğilme dayanımında %24 olarak tespit edilmiştir.

SOYKAN O. Ve ÖZEL C. (2012) [Mermer Tozu Tane Boyutunun Polimer Beton Özelliklerine Etkisi] , çalışmalarında polimer beton içerisinde 7 farklı elek aralığında (0.075-0.150, 0.150-0.180, 0.180-0.425, 0.425-0.600, 0.600-1.180,1.180-2.360, 2.360-4.00) mermer atığının agrega olarak kullanımını araştırmışlardır. Her seri için ayı standardı kullanarak 7 farklı polimer beton serisi üretmişlerdir.Üretilen numuneler üzerinde fiziko-mekanik anaalizler yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar incelenerek en yüksek fiziksel ve mekanik özelliklerin 0.075-0.150 mm aralığında tane boyutundaki merer tozunun faz malzeme olarak kullanıldığı numunelerde elde etmişlerdir.

TOPSAKAL A. ve ÖZEL C. (2015) [Süreksiz Fazlı Lifli Polimer Betonların Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi] çalışmalarında lif dolgu malzemesi oranının, polimer betonun özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Polimer beton üretiminde faz malzeme olarak polipropilen, cam, karbon ve çelik lif çeşitleri kullanmışlardır. Polyester reçine ve beş farklı oranda (% 3-6-9-12 oranlarında) faz malzemesi olarak kullanılarak polimer beton numuneleri üretmişlerdir. Üretilen numuneler üzerinde reaksiyon sıcaklığı, ultrases geçiş hızı, schmidt çekici ile yüzey sertliği,eğilme ve basınç deneyleri uygulamışlardır. Yapılan deneyler sonucunda eğilme mukavemetlerinin artırılması ve reaksiyon sıcaklıklarından oluşan çatlakların önlenmesi için liflerin polimer betonda kullanılmasını önermişlerdir. Polimer betonda genel olarak lif ve reçine türüne göre kullanım oranı değişiklik gösterse de en fazla %6 olması gerektiği sonucuna varmışlardır.

GORNİNSKİ (2004) [Polimer Beton Bileşiklerinin Esneklik Modülünün İncelenmesi ve Polimer Beton ile Portland Çimento ve Beton Araştırmalarının Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi], çalışmasında iki tür polyester kullanarak polimer beton üretilmesi araştırılmıştır. Polyester oranını %12 ve %13 olarak kullanmıştır. Polyestere dolgu malzemesi olarak %8, %12, %16, %20 uçucu kül ilave etmişlerdir. Üretilen numuneler üzerinde elastisite modülü deneyleri yapılmıştır. Yaptıkları deneyler sonucunda, bu çalışmada kullanılan tüm kompozisyonların elastikiyet değerlerinde yükselmeler görülmüştür. Yani verilerin istatiksels analizi ile, reçine türü ve uçucu kül birleşiminin tek başına ve kombinasyon halinde elastisite modülü üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir.

CZANECKÍ (2007) [Beton-Polimer Kompozitler: Geleceği Şekllendiren Eğilimler], çalışmasında polimer kompozitlerin beton yüzeylere yapışma özelliğini incelemiştir. Kaplanan beton yüzeylerde ultrasonik dalga geçişi üzerine deneyler yapmışlardır. Deneyler sonucunda polimer betonun bileşimi ve kalınlığının etkili olduğu tespit edilmiştir.

ROSSIGNOLO ve AGNESINI (2004) [Brezilya Hafif Agregası ile Prekast Yapılar İçin Yüksek Performanslı İwac Özellikleri. Çimento ve Beton Kompozitleri], çalışmalarında stiren bütadien kauçuk (SBR) atık malzemesi ile modifiye edilen hafif betonların agresif ortamlara dayanıklılığını araştırmışlardır. Çalışmanın sonunda, polimerli betonların, polimerle modifiye edilmemiş hafif betonlardan daha dayanıklı olduğunu söylemişlerdir. SBR'nin, karışımlarda kullanılan su miktarını önemli miktarda azalttığı, korozyon direnci ve asitli ortamlara direnci iyileştirdiği ve su emmeyi azalttığı ulaşımlardır.

## BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 3.1. Malzeme ve Metot

#### 3.1.1. Reçine

Deneyleerde kullanılmak üzere Dewester 196 ortoftalik esaslı, genel amaçlı doymamış polyester reçinesi seçilmiştir. Seçilen reçinenin özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Polyester reçineleri kendi içinde kimyasal yapılarına göre doymuş ve doymamış olarak sınıflandırılır. Doymamış polyesterler yapılarında karbon-karbon çifte bağ (C=C) içerdiklerinden dolayı, sertleştiklerinde bir ağ yapısı oluşturarak tekrar işlenmesi mümkün olmayan sert ve sağlam bir malzemeye dönüşürler. Piyasadaki polyesterlerin büyük çoğunluğu ortoftaliktir. Ortoftalik polyesterler ortalama özelliklere sahip, fiyat/performans oranının en uygun olduğu polyesterlerdir. Çok özel durumlar gerektirmeyen her türlü uygulamada kullanılabilirler (Hollaway, 1993).

Yüksek fiziksel dayanım özellikleri yanında, kullanım amacı doğrultusunda kimyasal maddelere karşı yeterli dirence sahiptir. Otobüs, kamyon, otomobil kaportaları üretiminde, bot, yat, tekne, demiryolu vagonları, oto karavanları, su ve çeşitli kimyasal maddelere ait depolama tanklarının yapımında kullanılır.

Firmadan temin edilen polyester reçinesine ait özellikler Tablo 3.1’de verilmektedir.



Tablo 3.1 : Polyester reçinesine ait özellikler.

Dewester 196	Ortoftalik Esaslı Doymamış Polyester Reçinesi
Viskozite	4,5 – 5,5 poise (25°C) (Yaz) 3,5 – 4,5 poise (25°C) (Kış)
Uçucu Olmayan Madde Miktarı	% 60 – 64 (Ağırlıkca)
Jel Süresi	10 – 12 dakika (25°C) (Yaz) 8 – 10 dakika (25°C) (Kış)
Asit Değeri	25 – 31 mgr KOH/gr
Sertlik	80 – 85 Barcol (Model GYZJ 935)
Su Absorbsiyonu	% 0,15 (BS 2782)
Yük Altında Bükülme Sıcaklığı	72°C
Uzamada Kopma	% 2,3 (20°C) (BS 2782)
Çekme Dayanımı	5,5 kgf/mm <sup>2</sup> (BS 2782)
Lineer Çekme	2 – 2,4 (ASTM 2566 - 69)

Yapılan deneylerde polimer betonun mekanik özelliklerini incelemek amacıyla hazırlanan numunelere reçinenin ağırlık olarak %7,5 oranında priz hızlandırıcı kullanılmıştır.

Firmadan temin edilen polyester reçinesine kullanılan priz hızlandırıcıya ait özellikler özellikler Tablo 3.2’de verilmektedir.

Tablo 3.2 : Polyester reçinesine kullanılan priz hızlandırıcıya ait özellikler.

Mekp	Priz Hızlandırıcı
Yoğunluk 20 °C’de	1,17 gr/ cm <sup>3</sup>
Viskozite 20 °C’de	25 MPa.s
Görünüm	Renksiz Sıvı
Çözücü	DMP
Sadt Sıcaklığı	≈60 °C
Aktif Oksijen İçeriği	%9,8 - %10
Peroksit İçeriği	%34 - %36

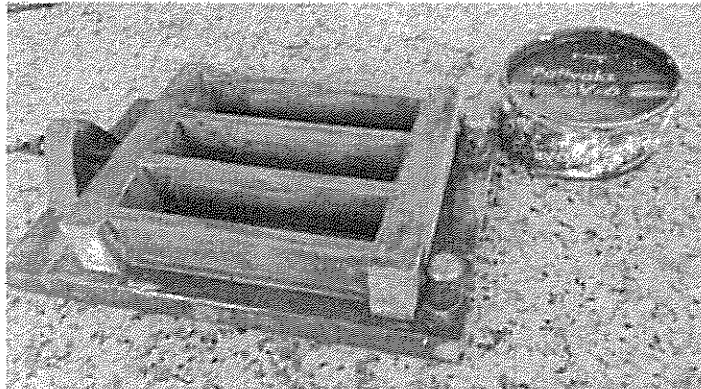
### 3.1.2. Kalıp ayırıcı vaks

Polimer betonların priz aldıktan sonra kalıplardan kolayca ayrılabilmesi için Polivaks SV-6 kodlu vaksı kullanılmıştır. Polivaks SV-6 yüksek ayırma ve parlak yüzey performansına sahiptir. Numune dökülecek olan kalıp içerisindeki her alana dairesel hareketlerde ince bir tabaka halinde sürülür. Kalıp ayırıcı polivaks SV-6 Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Kalıp ayırıcı polivaks SV-6.

Deneye tabi tutulan bütün polimer beton numuneleri aynı karışım standardına göre hazırlanmış, kalıp ayırıcı (polivaks) sürülmüş 40x40x160 mm ebatlarındaki çelik kalıplara dökülmüştür. Numunelerdeki hava boşluklarını azaltmak ve daha verimli sonuçlar elde edebilmek için masa tipi vibratör cihazı yardımı ile sarsılmıştır. Deneyleerde kullanılan kalıplar ve kalıp ayırıcı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



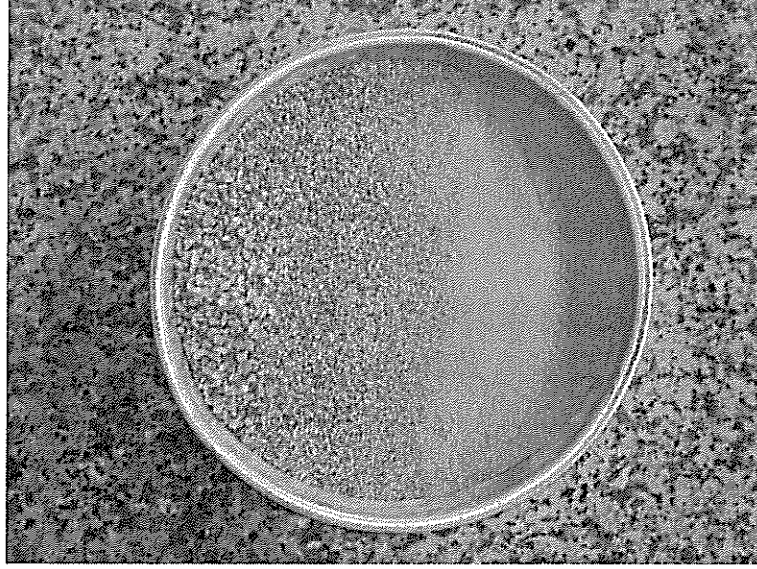
Şekil 3.2 : Prizmatik çelik kalıplar ve kalıp ayırıcı.

### 3.1.3. Agregas

Yapılan birinci grup ve ikinci grup deneylerde agregas olarak doğal kum ( $D_{max}=4$  mm) ve kırmataş I. mıcır kullanılmıştır. Agregalara elek analizi yapılarak granülometrinin standartlara uygunluğu sağlanmıştır.  $D_{max}=4$  mm olan doğal kumun önceden hazırlanmış olan bir granülometri eğrisi bulunmadığından dolayı Fuller eğrisi oluşturularak standartları belirlenmiştir. Doğal kum ve kırmataş I. mıcır deney numunelerinde ayrı ayrı kullanılarak eğilme ve basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Ayrıca agregaların etüv kurusu, nemli ve ıslak olmaları göz önünde bulundurularak da eğilme ve basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Doğal kum içerisindeki organik madde, kil vb. Maddelerin etkisinin araştırılması için agregas numuneleri yıkanarak deneylere tabi tutulmuştur. Agregaların gerekli granülometrelerine bakılarak standartlara uygunluğu sağlanmıştır. Granülometri Fuller Eğrisine göre hesaplanarak çizilmiştir. Fuller eğrisi bağıntı 3.1 kullanılarak çizilir. Yapılan elek analizi sonuçları Tablo 3.3'de, elek analizi yapılmış kum Şekil 3.3'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3 : Elek analizi.

Elek	Elek Üstünde	Kümülatif	Her Elekteki	Yığılmış Ağırlık	
	Kalan (gr)			Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)
4 mm	0	0	0	0	100
2 mm	506,59	506,59	25,33	25,33	74,67
1 mm	575,83	1082,42	28,79	54,12	45,88
0,5 mm	393,86	1476,28	19,69	73,81	26,19
0,25 mm	234,70	1710,98	11,73	85,54	14,46
0,125 mm	203,99	1914,97	10,20	95,74	4,26
0,063 mm	62,35	1977,32	3,12	98,86	1,14
Tepsi	22,68	1	1,14	100	0
Toplam	2000				



Şekil 3.3 : Elek analizi yapılmış 4 mm doğal kum.

Fuller Eğrisi;

$$P = 100x \left( \frac{d}{D} \right)^n \quad (3.1)$$

P= Her elekten % geçen

d= Elek göz açıklığı

D= En büyük agrega boyutu

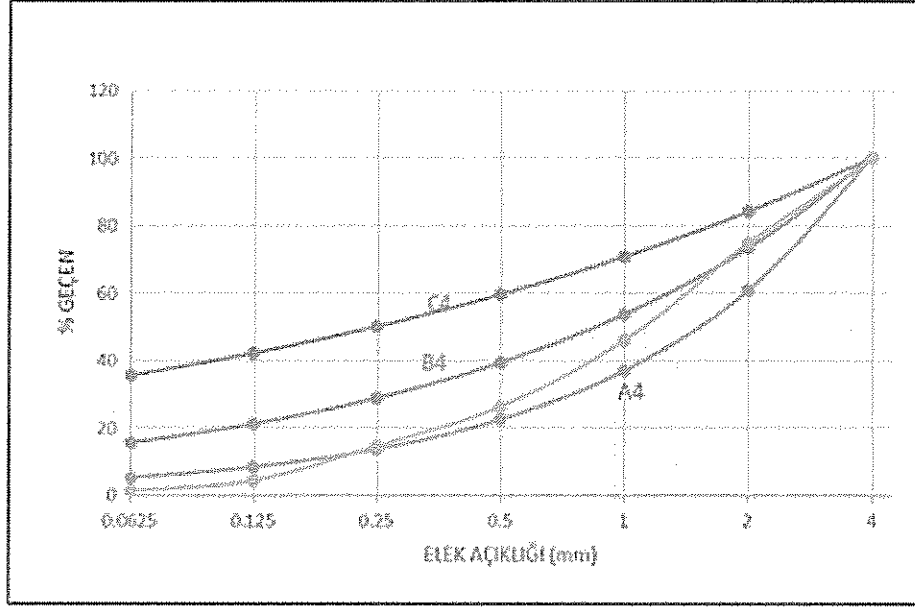
n= İstenen incelik ve kalınlığa göre ayarlanabilen katsayı

$$D=4\text{mm} \quad n(A)=0,72 \quad n(B)=0,45 \quad n(C)=0,25$$

Tablo 3.4 : Fuller eğrisi hesabı.

Eğrilerin % geçenleri	Elek göz açıklıkları (mm)						
	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4
A Eğrisi	5.04	8.25	13.58	22.38	36.86	60.71	100.00
B Eğrisi	15.44	21.02	28.72	39.23	53.59	73.20	100.00
C Eğrisi	35.43	42.04	50.00	59.46	70.71	84.09	100.00
Elek Analizi	1.14	4.26	14.46	26.19	45.88	74.67	100.00

$D_{max}=4\text{mm}$  agrega için yapılan fuller eğrisi Şekil 3.4.'de verilmiştir.

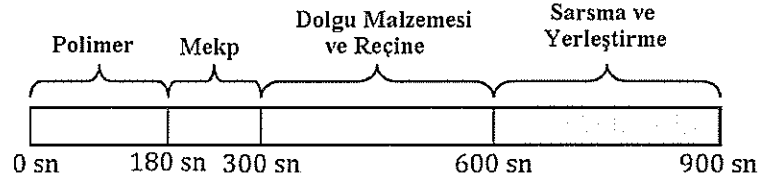


Şekil 3.4 : 4 mm doğal kum Fuller eğrisi.

Grafik üzerinde A4, B4 ve C4 olmak üzere üç adet standart eğrisi bulunmaktadır. A eğrisi kalınlık sınırını, B eğrisi ideal granülometriyi, C eğrisi ise incelik sınırını belirtmektedir. A ve B çizgileri arasında kalan bölge ideal kullanım alanını göstermektedir. B ve C çizgileri arasındaki bölgede kalan malzemenin ince kalmasına rağmen kullanılabilmesine izin verilmektedir.

#### 3.1.4. Karışım metodu

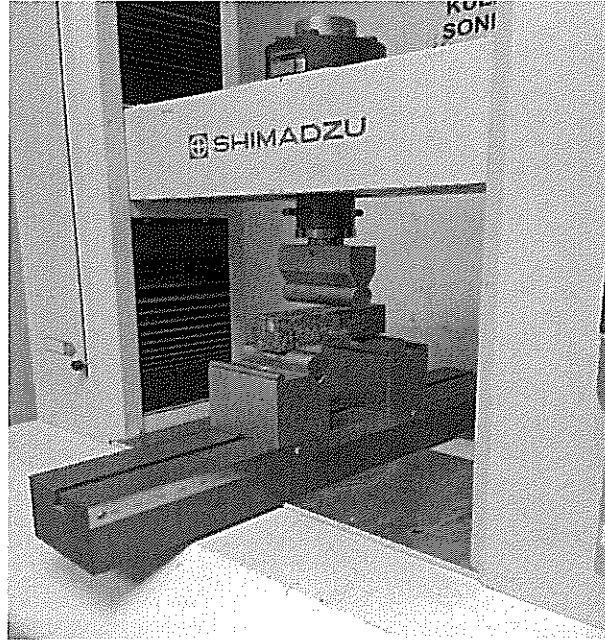
Karışım metodu, her seri için standart olarak uygulanmıştır. 180 sn polimer reçine malzeme karışımı yapılmaya başlanmış olup, daha sonra sırasıyla, karışıma 120 sn içerisinde Mekp ilave edildikten sonra, 300 sn dolgu malzemesi ilave edilerek karışıma devam edilmiştir. Karışım toplam 600 sn'de tamamladıktan sonra, polimer beton serileri 300 sn boyunca sarsma tablasında kalıba yerleşmesi için sarsılarak, numune üretimi ve kalıplanması 900 sn'de tamamlanmıştır. Karışım metodu zaman çizelgesi Şekil 3.5'de verilmektedir.



Şekil 3.5 : Karışım metodu zaman çizelgesi.

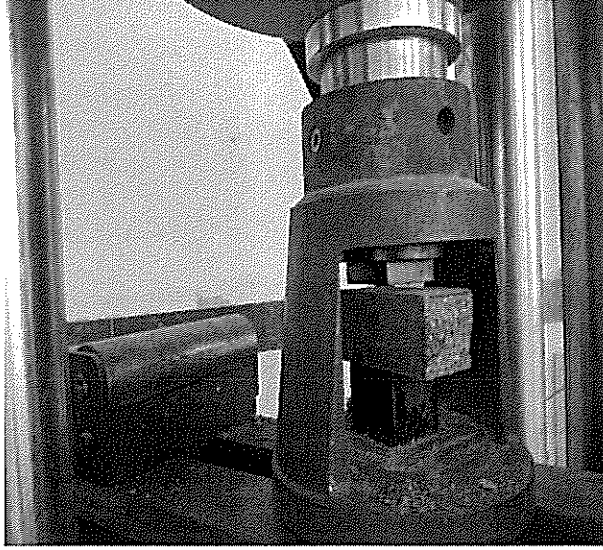
### 3.1.5. Kullanılan makine ve ekipmanlar

Deneylerde kullanılan numuneler 40x40x160 mm'lik prizma kalıplara dökülerek hazırlanmıştır. Priz alan numunelere 3 noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Bunun için Shimadzu markalı 50 kN kapasiteli, trapezium yazılım destekli makine kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin mesnet aralığı 120 mm seçilerek, ortadan tekil yükleme yapılmıştır. Kullanılan eğilme test cihazı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



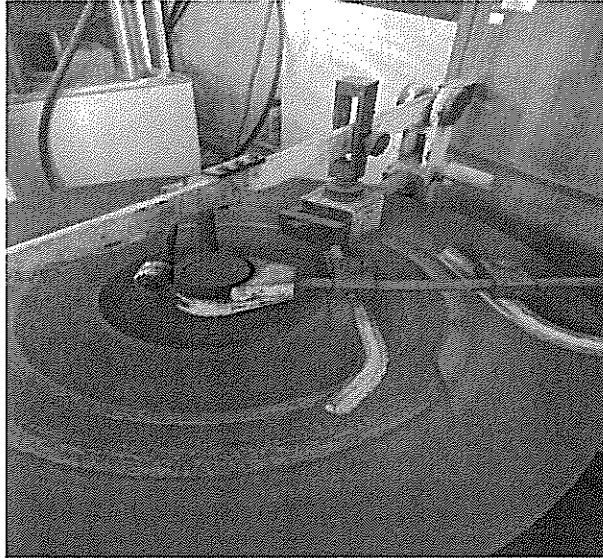
Şekil 3.6 : Eğilme test cihazı.

Polimer betonların basınç dayanımı, eğilme deneyi sonunda ikiye ayrılan numunelere uygulanan basınç deneyi sonunda bulunmuştur. Şekil 3.7'de basınç deneyleri için kurulan düzenek gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Basınç deneyi düzeneği.

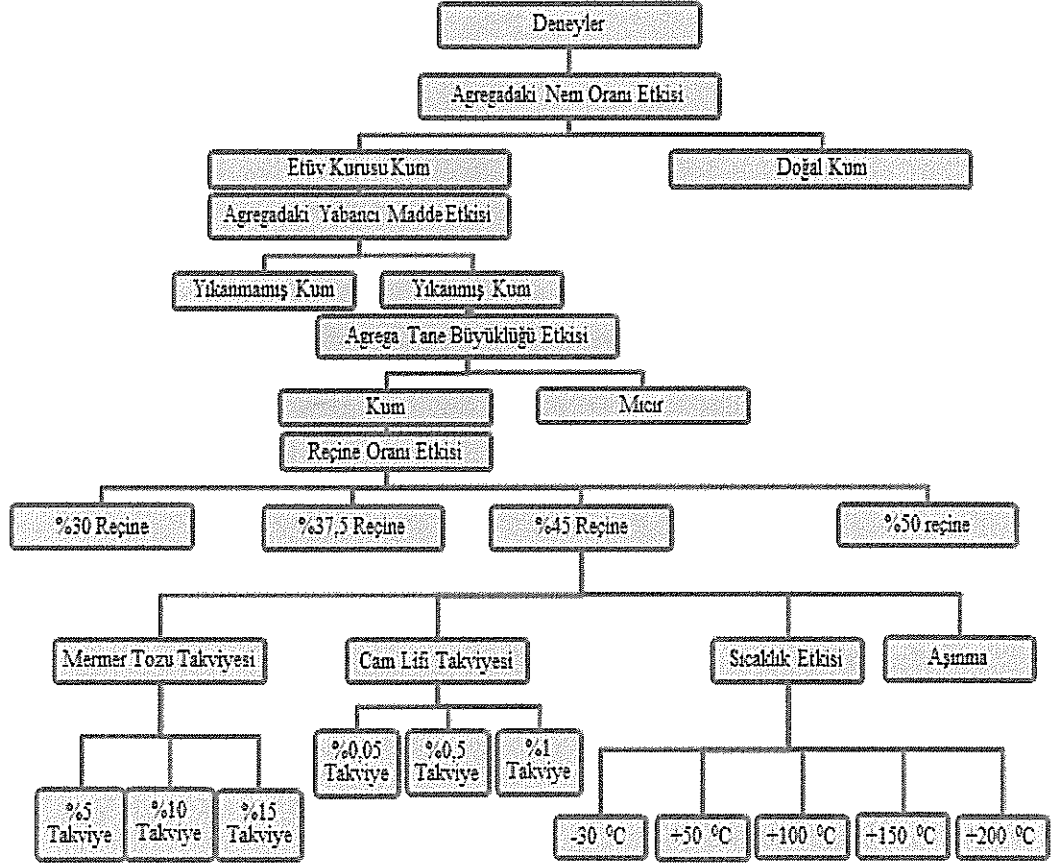
Numunelerin aşınmasını belirleyebilmek için Böhme test cihazı kullanılmıştır. Cihaz, yük, yükleme çubuğu vasıtasıyla numunenin merkezine dik olarak iletilebilecek biçimde konumlandırılmıştır. Manivelanın kendi ağırlığı karşı yük ve yükleme ağırlığının konacağı kefe ile dengelendirilmiştir. Testi yapmadan önce numunenin özgül ağırlığı ve kalınlığı saptanmıştır. Testin sonunda ortalama hacim ve ağırlık hesaplanarak aşınma sonuçları bulunmuştur. Aşınma için kullanılan düzenek Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Aşınma düzeneği ve aşınma böhme cihazı.

### 3.2. Deneyler

Yapılan deneylerin matrisi Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9 : Deney matrisi.

Yapılan çalışmalarda ilk olarak yalın polimerin dayanım değerleri bulunmuştur. Elde edilen değerler baz değer kabul edilerek agregadaki nem oranının, agregadaki zararlı maddelerin ve tane büyüklüğünün polimer beton dayanımına etkisi ölçülerek çalışılacak agregaya tipi seçilmiştir.

Agrega tipi belirlendikten sonra polimer beton için optimum reçine oranının tespitine çalışılmıştır.



Belirlenen polimer beton için cam lifi ve mermer tozu takviyesi yapılarak basınç dayanımlarına etkisi incelenmiştir.

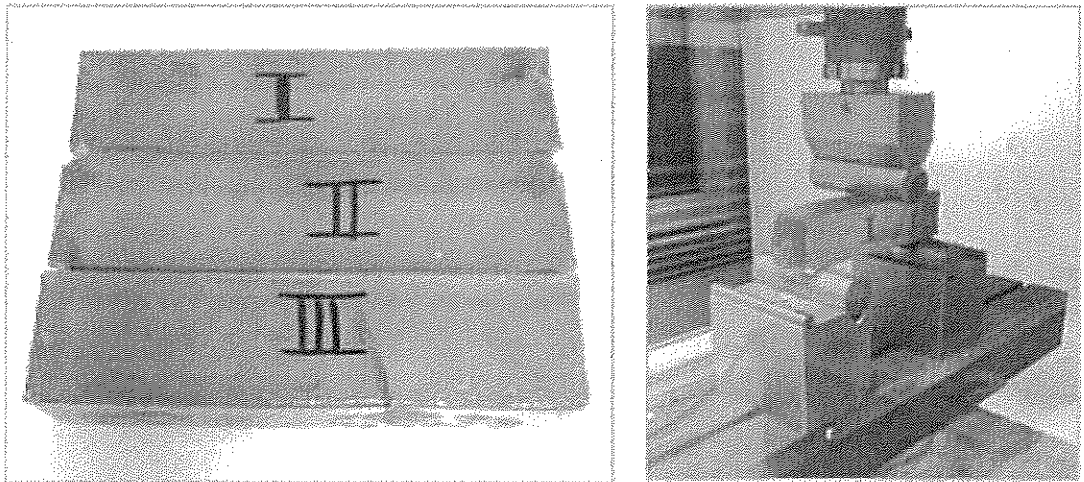
Karar verilen en uygun polimer beton tipi scaklık ve aşınma deneylerine tabi tutulmuştur.

### 3.2.1. Polimer reçinesi deneyi

Yapılan çalışmada ilk olarak referans olarak kabul edilecek dayanım sonuçlarının tespiti için yalın polimer numuneleri hazırlanmıştır. Polimer reçinesi karışım oranları (hacimce %) Tablo 3.5'te verilmiştir. Hazırlanan numuneler 3 noktalı eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Hazırlanan numuneler ve eğilme deneyi düzeneği Şekil 3.10'da görülmektedir.

Tablo 3.5 : Polimer reçinesi karışım oranı.

Karışım Kodu	Reçine Miktarı	Agreg a Miktarı	Mekp Miktarı
PR	100	0	Reçinenin 0,0075'i



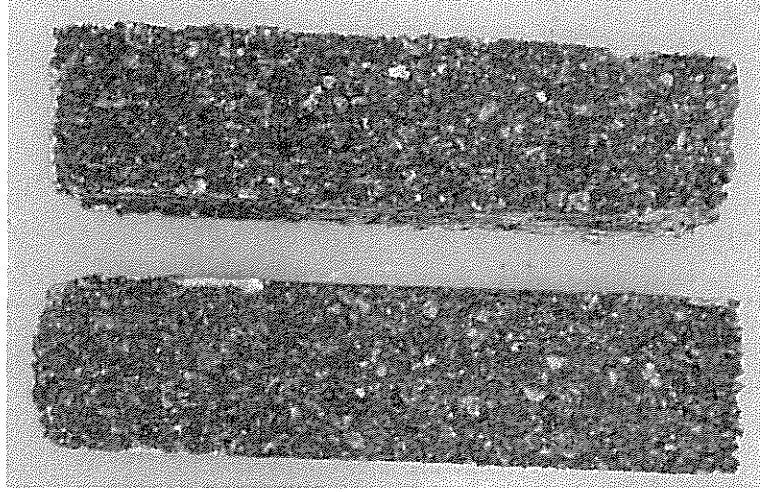
Şekil 3.10 : Priz almış polimer numuneleri ve 3 noktalı eğilme deneyi.

### 3.2.2. Agregada nem oranının etkisi

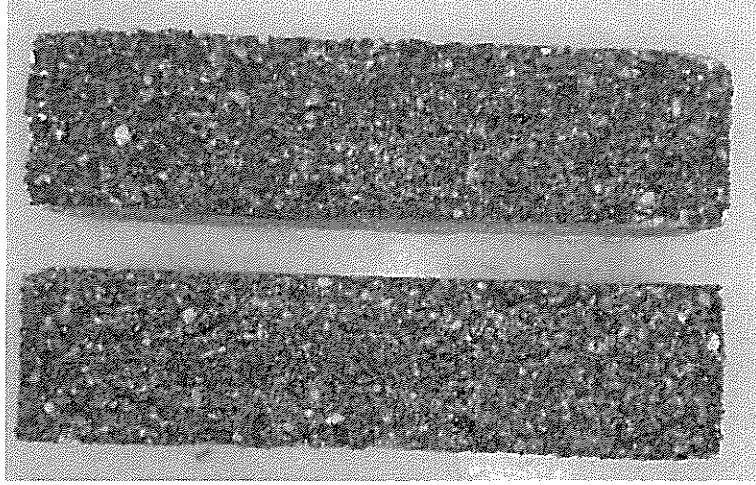
Agregadaki nem oranının polimer betonun dayanımına etkisini incelemek için yıkanmamış etiv kuru kum (EKK) ve yıkanmamış doğal kum (DK) kullanılarak polimer beton numuneleri hazırlanmıştır. Polimer beton numuneleri kalıplara Tablo 3.6'da verilen karışım oranlarında ve Şekil 3.5'de verilen karışım metodunda dökülmüştür. Hazırlanan numuneler Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de gösterilmiştir.

Tablo 3.6 : EKK ve DK karışım oranları ( hacimce %).

Karışım Kodu	Reçine Miktarı	Agrega Miktarı	Mekp Miktarı
EKK	37,5	62,5	Reçinenin 0,004'ü
DK	37,5	62,5	Reçinenin 0,004'ü



Şekil 3.11. Yıkanmamış etiv kuru kum numuneleri.



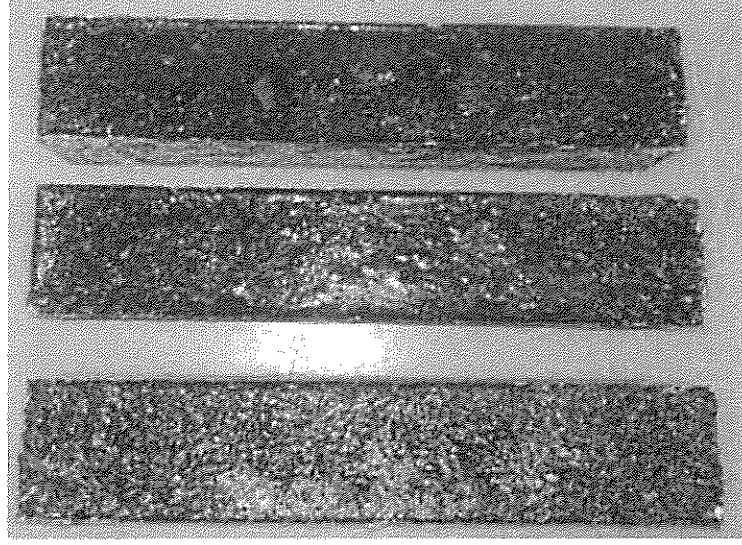
Şekil 3.12 : Yıkanmamış doğal kum numuneleri.

### 3.2.3. Agregadaki yabancı maddelerin etkisi

Agregadaki zararlı maddelerin polimer betonun dayanımına etkisini incelemek için yıkanmış etüv kuru kum (YEKK) ve yıkanmamış etüv kuru kum (EKK) kullanılarak polimer beton numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan beton numuneleri Tablo 3.7’de verilen karışım oranlarında ve Şekil 3.5’te verilen karışım metodunda dökülmüştür. Numuneler Şekil 3.13’te gösterilmiştir.

Tablo 3.7 : YEKK ve EKK karışım oranları ( hacimce % ).

Karışım Kodu	Reçine Miktarı	Agrega Miktarı	Mekp Miktarı
YEKK	37,5	62,5	Reçinenin 0,004’ü
EKK	37,5	62,5	Reçinenin 0,004’ü



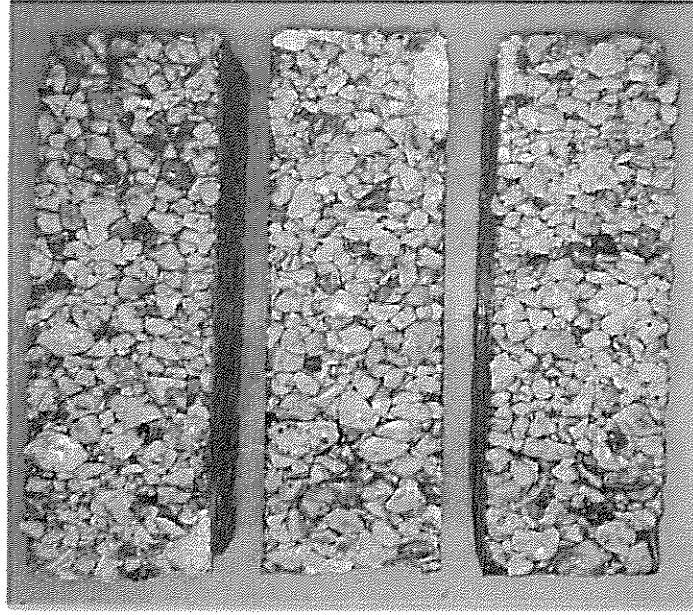
Şekil 3.13 : Yıkanmış etüv kurusu kum numuneleri.

#### 3.2.4. Agrega tane büyüklüğünün etkisi

Agrega tane büyüklüğünün polimer beton dayanımına etkisini incelemek için yıkanmış etüv kurusu kum (YEKK) ve yıkanmış etüv kurusu mıcır (YEKM) kullanılarak polimer beton numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan beton numuneleri Tablo 3.8’de verilen karışım oranlarında ve Şekil 3.5’te verilen karışım metodunda dökülmüştür. Numuneler Şekil 3.14’te gösterilmiştir.

Tablo 3.8 : YEKK ve YEKM karışım oranları ( hacimce % ).

Karışım Kodu	Reçine Miktarı	Agrega Miktarı	Mekp Miktarı
YEKK	37,5	62,5	Reçinenin 0,004’ü
YEKM	37,5	62,5	Reçinenin 0,004’ü



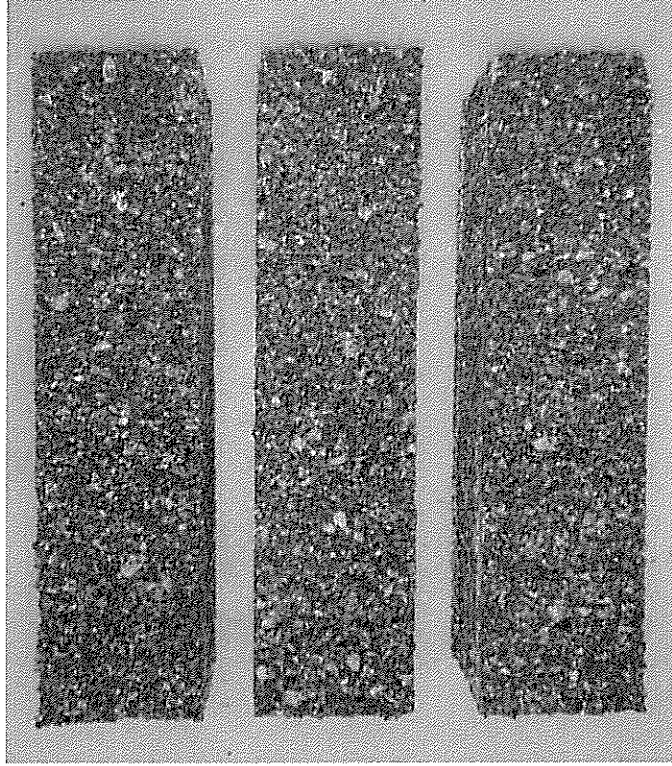
Şekil 3.14 : Yıkanmış etüv kurusu mıcır.

### 3.2.5. Reçine oranının etkisi

Polimer yüzdesi ile dayanımı arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla polimer betonun sırasıyla %30- %37,5- %45 ve %50 hacmi oranında polimer reçinesi, agrega olarak yıkanmış etüv kurusu kum (YEKK) ile numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan beton numuneleri Tablo 3.9'da verilen karışım oranlarında ve Şekil 3.5'te verilen karışım metodunda dökülmüştür. Numuneler Şekil 3.15, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17'de gösterilmiştir.

Tablo 3.9 : YEKK-30, YEKK-37,5, YEKK-45, YEKK-50 karışım oranları (hacimce %).

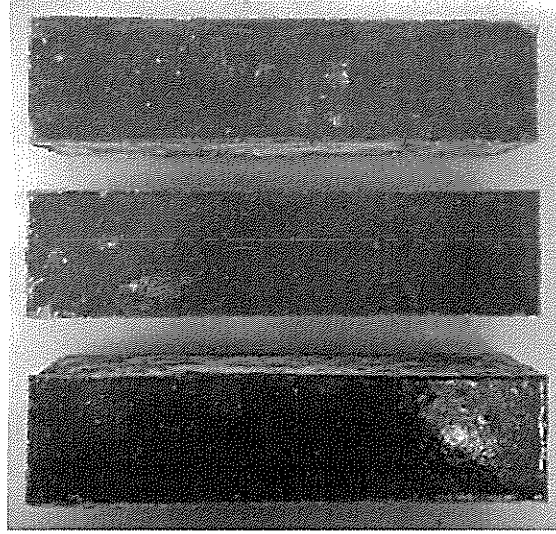
Karışım Kodu	Reçine Miktarı	Agrega Miktarı	Mekp Miktarı
YEKK-30	30	70	Reçinenin 0,004'ü
YEKK- 37,5	37,5	62,5	Reçinenin 0,004'ü
YEKK- 45	45	55	Reçinenin 0,004'ü
YEKK-50	50	50	Reçinenin 0,004'ü



Şekil 3.15 : YEKK hacimce %30 polimer oranlı numuneler.



Şekil 3.16 : YEKK hacimce %45 polimer oranlı numuneleri.



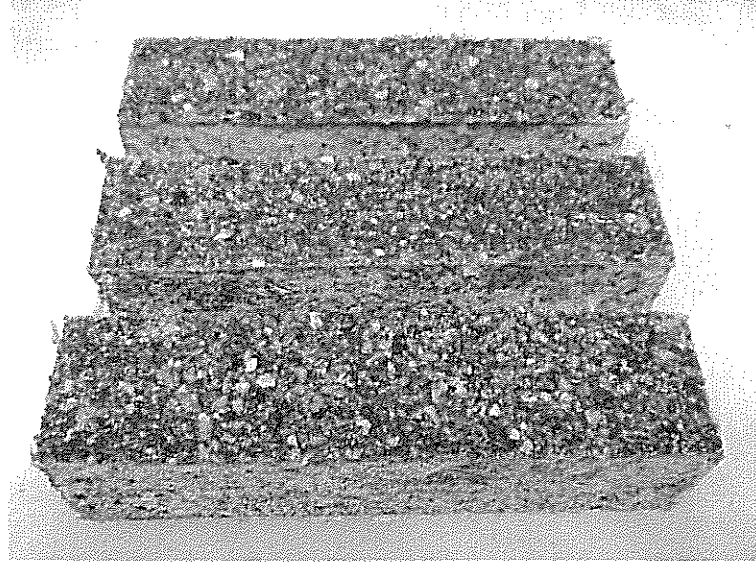
Şekil 3.17 : YEKK hacimce %50 polimer oranlı deney numuneleri.

### 3.2.6. Cam lifi oranının etkisi

Yapılan önceki deneyler göz önünde bulundurularak en iyi performansı sağlayan polimer beton numunesi seçilerek mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla agrega granülometrisindeki standarda uygun olarak %0,05 %0,5 %1 oranında cam lif eklenecek deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bunun için YEKK-45 karışım kodlu deney numunesi seçilmiştir. Bundan sonraki deneylerde kullanılacak olan bu karışım kodlu numunenin isimlendirme kolaylığı açısından YEKK-45 yerine Polimer beton karışımı (PBK) kodu kullanılacaktır. Hacimce %45 kullanılan reçine miktarı sabitlenerek farklı oranlarda cam lifinin polimer betonun özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hazırlanan beton numuneleri Tablo 3.10'da verilen karışım oranlarında ve Şekil 3.5'te verilen karışım metodunda dökülmüştür. Numuneler Şekil 3.18'de gösterilmiştir.

Tablo 3.10 : PBK- %0,05, PBK-%0,5, PBK-%1, cam lifli karışım oranları (hacimce %).

Karışım Kodu	Reçine Miktarı	Agrega Miktarı	Mekp Miktarı	Cam Lifi Miktarı
PBK-%0,05	45	55	Reçinenin 0,004'ü	Karışımın %0,05'i
PBK-%0,5	45	55	Reçinenin 0,004'ü	Karışımın %0,5'i
PBK-%1	45	55	Reçinenin 0,004'ü	Karışımın %1'i



Şekil 3.18 : PBK cam lifi takviyeli deney numuneleri.

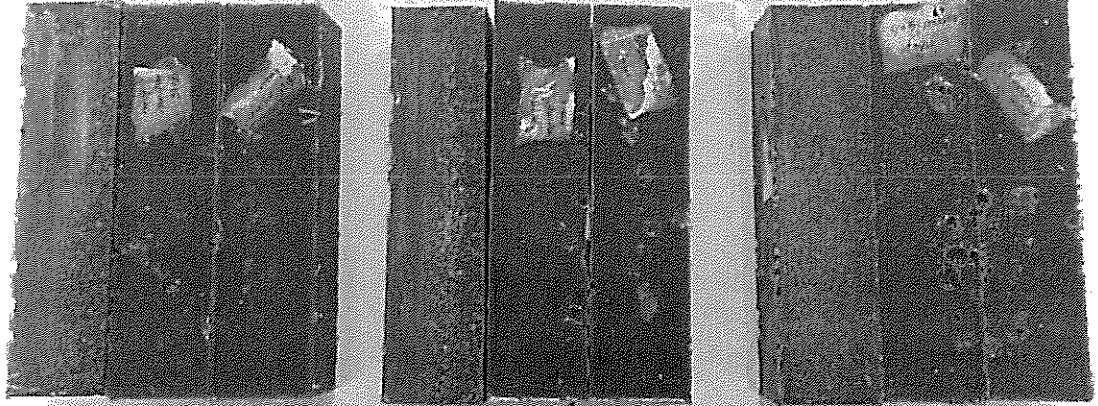
### 3.2.7. Mermer tozu oranının etkisi

Yapılan önceki deneyler göz önünde bulundurularak en iyi performansı sağlayan polimer beton numunesi seçilerek mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla agrega granülometrisindeki standarda uygun olarak %5 %10 %15 oranında mermer tozu eklenerek deney çalışmaları yapılmıştır. Bunun için PBK karışım kodlu deney numunesi seçilmiş ve hacimce %45 kullanılan reçine miktarı sabitlenerek mermer tozunun polimer betonun özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Hazırlanan beton numuneleri Tablo 3.11’de verilen karışım oranlarında ve Şekil 3.5’te verilen karışım metodunda dökülmüştür. Numuneler Şekil 3.19’da gösterilmiştir.

Tablo 3.11 : PBK- %5, PBK-%10, PBK-%15 mermer tozu karışım oranları (hacimce %).

Karışım Kodu	Reçine Miktarı	Agrega Miktarı	Mekp Miktarı	Mermer Tozu Miktarı
PBK-%5	45	55	Reçinenin 0,004’ü	Agreganın %5’i
PBK-%10	45	55	Reçinenin 0,004’ü	Agreganın %10’u
PBK-%15	45	55	Reçinenin 0,004’ü	Agreganın %15’i

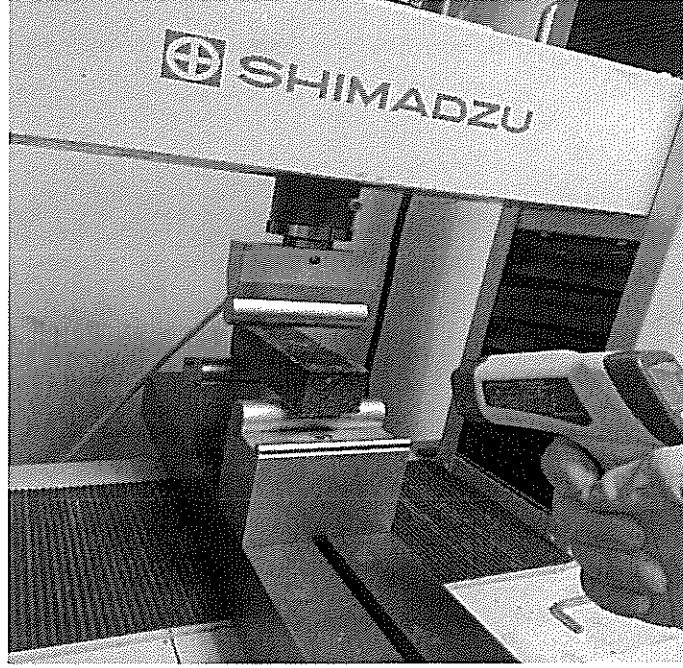




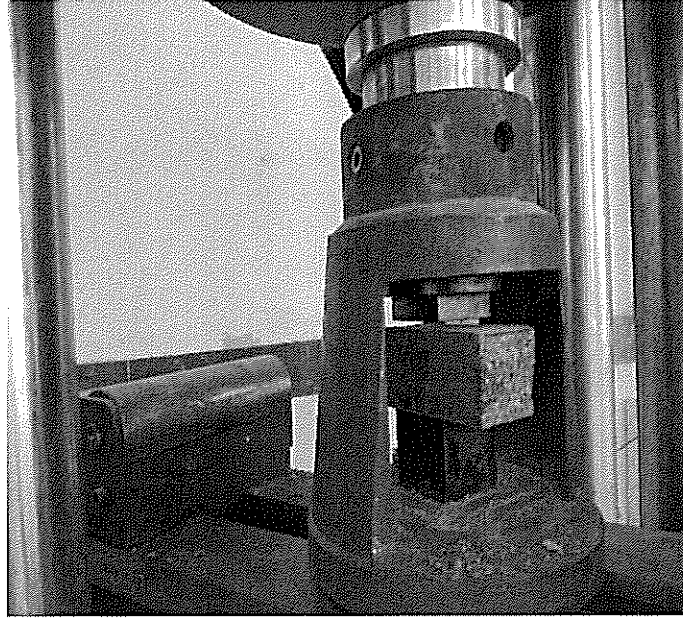
Şekil 3.19 : PBK mermer tozu takviyeli deney numuneleri.

### 3.2.8. Sıcaklığın etkisi

Sıcaklığın polimer betonun dayanımına etkisini araştırmak amacıyla agrega granülometrisindeki standarda uygun olarak PBK karışım kodlu deney numunesi seçilmiş ve hacimce %45 kullanılan reçine miktarı sabitlenerek, numuneler  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıklara tabi tutulmuştur. Hazırlanan polimer beton numuneleri Tablo 3.12’de verilen karışım oranlarında ve Şekil 3.5’te verilen karışım metodunda dökülmüştür. Numuneler uygulanan 3 eğilme noktalı eğilme deneyi Şekil 3.20’de, basınç deneyi Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



Şekil 3.20 : Numuneye uygulanan eğilme deneyi.



Şekil 3.21 : Numuneye uygulanan basınç deneyi.

Tablo 3.12 : PBK karışım oranları (hacimce %).

Karışım Kodu	Reçine Miktarı	Agrega Miktarı	Mekp Miktarı
PBK	45	55	Reçinenin 0,004'ü

### 3.2.9. Polimer beton aşınması

Yapı mühendisliğinde özellikle taş bünyeli elemanlar aşınma olayının etkisinde kalırlar. Bu nedenle beton yol, hava meydanı, merdiven basamakları, döşemeler gibi yerlerde kullanılan malzeme aşınmaya dayanıklı olmalıdır. Bu malzemelerin aşınmaya karşı olan dirençlerinin ölçülmesi için kullanılan deneylerden bir tanesi Böhme aşınma deneyidir ( Ünsal ve Şen, 2008).

Bu deneyde 30 devir/dk.  $\pm$  1 devir/dk hızla dönmesini sağlayan yaklaşık 750 mm çapında yatay olarak yerleştirilmiş döner bir aşındırma diski bulunmaktadır. Numuneye dönen disk üzerinde belirli bir kuvvet uygulayan donanım yüzey aşındırıcı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca disk her 22 devirde cihazı otomatik olarak durduracak tertibata ve devir sayısını gösteren bir numaratóre sahiptir. Sürtünme ile aşınma kaybı deneyi için TS 2824'e uygun olarak kenar uzunlukları 71 mm  $\pm$  1,5 mm olan küp biçiminde deney numuneleri hazırlanmıştır. Bu numunelerde temas eden ve ona karşı gelen yüzü paralel ve düz olmalıdır. Deneylerde 20 gr  $\pm$  0,5 gr zımpara tozu (korundum) sürtünme şeridi üzerine serpilir. 22 devir sonunda otomatik olarak duran disk üzerinden zımpara tozu ve numune atıkları temizlenir. Yeniden 20 gr  $\pm$  0,5 gr zımpara tozu sürtünme şeridi üzerine serpilir ve numune düşey eksen etrafında 90° çevrilir. Her numune için 22 devirden meydana gelen deney, numuneye 16 defa uygulanır. Deney numunesi iyice temizlendikten sonra numune boyutları 0.01 mm hassasiyetle olan kumpas ile ölçülür ve numune hassas terazide tartılır ( Bank, 2006, Ünsal ve Şen, 2008).

$$\Delta V (\text{cm}^3 / 50\text{cm}^2) = \frac{\Delta m (\text{gr} / 50 \text{ cm}^2)}{\rho (\text{gr} / \text{cm}^3)} \quad (3.2)$$

$\Delta V$ = Toplam hacim kaybı ( $\text{cm}^3 / 50 \text{ cm}^2$ )

$\Delta m$ = Toplam ağırlık kaybı ( $\text{gr} / 50 \text{ cm}^2$ )

$P$ = Numune yoğunluğu ( $\text{gr} / \text{cm}^3$ )

Yukarıdaki hesaplamalar yardımı ile numunede meydana gelen toplam hacim kaybı hesaplanır. Ayrıca numunenin kalınlığında meydana gelen toplam kısılma yardımı

ile hacim kaybı hesaplanabilmektedir. Numunenin taban alanı yaklaşık olarak 50 cm<sup>2</sup> (7,1x7,1cm) olduğu için tüm sonuçlar bu taban alanı baz alınarak yapılmalıdır. Böhme deneyi TS 699 Doğal yapı taşları- İnceleme ve laboratuvar deney yöntemleri standardına göre uygulanmaktadır. TS 2513 Doğal yapı taşları standardına göre döşeme kaplaması, merdiven basamağı, vb. aşındırıcı etkiler karşısında kalacak yapı kısımlarında kullanılacak taşlar üzerinde sürtünmeden dolayı aşınma deneyi uygulandığında bulunacak sonuç 15 cm<sup>3</sup> /50 cm<sup>2</sup> 'den, aynı deney yol parkesi ve bordürü vb. yapımında kullanılacak taşlara uygulandığında bulunacak sonuç ise 10 cm<sup>3</sup> /50 cm<sup>2</sup> 'den daha fazla olmamalıdır. TS 10449 Mermer Kalsiyum karbonat esaslı-Yapı kaplama taşı olarak kullanılan standardına göre aşınma dayanımı, döşeme kaplaması, merdiven basamağı ve yer döşemesinde kullanılacak mermerlerde 15 cm<sup>3</sup> /50 cm<sup>2</sup> den, duvar kaplamasında kullanılacak mermerlerde 25 cm<sup>3</sup> /50 cm<sup>2</sup> den büyük olmamalıdır ( Bank, 2006, Ünsal ve Şen, 2008).

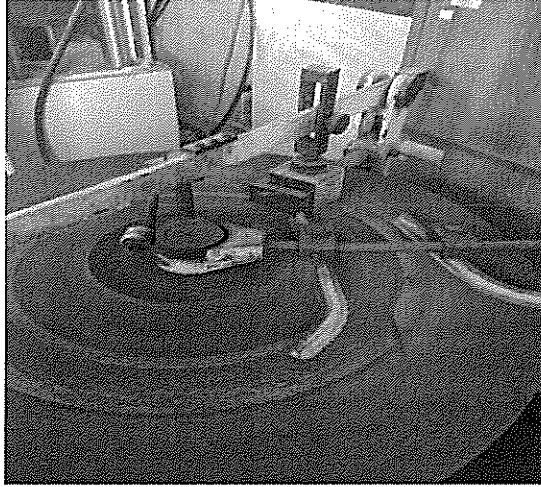
Deney için gerekli ekipmanlar:

- Böhme aşındırma aleti
- Hassas terazi
- Numuneler
- Kumpas
- Zımpara tozu
- Fırça

Aşınmanın polimer betonun dayanımına etkisini araştırmak amacıyla agrega granülometrisindek standarda uygun olarak PBK karışım kodlu deney numunesi seçilmiş ve hacimce %45 kullanılan reçine miktarı sabitlenerek, numuneler aşınmaya tabi tutulmuştur. Hazırlanan beton numuneleri Tablo 3.13'te verilen karışım oranlarında ve Şekil 3.5'te verilen karışım metodunda dökülmüştür. Numune ve böhme cihazı düzeneği Şekil 3.22'de gösterilmiştir.

Tablo 3.13 : Polimer beton karışım oranları (hacimce %).

Karışım Kodu	Reçine Miktarı	Agrega Miktarı	Mekp Miktarı
PBK	45	55	Reçinenin 0,004'ü



Şekil 3.22 : Böhme cihazı ve polimer beton numunesi.

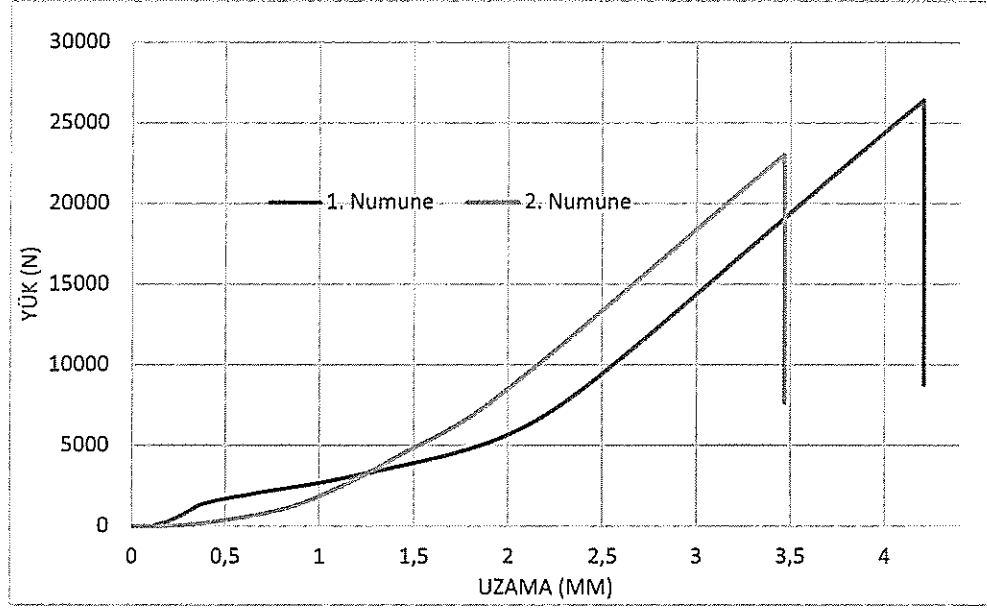
### 3.3. Deney Sonuçları

#### 3.3.1. Polimer reçinesi deney sonuçları

Hazırlanan numuneler 3 noktalı eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Elde edilen eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.14'de, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.15'de, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.23'de verilmiştir.

Tablo 3.14 : Polimer reçinesi eğilme dayanımı sonuçları.

%100 Polimer Reçinesi	Eğilme Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	26395,31	74,24
2	23003,13	64,70
<b>Ortalama</b>	<b>24699,22</b>	<b>69,47</b>



Şekil 3.23 : Polimer reçinesi eğilme grafiği.

Tablo 3.15 : Polimer reçinesi basınç dayanımı sonuçları.

%100 Polimer Reçinesi	Basınç Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	161200	100,75
2	151700	94,81
<b>Ortalama</b>	<b>156450</b>	<b>97,78</b>

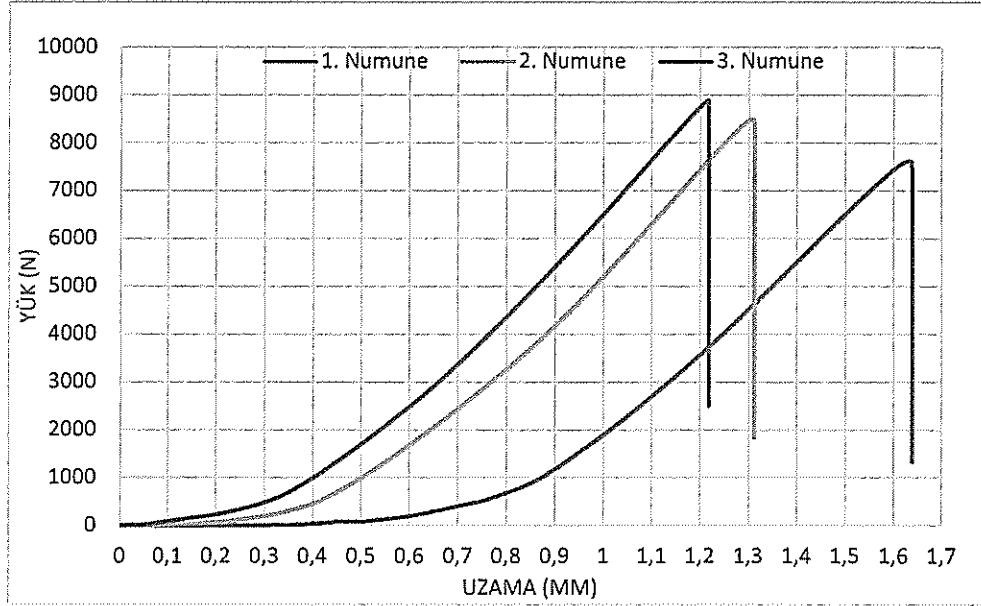
Elde edilen sonuçlara göre polimer reçinesinin ortalama eğilme dayanımı 69,47 MPa, ortalama basınç dayanımı 97,78 MPa'dır.

### 3.3.2. Agregadaki nem oranının etkisi sonuçları

Hazırlanan numuneler 3 noktalı eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Yıkanmamış etüv kurusu kum için elde edilen eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.16'da, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.17'de, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.24'te verilmiştir.

Tablo 3.16 : Etüv kurusu kum eğilme dayanımı sonuçları.

Yıkanmamış Etüv Kuru Kum %37,5 Polimer	Eğile Yükü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	7620,31	21,43
2	8485,94	23,87
3	8885,94	22,99
<b>Ortalama</b>	<b>8330,73</b>	<b>22,76</b>



Şekil 3.24 : Yıkanmamış etüv kurusu kum eğilme grafiği.

Tablo 3.17 : Etüv kurusu kum basınç dayanımı sonuçları.

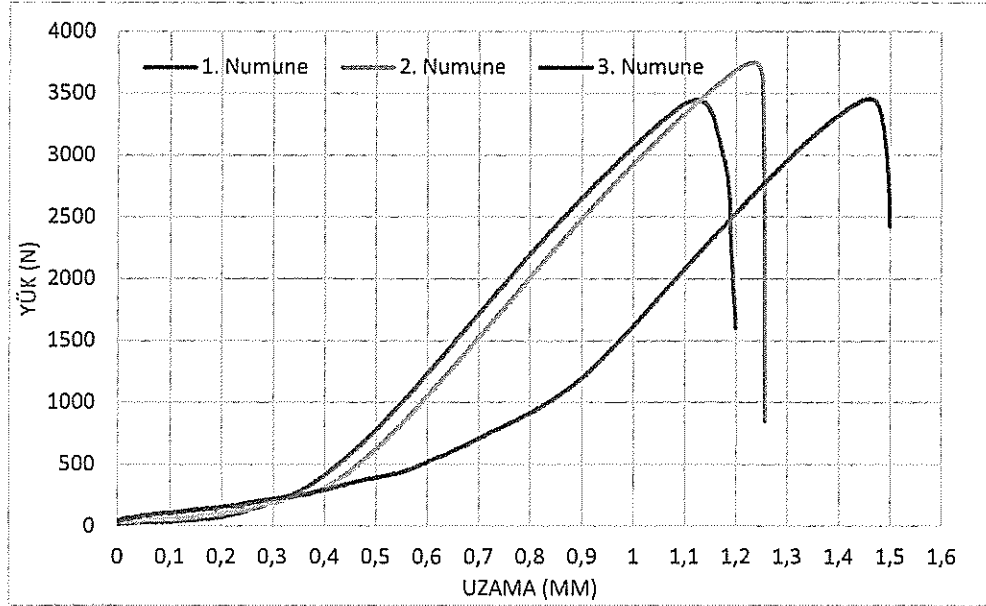
Yıkanmamış Etüv Kuru Kum %37,5 Polimer	Basınç Yükü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	124900	78,06
2	151400	94,63
3	139700	87,31
<b>Ortalama</b>	<b>138666,67</b>	<b>86,67</b>

Elde edilen sonuçlara göre yıkanmamış etüv kurusu kum ile hazırlanan polimer betonun ortalama eğilme dayanımı 22,76 MPa, ortalama basınç dayanımı 86,67 MPa'dır.

Yıkanmamış doğal kum için elde edilen eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.18’de, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.25’te verilmiştir.

Tablo 3.18 : Doğal kum eğilme dayanımı sonuçları.

Yıkanmamış Doğal Kum %37,5 Polimer	Eğilme Yüktü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	3451,56	9,71
2	3754,69	10,56
3	3457,81	9,73
<b>Ortalama</b>	<b>3554,69</b>	<b>10,00</b>

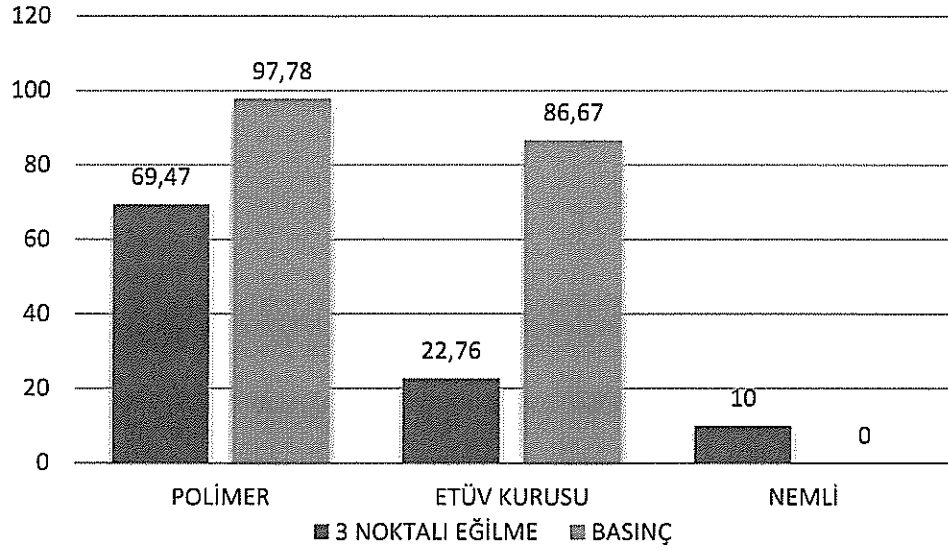


Şekil 3.25 : Yıkanmamış doğal kum eğilme grafiği.

Elde edilen sonuçlara göre yıkanmamış doğal nemli kum ile hazırlanan polimer betonun ortalama eğilme dayanımı 10,00 MPa'dır. Basınç deneyinde numuneler ezildiği için ortalama basınç değeri elde edilememiştir.

Yıkanmamış etüv kurusu kum ve yıkanmamış doğal kumdan oluşan numunelerin eğilme ve basınç dayanımının polimer reçinesinin eğilme ve basınç dayanımları ile karşılaştırılması Şekil 3.26'da verilmiştir.





Şekil 3.26 : Yalın polimer ile nem etkisi deneylerinin karşılaştırılması.

Yıkanmamış etüv kurusu kum ile üretilen polimer beton numunelerinin basınç dayanımı yalın polimerin %88,64'ü kadar, eğilme dayanımı ise yalın polimerin %32,67'si kadardır.

Yıkanmamış doğal kum ile üretilen polimer beton numunelerinde basınç dayanımı elde edilmemiş olup, eğilme dayanımı ise yalın polimerin %14,4'ü kadardır.

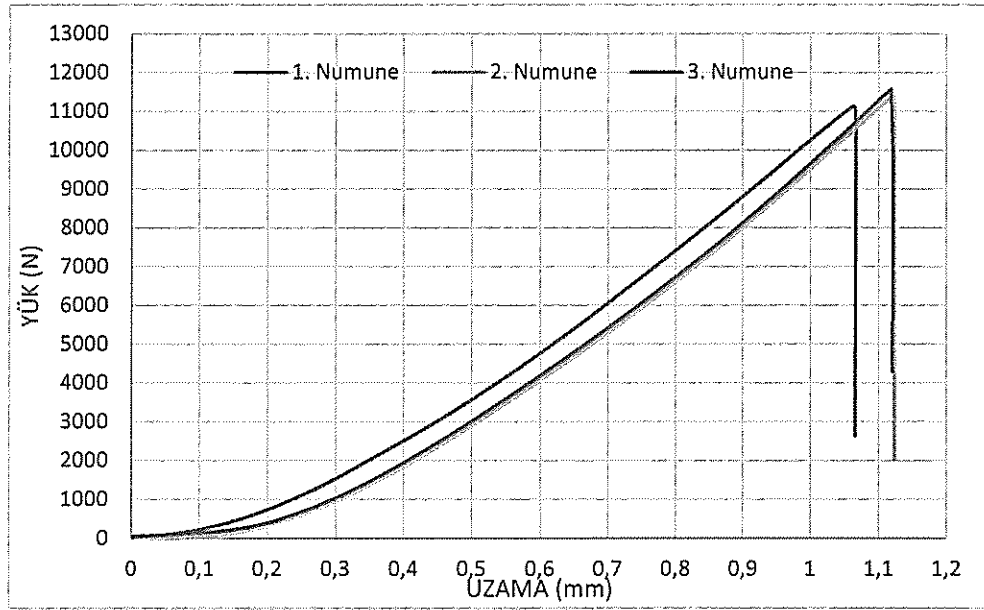
Yapılan deney sonucuna göre agregada bulunan nem oranının polimer beton dayanımını düşürdüğü tespit edilmiştir.

### 3.3.3. Agregadaki yabancı maddelerin etkisi sonuçları

Yıkanmış etüv kurusu kum (YEKK) kullanılarak üretilen polimer beton numunelerinin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.19'da, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.20'de, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.27'de verilmiştir.

Tablo 3.19 : Yıkanmış etüv kuru kum eğilme dayanımı sonuçları.

Yıkanmış Etüv Kuru Kum %37,5 Polimer	Eğilme Yüktü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	11135,94	31,31
2	11393,75	32,05
3	11571,88	32,55
<b>Ortalama</b>	<b>11367,19</b>	<b>31,97</b>



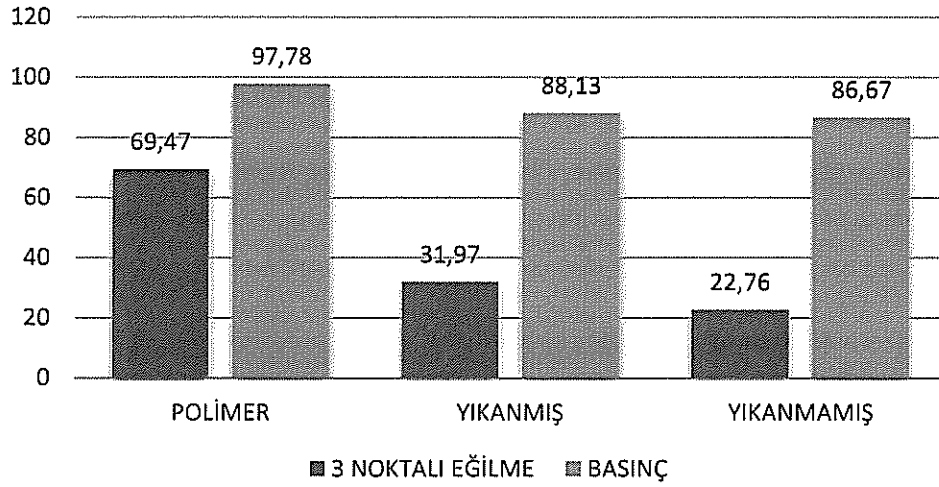
Şekil 3.27 : Yıkanmış etüv kuru kum eğilme grafiği.

Tablo 3.20 : Yıkanmış etüv kuru kum basınç dayanımı sonuçları.

Yıkanmış Etüv kuru Kum %37,5 Polimer	Basınç Yüktü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	136600	85,38
2	138500	86,56
3	147900	92,44
<b>Ortalama</b>	<b>141000</b>	<b>88,13</b>

Elde edilen sonuçlara göre yıkanmış etüv kuru kum ile hazırlanan polimer betonun ortalama eğilme dayanımı 31,97 MPa, ortalama basınç dayanımı 88,13 MPa'dır.

Yıkanmış etüv kurusu kum ve yıkanmamış etüv kurusu kumdan oluşan numunelerin eğilme ve basınç dayanımının polimer reçinesinin eğilme ve basınç dayanımları ile karşılaştırılması Şekil 3.28’de verilmiştir.



Şekil 3.28 : Yalın polimer ile zararlı madde etkisi deneylerinin karşılaştırılması.

Yıkanmış Etüv Kurusu Kum ile üretilen polimer beton numunelerinin basınç dayanımı yalın polimerin %90,13’ü kadar, eğilme dayanımı ise yalın polimerin %46,02’si kadardır.

Yıkanmamış Etüv Kurusu Kum ile üretilen polimer beton numunelerinde basınç dayanımı yalın polimerin %88,64’ü kadar, eğilme dayanımı ise yalın polimerin %32,67’si kadardır.

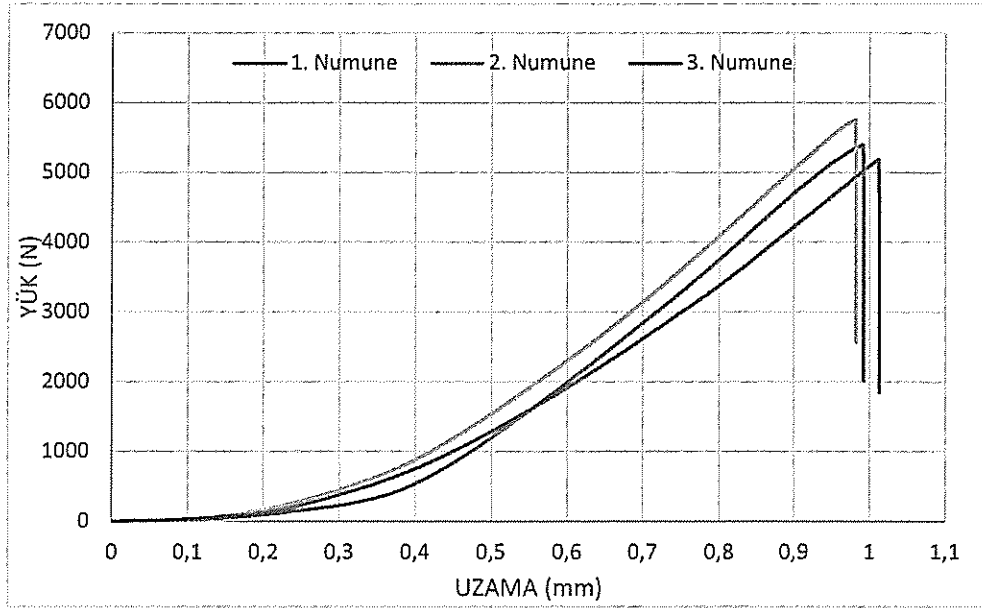
Deney sonucunda yabancı maddelerin (kil, toz, organik madde vb.) polimer beton dayanımını olumsuz etkilediği görülmüştür.

### 3.3.4. Agrega tane büyüklüğünün etkisi sonuçları

Yıkanmış etüv kurusu mıcır (YEKM) kullanılarak üretilen polimer beton numunelerinin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.21’de, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.22’de, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.29’da verilmiştir.

Tablo 3.21 : Yıkanmış etüv kuruşu mıcır eğilme dayanımı sonuçları.

Yıkanmış Etüv Kuruşu Mıcır %37,5 Polimer	Eğilme Yüktü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	5396,88	15,18
2	5757,81	16,19
3	5179,69	14,57
<b>Ortalama</b>	<b>5444,79</b>	<b>15,31</b>



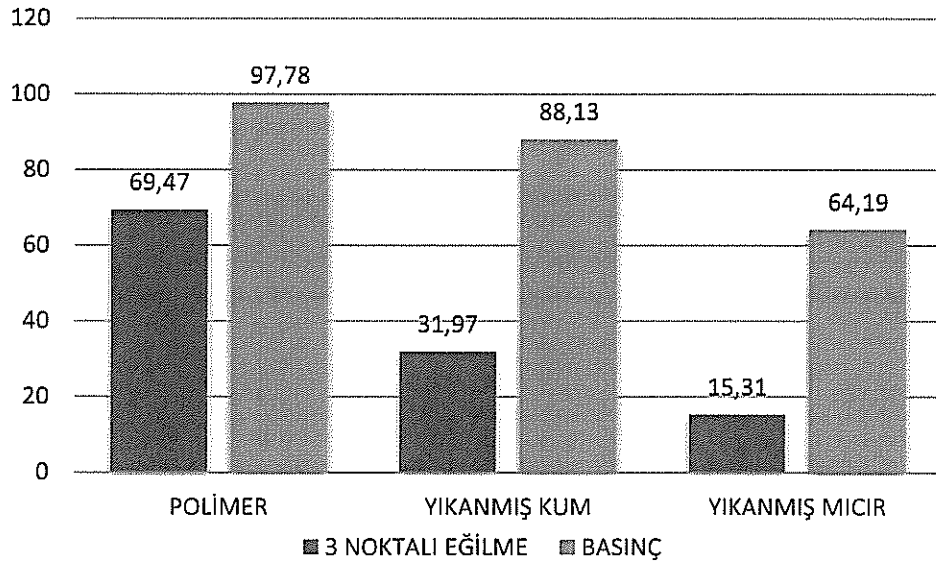
Şekil 3.29 : Yıkanmış etüv kuruşu mıcır eğilme grafiği.

Tablo 3.22 : Yıkanmış etüv kuruşu mıcır basınç dayanımı sonuçları.

Yıkanmış Etüv Kuruşu Mıcır %37,5 Polimer	Basınç Yüktü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	102300	63,94
2	103100	64,44
3	102400	63,57
<b>Ortalama</b>	<b>102600</b>	<b>63,98</b>

Elde edilen sonuçlara göre yıkanmış etüv kurusu mıcır ile hazırlanan polimer betonun ortalama eğilme dayanımı 15,31 MPa, ortalama basınç dayanımı 63,98 MPa'dır.

Yıkanmış etüv kurusu kum ve yıkanmış etüv kurusu mıcırdan oluşan numunelerin eğilme ve basınç dayanımının polimer reçinesinin eğilme ve basınç dayanımları ile karşılaştırılması Şekil 3.30'da verilmiştir.



Şekil 3.30 : Yalın polimer ile agrega büyüklüğü etkisi deneylerinin karşılaştırılması.

Yıkanmış Etüv Kurusu Kum ile üretilen polimer beton numunelerinin basınç dayanımı yalın polimerin %90,13'ü kadar, eğilme dayanımı ise yalın polimerin %46,02'si kadardır.

Yıkanmış Etüv Kurusu Mıcır ile üretilen polimer beton numunelerinde basınç dayanımı yalın polimerin %65,65'ü kadar, eğilme dayanımı ise yalın polimerin %22,04'ü kadardır.

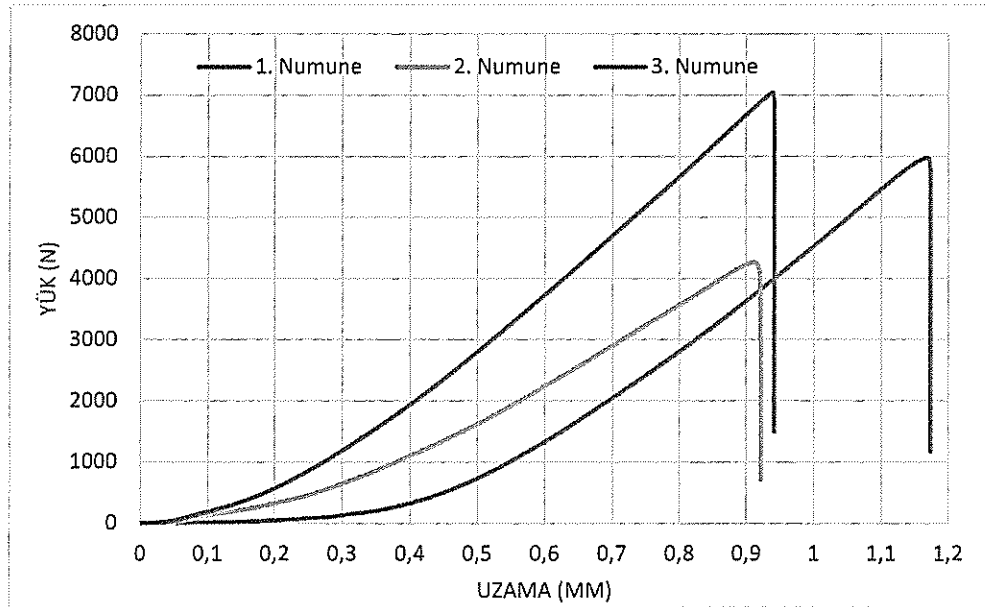
Yapılan deney sonucunda, mıcır ile üretilen polimer betonda dayanımın kum ile üretilen polimer betona kıyasla düştüğü görülmektedir. Bunun sebebinin sadece mıcır kullanımında uygun granülometre sağlanamaması olduğu düşünülmektedir.

### 3.3.5. Reçine oranının etkisi sonuçları

Yıkılmış etüv kurusu kum kullanılarak %30 oranında polimer reçinesi ile hazırlanan numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.23'te, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.31'de verilmiştir.

Tablo 3.23 : YEKK-%30 reçineli polimer beton eğilme dayanımı sonuçları.

Yıkılmış Etüv Kurusu Kum %30 Polimer	Eğilme Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	5975,00	16,81
2	4264,06	11,99
3	7042,19	19,81
<b>Ortalama</b>	<b>5760,41</b>	<b>16,20</b>



Şekil 3.31 : YEKK - %30 eğilme grafiği.

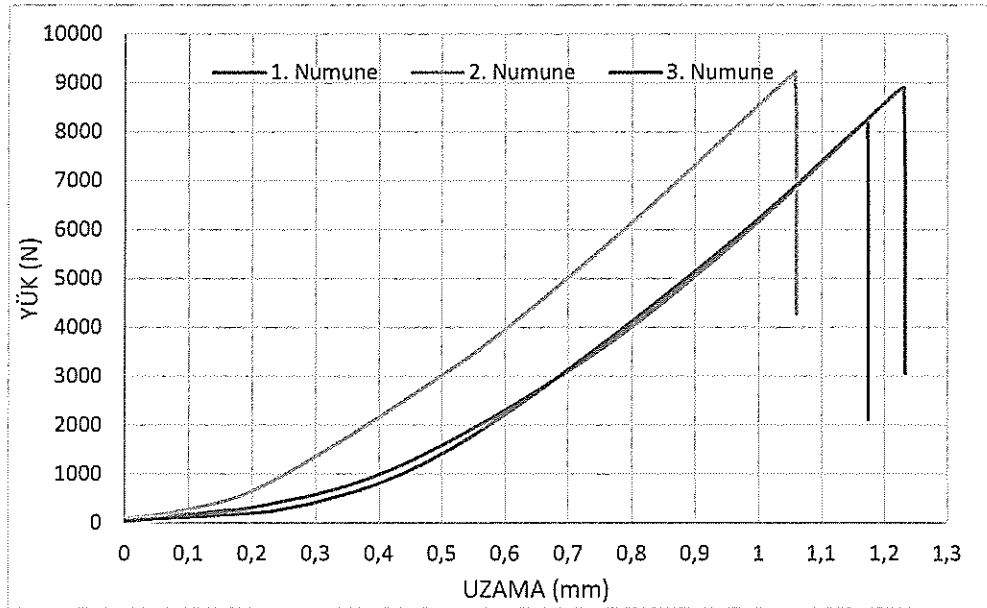
Elde edilen sonuçlara göre yıkılmış etüv kurusu kum kullanılarak hacimce %30 oranında reçine ile hazırlanan polimer betonun ortalama eğilme dayanımı 16,20 MPa'dır. Basınç deneyinde numuneler ezildiği için ortalama basınç değeri elde edilememiştir.

Etüv Kuru Yıkamış Kum %30 polimer oranı ile üretilen polimer beton numuneleri basınç deneyine tabi tutulurken ezildiği için basınç dayanımı elde edilememiştir.

Yıkamış etüv kuru kum kullanılarak %45 oranında polimer reçinesi ile hazırlanan numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.24'te, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.25'te, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.32'de verilmiştir.

Tablo 3.24 : YEKK-45 eğilme dayanımı sonuçları.

Yıkamış Etüv Kuru Kum %45 Polimer	Eğilme Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	8907,81	25,05
2	9225	25,95
3	8220,31	23,12
<b>Ortalama</b>	<b>8784,37</b>	<b>24,71</b>



Şekil 3.32 : YEKK-%45 eğilme grafiği.

Tablo 3.25 : YEKK-%45 basınç dayanımı sonuçları.

Yıkanmış Etüv Kuruşu Kum %45 Polimer	Basınç Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	159200	99,5
2	156600	97,88
3	153000	95,63
<b>Ortalama</b>	<b>156266,67</b>	<b>97,67</b>

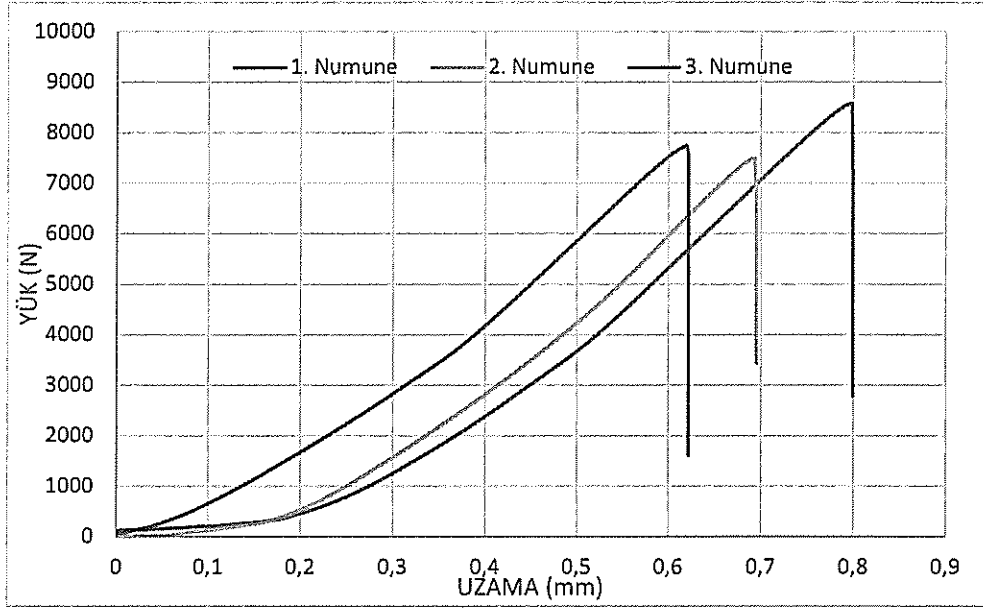
Elde edilen sonuçlara göre yıkanmış etüv kuruşu kum kullanılarak hacimce %45 oranında reçine ile hazırlanan polimer betonun ortalama eğilme dayanımı 24,71 MPa, ortalama basınç dayanımı 97,67 MPa'dır.

Yıkanmış etüv kuruşu kum kullanılarak %50 oranında polimer reçinesi ile hazırlanan numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.26'da, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.27'de, eğilme dayanımı grafiğı Şekil 3.33'te verilmiştir.

Tablo 3.26 : YEKK-50 eğilme dayanımı sonuçları.

Yıkanmış Etüv Kuruşu Kum %50 Polimer	Eğilme Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	8575,00	24,12
2	7490,62	21,08
3	7742,19	21,78
<b>Ortalama</b>	<b>7935,94</b>	<b>22,33</b>





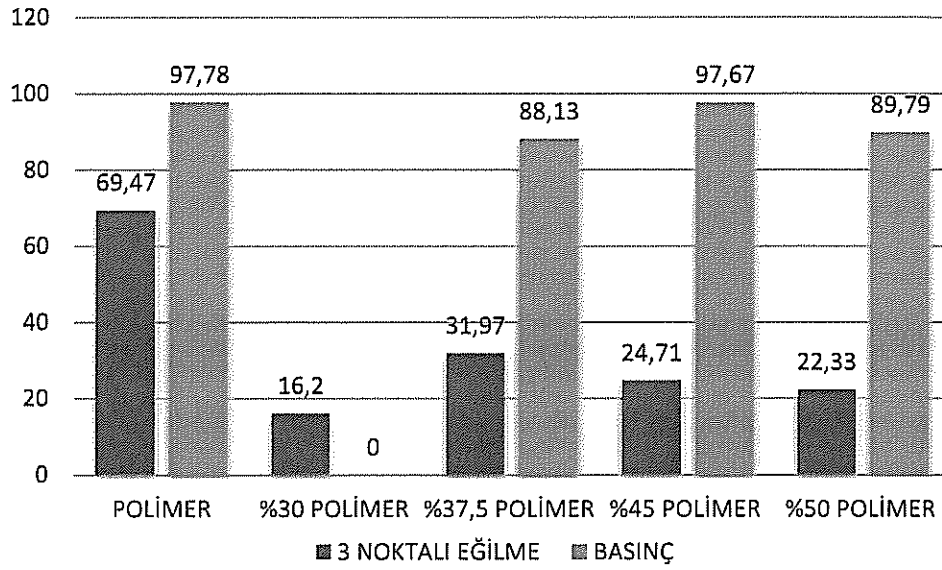
Şekil 3.33 : YEKK -%50 eğilme grafiği.

Tablo 3.27 : EKYK-%50 basınç dayanımı sonuçları.

Yıkanmış Etüv Kuruğu Kum %50 Polimer	Basınç Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	145100	90,69
2	146100	91,31
3	139800	87,38
<b>Ortalama</b>	<b>143666,67</b>	<b>89,79</b>

Elde edilen sonuçlara göre yıkanmış etüv kuruğu kum kullanılarak hacimce %50 oranında reçine ile hazırlanan polimer betonun ortalama eğilme dayanımı 22,33 MPa, ortalama basınç dayanımı 89,79 MPa'dır.

Yıkanmış etüv kuruğu kum kullanılarak üretilen %30, %37,5, %45, %50 oranında polimer reçine içeren numunelerin eğilme ve basınç dayanımının polimer reçinesinin eğilme ve basınç dayanımları ile karşılaştırılması Şekil 3.34'te verilmiştir.



Şekil 3.34 : Reçine oranının polimer beton dayanımına etkilerinin karşılaştırılması.

Yıkılmış Etüv Kuru Kum %30 polimer oranı ile üretilen polimer beton numunelerinin basınç dayanımı elde edilmemiş olup, eğilme dayanımı ise yalın polimerin %23,32'si kadardır.

Yıkılmış Etüv Kuru Kum %45 polimer oranı ile üretilen polimer beton numunelerinin basınç dayanımı yalın polimerin %99,89'u kadar, eğilme dayanımı ise yalın polimerin %35,6'sı kadardır.

Yıkılmış Etüv Kuru Kum %50 polimer oranı ile üretilen polimer beton numunelerinin basınç dayanımı yalın polimerin %91,83'ü kadar, eğilme dayanımı ise yalın polimerin %32,14'ü kadardır.

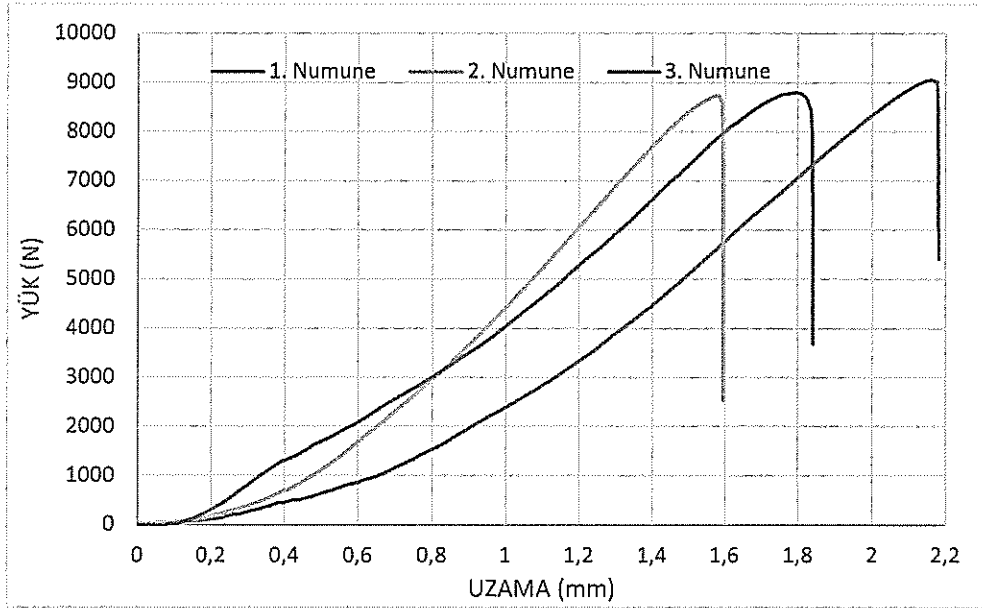
Yapılan deneylerde polimer oranının polimer beton dayanımına etkisi incelenmiştir. Tamamen yalın polimer kullanımının getireceği yüksek maliyetin ortadan kaldırılması amacıyla, yalın polimere yakın dayanım değerleri sağlayabilecek farklı oranlarda beton karışımları denenmiştir. %45'lik polimer beton karışımının görece daha olumlu sonuçlar verdiği düşünüldüğünden daha sonraki deneyler %45 polimer oranlı betonlar üzerinden devam etmektedir.

### 3.3.6. Cam lifli oranının etkisi sonuçları

%45 oranında polimer reçinesi içeren polimer beton karışımı seçilerek %0,05 oranında cam lifli ile hazırlanan numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.28'de, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.29'da, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.35'te verilmiştir.

Tablo 3.28 : PBK-%0,05 cam lifli eğilme dayanımı sonuçları.

PBK %0,05 Cam Lifli Polimer Beton	Eğilme Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	9056,25	25,47
2	8734,37	24,57
3	8798,44	24,75
<b>Ortalama</b>	<b>8863,02</b>	<b>24,93</b>



Şekil 3.35 : PBK-%0,05 cam lifli takviyeli eğilme grafiği.

Tablo 3.29 : PBK-%0,05 basınç dayanımı sonuçları.

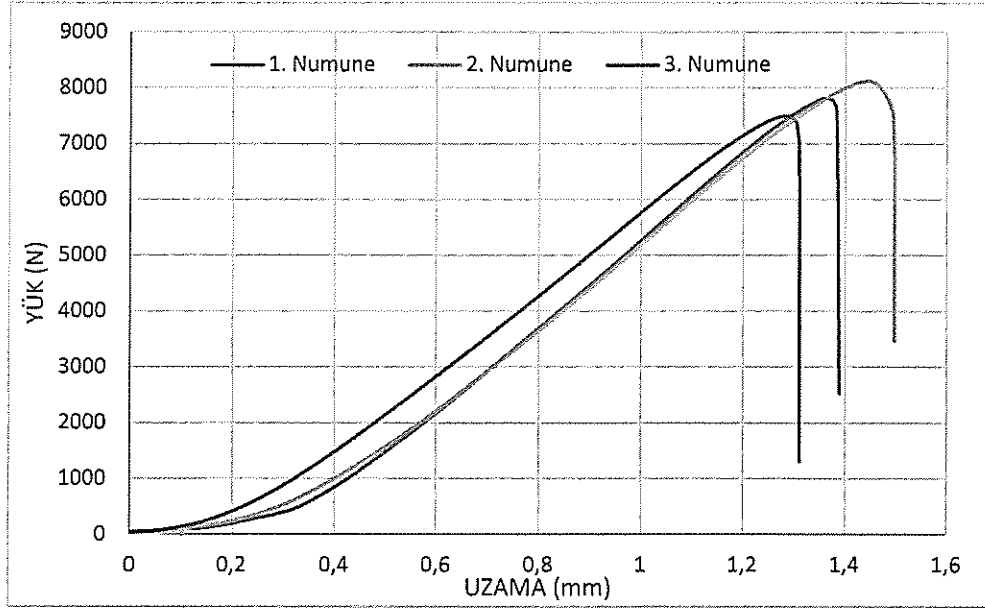
PBK %0,05 Cam Lifli Polimer Beton	Basınç Yüktü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	114000	71,25
2	111500	69,69
3	113100	70,69
<b>Ortalama</b>	<b>112866,67</b>	<b>70,54</b>

Elde edilen sonuçlara göre %0,05 oranında cam lifli takviyeli polimer betonun ortalama eğilme dayanımı 24,93 MPa, ortalama basınç dayanımı 70,54 MPa'dır.

%45 oranında polimer reçinesi içeren polimer beton karışımı seçilerek %0,5 oranında cam lifli ile hazırlanan numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.30'da, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.31'de, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.36'da verilmiştir.

Tablo 3.30 : PBK-%0,5 cam lifli eğilme dayanımı sonuçları.

PBK %0,5 Cam Lifli Polimer Beton	Eğilme Yüktü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	7812,50	21,97
2	8120,31	22,84
3	7495,31	21,08
<b>Ortalama</b>	<b>7809,37</b>	<b>21,96</b>



Şekil 3.36 : PBK %0,5 cam lifli takviyeli eğilme grafiği.

Tablo 3.31 : PBK-%0,5 basınç dayanımı sonuçları.

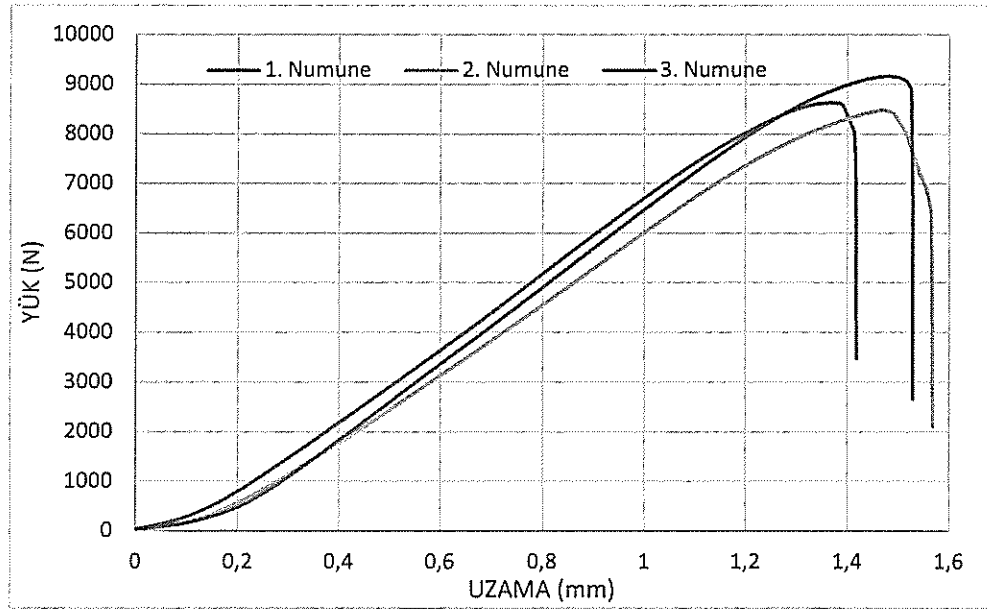
PBK %0,5 Cam Lifli Polimer Beton	Basınç Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	111400	69,63
2	114900	71,81
3	116500	72,81
<b>Ortalama</b>	<b>114266,67</b>	<b>71,42</b>

Elde edilen sonuçlara göre %0,5 oranında cam lifli takviyeli polimer betonun ortalama eğilme dayanımı 21,96 MPa, ortalama basınç dayanımı 71,42 MPa'dır.

%45 oranında polimer reçinesi içeren polimer beton karışımı seçilerek % 1 oranında cam lifli ile hazırlanan numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.32'de, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.33'te, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.37' de verilmiştir.

Tablo 3.32 : PBK-% 1 cam lifli eğilme dayanımı sonuçları.

PBK % 1 Cam Lifli Polimer Beton	Eğilme Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	8626,56	24,26
2	8476,56	23,84
3	9168,75	25,79
<b>Ortalama</b>	<b>8757,29</b>	<b>24,63</b>



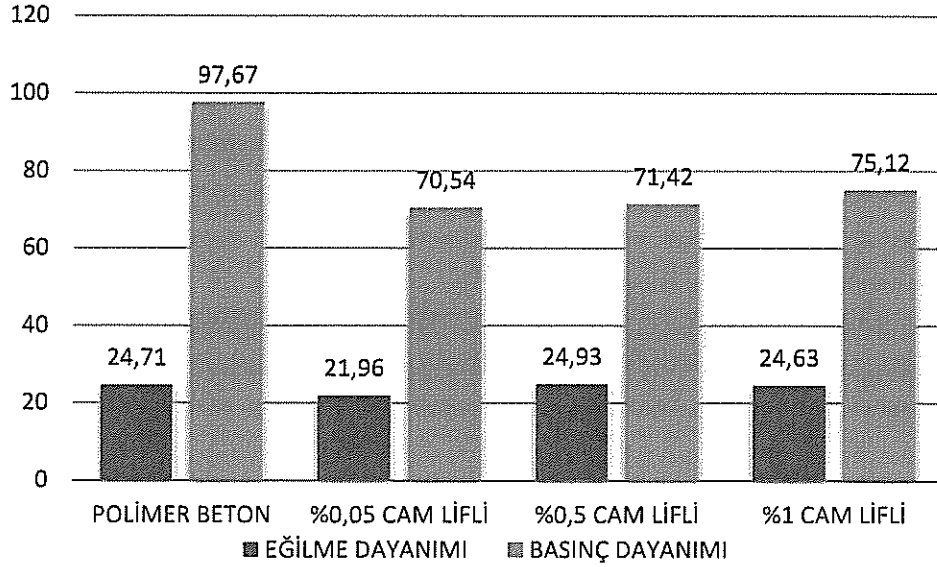
Şekil 3.37 : PBK- % 1 cam lifli takviyeli polimer beton eğilme grafiğı.

Tablo 3.33 : PBK-% 1 basınç dayanımı sonuçları.

EKYK % 1 Cam Lifli Polimer Beton	Basınç Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	122900	76,81
2	116800	73,00
3	120900	75,56
<b>Ortalama</b>	<b>107333,33</b>	<b>75,12</b>

Elde edilen sonuçlara göre %1 oranında cam lifli takviyeli polimer betonun ortalama eğilme dayanımı 24,63 MPa, ortalama basınç dayanımı 75,12 MPa'dır.

%45 oranında polimer reçinesi içeren polimer beton karışımı kullanılarak üretilen %0,05, %0,5, %1 oranında cam lifi içeren numunelerin eğilme ve basınç dayanımının polimer reçinesinin eğilme ve basınç dayanımları ile karşılaştırılması Şekil 3.38’de verilmiştir.



Şekil 3.38 : Cam lifi oranının polimer beton dayanımına etkilerinin karşılaştırılması.

%0,05 cam lifi takviyeli polimer beton numunelerinin basınç dayanımı %45 polimer oranı ile üretilen takviyesiz polimer beton numunelerinin basınç dayanımının %72,23’ü kadar, eğilme dayanımı ise %88,87’si kadardır.

%0,5 cam lifi takviyeli polimer beton numunelerinin basınç dayanımı %45 polimer oranı ile üretilen takviyesiz polimer beton numunelerinin basınç dayanımının %73,12’si kadardır. Aynı numunenin eğilme dayanımında ise %0,89’luk bir artış görülmüştür.

%1 cam lifi takviyeli polimer beton numunelerinin basınç dayanımı %45 polimer oranı ile üretilen takviyesiz polimer beton numunelerinin basınç dayanımının %76,91’i kadar, eğilme dayanımı ise %99,68’i kadardır.

Yapılan deneylerde, %45 polimer oranlı betonun dayanım değerleri baz alınarak aynı polimer oranında cam lifli takviyeli numunelerin dayanım değerleri kıyaslanmıştır. Cam lifli takviyesinin dayanım sonuçlarını olumlu yönde etkilememesinin yanında homojen bir karışım sağlama ve kalıba yerleşmesindeki güçlükler sebebiyle kullanıma uygun görülmemiştir.

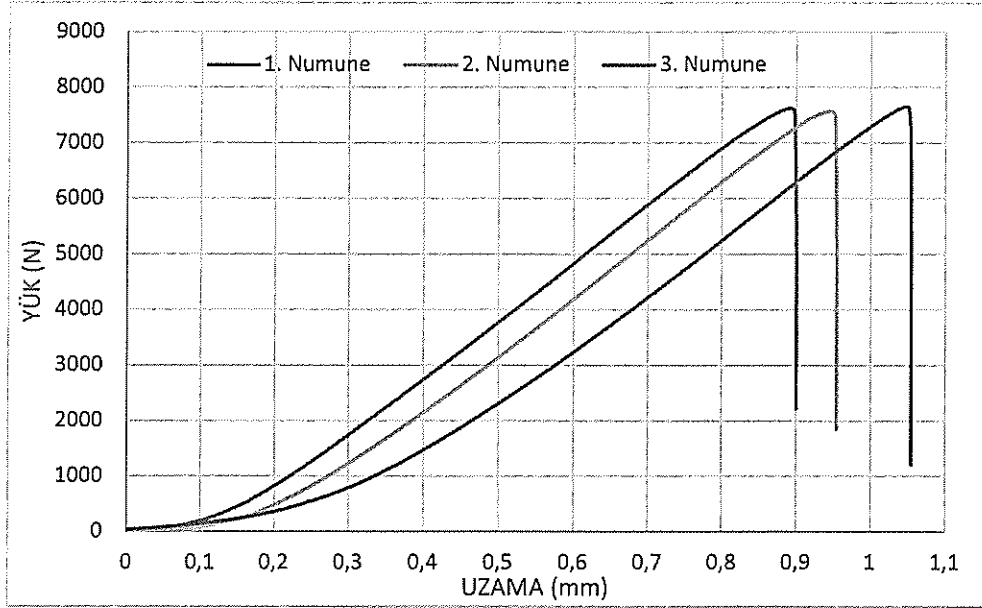
### 3.3.7. Mermer tozu oranının etkisi sonuçları

%45 oranında polimer reçinesi içeren polimer beton karışımı seçilerek %5 oranında mermer tozu ile hazırlanan numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.34'te, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.35'te, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.39'da verilmiştir.

Tablo 3.34 : PBK-% 5 mermer tozu ilaveli eğilme dayanımı sonuçları.

PBK % 5 Mermer Tozu Polimer Beton	Eğilme Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	7628,12	21,45
2	758,75	21,29
3	7654,68	21,53
<b>Ortalama</b>	<b>7617,18</b>	<b>21,42</b>





Şekil 3.39 : PBK-% 5 mermer tozu takviyeli eğilme grafiği.

Tablo 3.35 : PBK-% 5 mermer tozu ilaveli basınç dayanımı sonuçları.

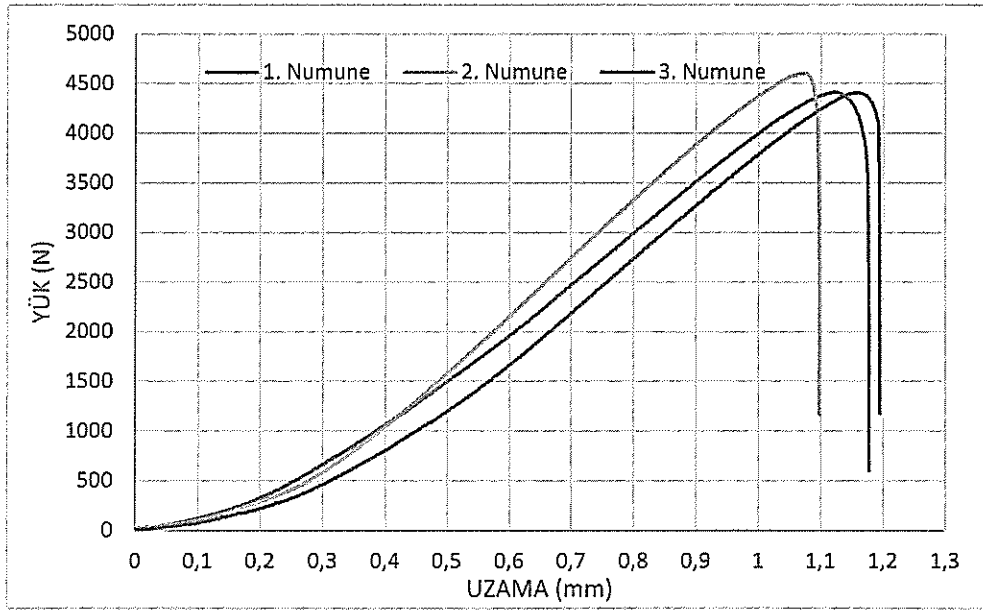
PBK % 5 Mermer Tozu	Basınç Yüktü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
Polimer Beton		
1	86000	53,75
2	88000	55,00
3	94800	59,25
<b>Ortalama</b>	<b>89600</b>	<b>56,00</b>

Elde edilen sonuçlara göre %5 oranında mermer tozu takviyeli polimer betonun ortalama eğilme dayanımı 21,42 MPa, ortalama basınç dayanımı 56,00 MPa'dır.

%45 oranında polimer reçinesi içeren polimer beton karışımı seçilerek %10 oranında mermer tozu ile hazırlanan numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.36'da, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.37'de, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.40'da verilmiştir.

Tablo 3.36 : PBK-% 10 mermer tozu ilaveli eğilme dayanımı sonuçları.

PBK % 10 Mermer Tozu Polimer Beton	Eğilme Yüktü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	4415,62	12,42
2	4600,00	12,94
3	4407,80	12,40
<b>Ortalama</b>	<b>4474,47</b>	<b>12,59</b>



Şekil 3.40 : PBK - %10 mermer tozu takviyeli eğilme grafiği.

Tablo 3.37 : PBK-% 10 mermer tozu ilaveli polimer beton basınç dayanımı sonuçları.

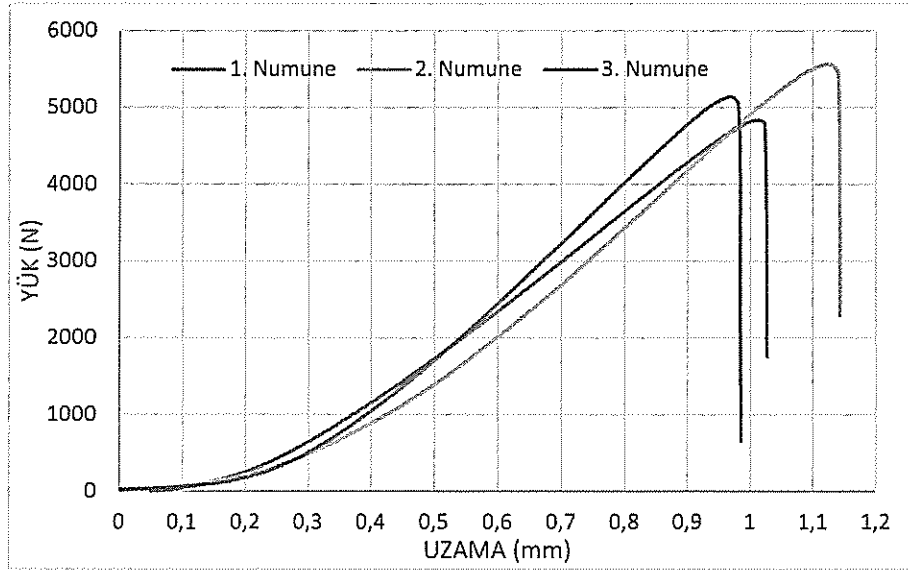
PBK % 10 Mermer Tozu Polimer Beton	Basınç Yüktü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	49100	30,69
2	48700	30,44
3	49200	30,75
<b>Ortalama</b>	<b>49000</b>	<b>30,63</b>

Elde edilen sonuçlara göre %10 oranında mermer tozu takviyeli polimer betonun ortalama eğilme dayanımı 12,59 MPa, ortalama basınç dayanımı 30,63 MPa'dır.

%45 oranında polimer reçinesi içeren polimer beton karışımı seçilerek %15 oranında mermer tozu ile hazırlanan numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.38'de, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.39'da, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.41'de verilmiştir.

Tablo 3.38 : PBK-% 15 mermer tozu ilaveli eğilme dayanımı sonuçları.

PBK % 15 Mermer Tozu Polimer Beton	Eğilme Yüktü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	4837,50	13,61
2	5568,75	15,66
3	5146,87	14,48
<b>Ortalama</b>	<b>5184,37</b>	<b>14,58</b>



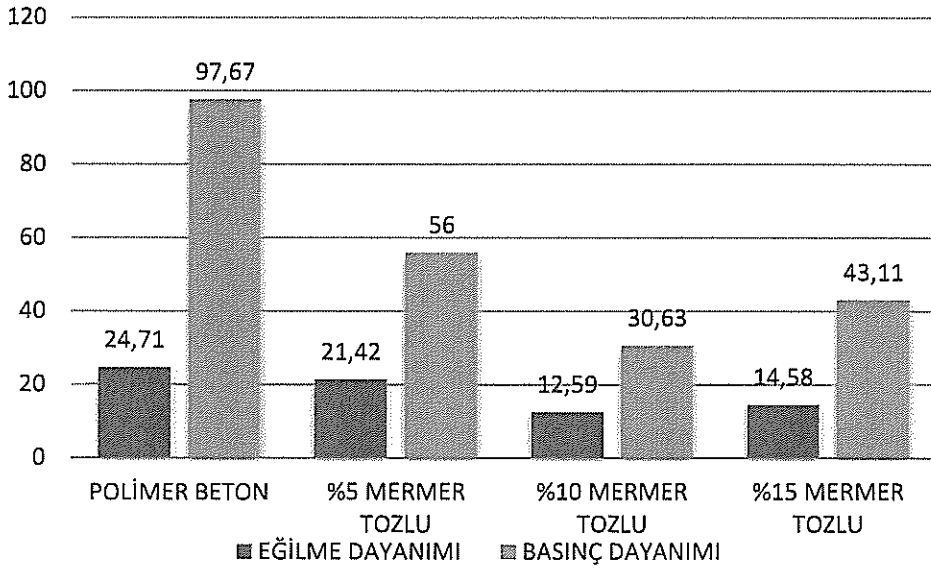
Şekil 3.41 : PBK-% 15 mermer tozu takviyeli eğilme grafiği.

Tablo 3.39 : PBK-% 15 mermer tozu ilaveli basınç dayanımı sonuçları.

PBK % 15 Mermer Tozu	Basınç Yüklü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
Polimer Beton		
1	68000	42,50
2	70300	43,94
3	68600	42,88
<b>Ortalama</b>	<b>68966,67</b>	<b>43,11</b>

Elde edilen sonuçlara göre %15 oranında mermer tozu takviyeli polimer betonun ortalama eğilme dayanımı 14,58 MPa, ortalama basınç dayanımı 43,11 MPa'dır.

%45 oranında polimer reçinesi içeren polimer beton karışımı kullanılarak üretilen %5, %10, %15 oranında mermer tozu içeren numunelerin eğilme ve basınç dayanımının polimer reçinesinin eğilme ve basınç dayanımları ile karşılaştırılması Şekil 3.42'de verilmiştir.



Şekil 3.42 : Mermer tozu oranı polimer beton dayanımına etkilerinin karşılaştırılması.

%5 mermer tozu takviyeli polimer beton numunelerinin basınç dayanımı %45 polimer oranı ile üretilen takviyesiz polimer beton numunelerinin basınç dayanımının %58,36'sı kadar, eğilme dayanımı ise %86,69'u kadardır.

%10 mermer tozu takviyeli polimer beton numunelerinin basınç dayanımı %45 polimer oranı ile üretilen takviyesiz polimer beton numunelerinin basınç dayanımının %31,36'sı kadar, eğilme dayanımı ise %50,95'i kadardır.

%15 mermer tozu takviyeli polimer beton numunelerinin basınç dayanımı %45 polimer oranı ile üretilen takviyesiz polimer beton numunelerinin basınç dayanımının %44,14'ü kadar, eğilme dayanımı ise %59,01'i kadardır.

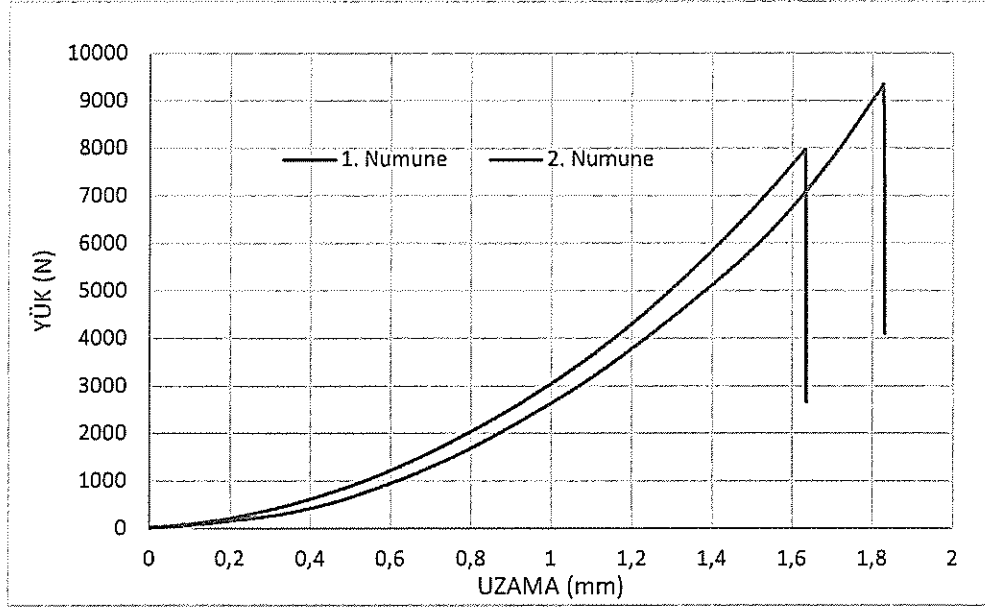
Yapılan deneylerde, %45 polimer oranlı betonun dayanım değerleri baz alınarak aynı polimer oranında mermer tozu takviyeli numunelerin dayanım değerleri kıyaslanmıştır. Mermer tozu takviyesinin dayanım sonuçlarında büyük ölçüde kayıplar gözlenmiştir.

### 3.3.8. Sıcaklık etkisinin sonuçları

%45 oranında polimer reçinesi içeren polimer beton karışımı seçilerek -30 °C sıcaklığa tabi tutulan numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.40'da, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.41'de, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.43'te, basınç dayanımı grafiği Şekil 3.44'te verilmiştir.

Tablo 3.40 : PBK -30 °C sıcaklıktaki eğilme dayanımı sonuçları.

Polimer Beton Karışımı (-30 °C)	Eğilme Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	7957,81	22,38
2	9334,37	26,25
<b>Ortalama</b>	<b>8646,09</b>	<b>24,31</b>

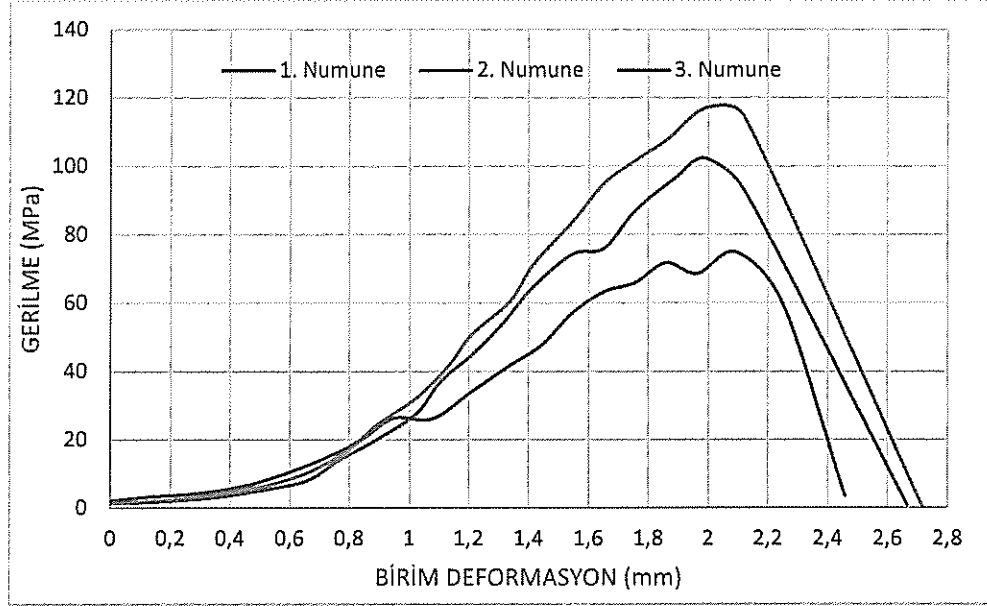


Şekil 3.43 : PBK -30 °C sıcaklıkta eğilme grafiği.

Tablo 3.41 : PBK -30 °C sıcaklıktaki basınç dayanımı sonuçları.

Polimer Beton Karışımı (-30 °C)	Basınç Yüklü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	119744	74,84
2	163904	102,44
3	187168	116,98
<b>Ortalama</b>	<b>156938,67</b>	<b>98,09</b>

Elde edilen sonuçlara göre polimer betonun -30 °C sıcaklıkta ortalama eğilme dayanımı 24,31 MPa, ortalama basınç dayanımı 98,09 MPa'dır.

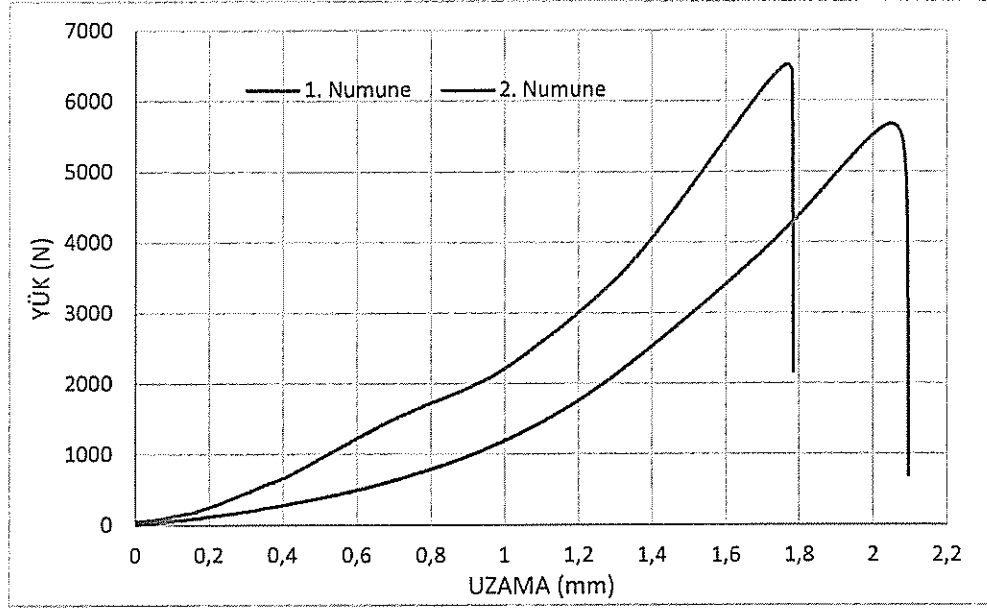


Şekil 3.44 : PBK -30 °C sıcaklıkta basınç grafiği.

%45 oranında polimer reçinesi içeren polimer beton karışımı seçilerek +50 °C sıcaklığa tabi tutulan numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.45’de, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.43’te, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.37’de, basınç dayanımı grafiği Şekil 3.46’da verilmiştir.

Tablo 3.42 : PBK +50 °C sıcaklıktaki eğilme dayanımı sonuçları.

Polimer Beton Karışımı (+50 °C)	Eğilme Yüktü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	5675,00	15,96
2	6515,63	18,33
<b>Ortalama</b>	<b>6095,32</b>	<b>17,15</b>



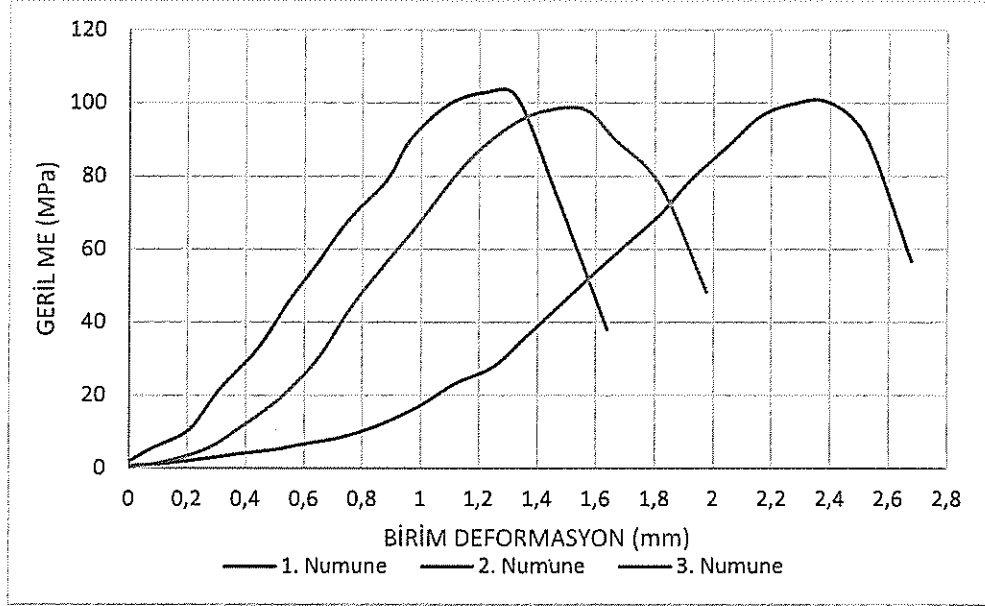
Şekil 3.45 : PBK +50 °C sıcaklıkta eğilme grafiği.

Tablo 3.43 : PBK +50 °C sıcaklıktaki basınç dayanımı sonuçları.

Polimer Beton Karışımı (+50 °C)	Basınç Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	160528	100,33
2	164736	102,96
3	157296	98,31
<b>Ortalama</b>	<b>160853,33</b>	<b>100,53</b>

Elde edilen sonuçlara göre polimer betonun +50 °C sıcaklıkta ortalama eğilme dayanımı 17,15 MPa, ortalama basınç dayanımı 100,53 MPa'dır.



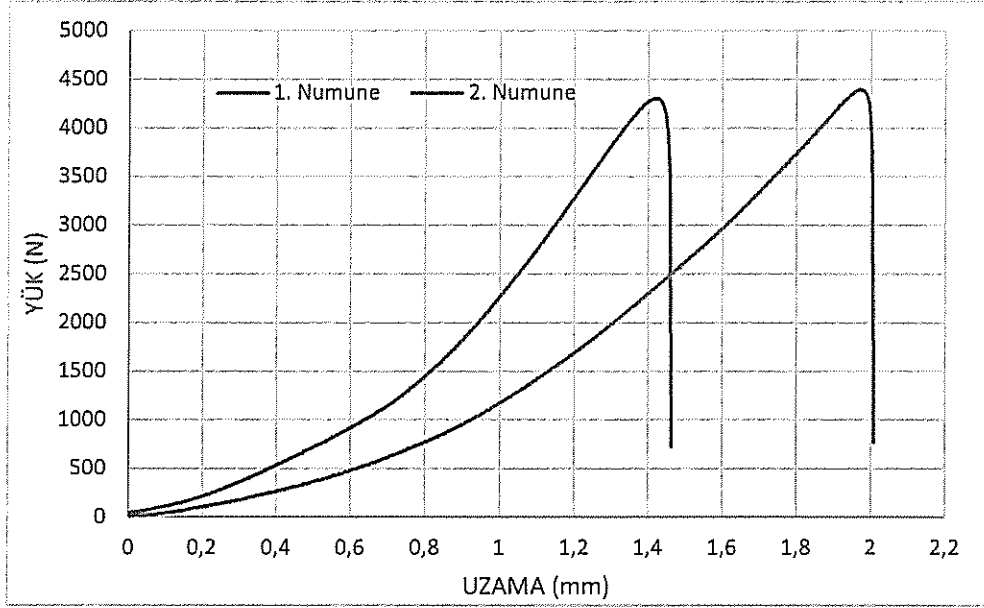


Şekil 3.46 : PBK +50 °C sıcaklıkta basınç grafiği.

%45 oranında polimer reçinesi içeren polimer beton karışımı seçilerek +100 °C sıcaklığa tabi tutulan numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.47’de, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.45’te, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.39’da, basınç dayanımı grafiği Şekil 3.48’de verilmiştir.

Tablo 3.44 : PBK +100 °C sıcaklıktaki eğilme dayanımı sonuçları.

Polimer Beton Karışımı (+100 °C)	Eğilme Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	4304,69	12,11
2	4398,44	12,37
<b>Ortalama</b>	<b>4351,56</b>	<b>12,24</b>

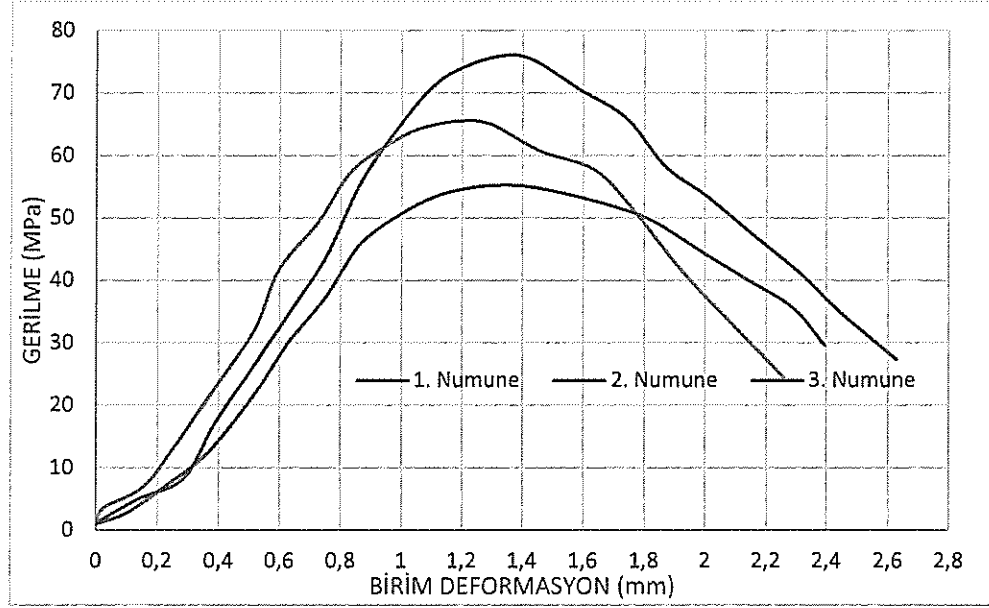


Şekil 3.47 : PBK +100 °C sıcaklıkta eğilme grafiği.

Tablo 3.45 : PBK +100 °C sıcaklıktaki basınç dayanımı sonuçları.

Polimer Beton Karışımı (+100 °C)	Basınç Yüklü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	121440	75,90
2	104848	65,53
3	88352	55,22
<b>Ortalama</b>	<b>104880</b>	<b>65,55</b>

Elde edilen sonuçlara göre polimer betonun +100 °C sıcaklıkta ortalama eğilme dayanımı 12,24 MPa, ortalama basınç dayanımı 65,55 MPa'dır.

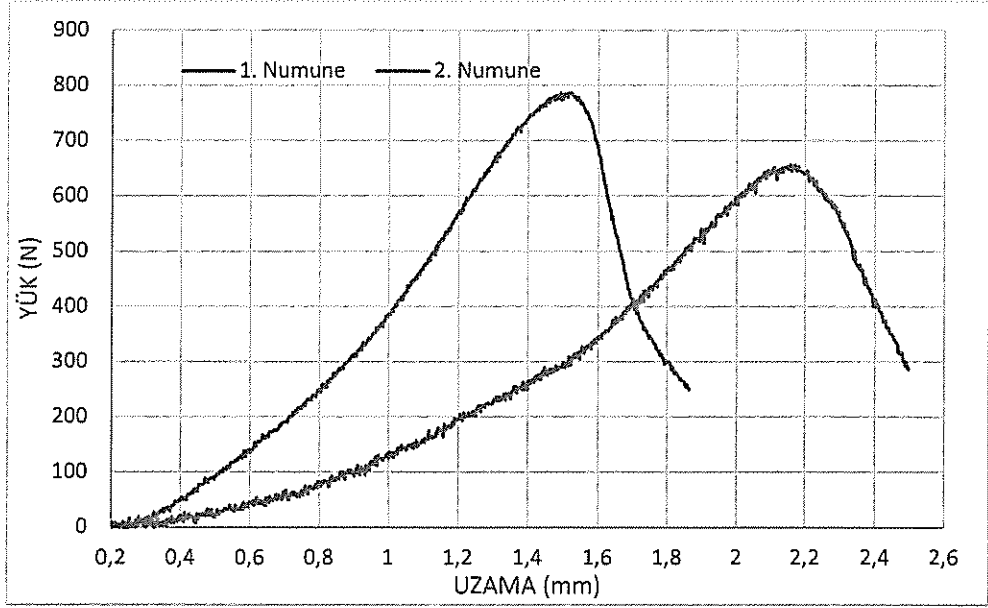


Şekil 3.48 : PBK +100 °C sıcaklıkta basınç grafiği.

%45 oranında polimer reçinesi içeren polimer beton karışımı seçilerek +150 °C sıcaklığa tabi tutulan numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.46’da, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.47’de, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.49’da, basınç dayanımı grafiği Şekil 3.50’de verilmiştir.

Tablo 3.46 : PBK +150 °C sıcaklıktaki eğilme dayanımı sonuçları.

Polimer Beton Karışımı (+150 °C)	Eğilme Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	785,94	2,21
2	656,09	1,85
<b>Ortalama</b>	<b>721,01</b>	<b>2,03</b>

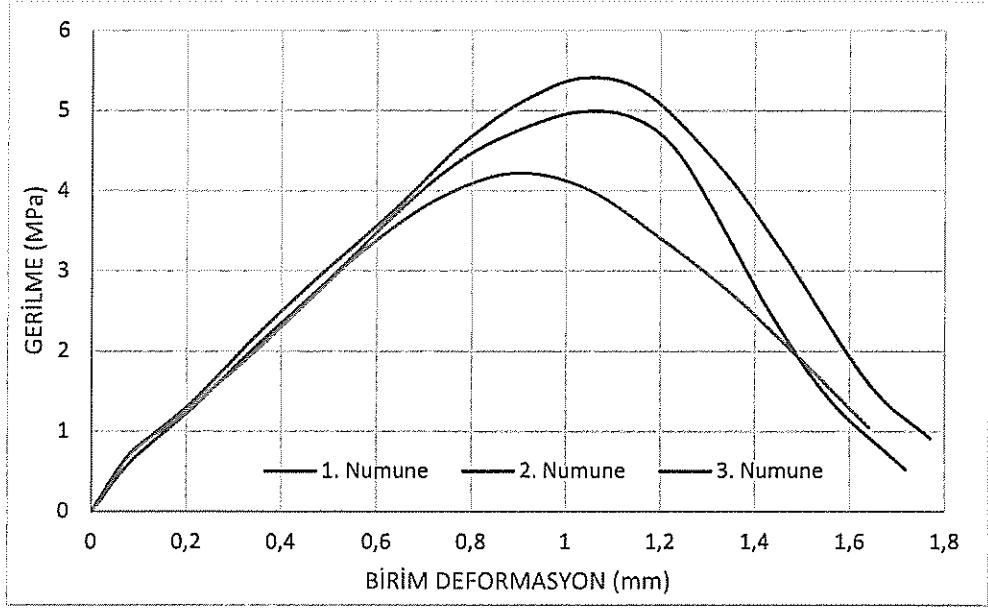


Şekil 3.49 : PBK +150 °C sıcaklıkta polimer beton eğilme grafiği.

Tablo 3.47 : PBK +150 °C sıcaklıktaki basınç dayanımı sonuçları.

Polimer Beton Karışımı (+150 °C)	Basınç Yüğü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	7952	4,97
2	8656	5,41
3	6736	4,21
<b>Ortalama</b>	<b>7781,33</b>	<b>4,86</b>

Elde edilen sonuçlara göre polimer betonun +150 °C sıcaklıkta ortalama eğilme dayanımı 2,03 MPa, ortalama basınç dayanımı 4,86 MPa'dır.

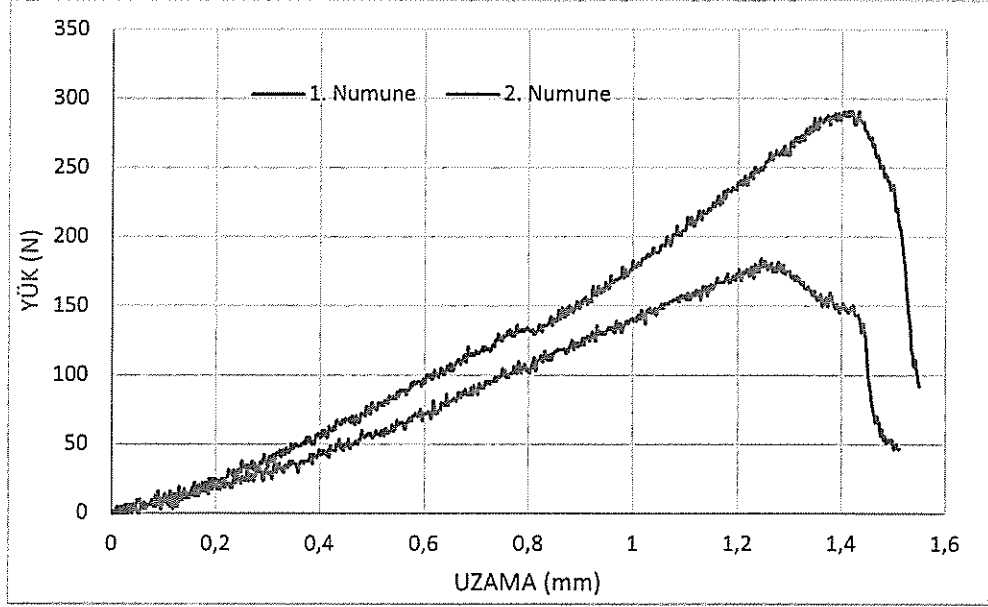


Şekil 3.50 : PBK +150 °C sıcaklıkta basınç grafiği.

%45 oranında polimer reçinesi içeren polimer beton karışımı seçilerek +200 °C sıcaklığa tabi tutulan numunelerin eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.48’de, basınç dayanımı sonuçları Tablo 3.49’da, eğilme dayanımı grafiği Şekil 3.51’de, basınç dayanımı grafiği Şekil 3.52’de verilmiştir.

Tablo 3.48 : PBK +200 °C sıcaklıktaki eğilme dayanımı sonuçları.

Polimer Beton Karışımı (+200 °C)	Eğilme Yüğü (N)	Eğilme Dayanımı (MPa)
1	184,37	0,52
2	290,62	0,82
<b>Ortalama</b>	<b>237,49</b>	<b>0,67</b>

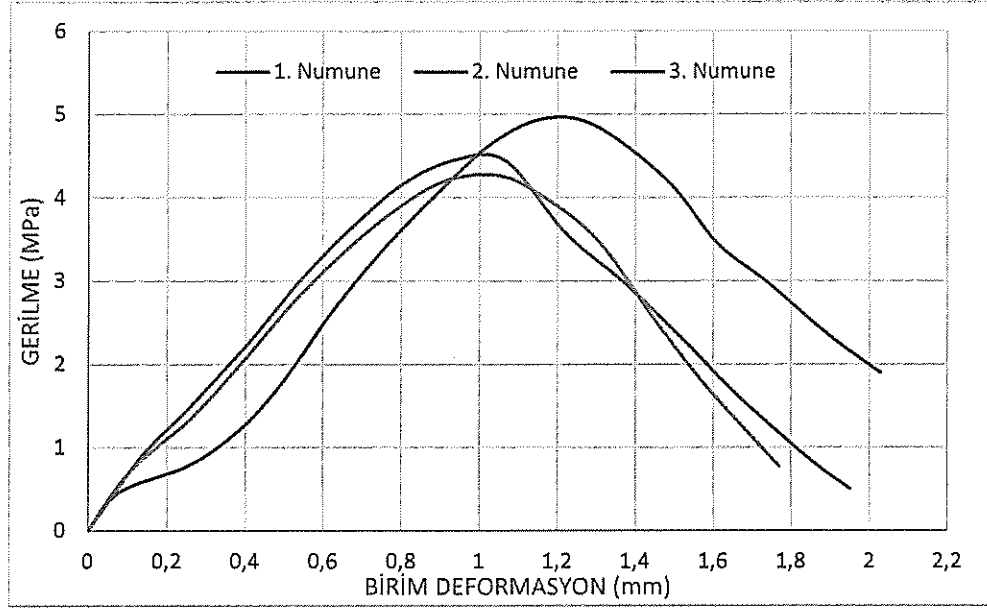


Şekil 3.51 : PBK +200 °C sıcaklıkta eğilme grafiği.

Tablo 3.49 : PBK +200 °C sıcaklıktaki basınç dayanımı sonuçları.

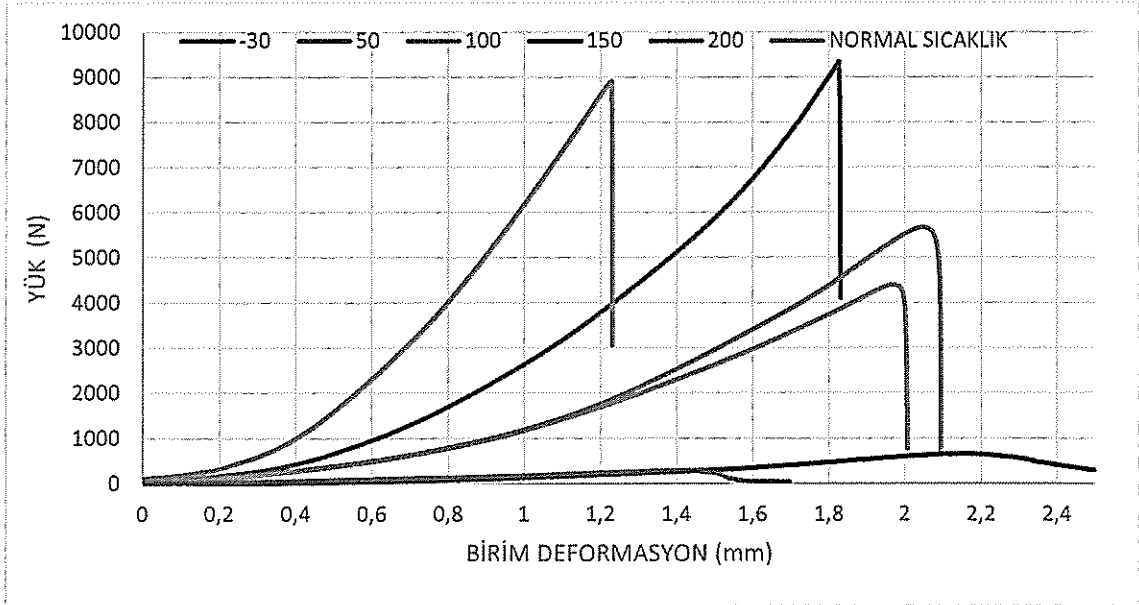
Polimer Beton Karışımı (+200 °C)	Basınç Yüklü (N)	Basınç Dayanımı (MPa)
1	7920	4,95
2	7120	4,45
3	6832	4,27
<b>Ortalama</b>	<b>7290,67</b>	<b>4,56</b>

Elde edilen sonuçlara göre polimer betonun +200 °C sıcaklıkta ortalama eğilme dayanımı 0,67 MPa, ortalama basınç dayanımı 4,56 MPa'dır.



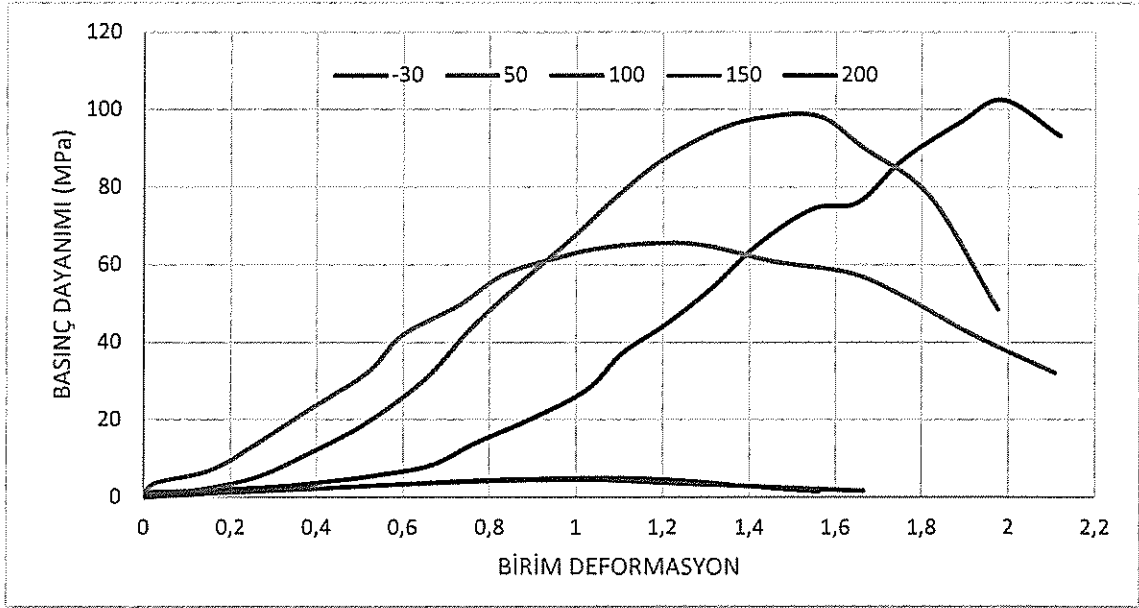
Şekil 3.52 : PBK +200 °C sıcaklıkta basınç grafiği.

Polimer beton numunelerinin sıcaklık etkisi altında eğilme dayanımlarının karşılaştırılması Şekil 3.53'te gösterilmiştir.



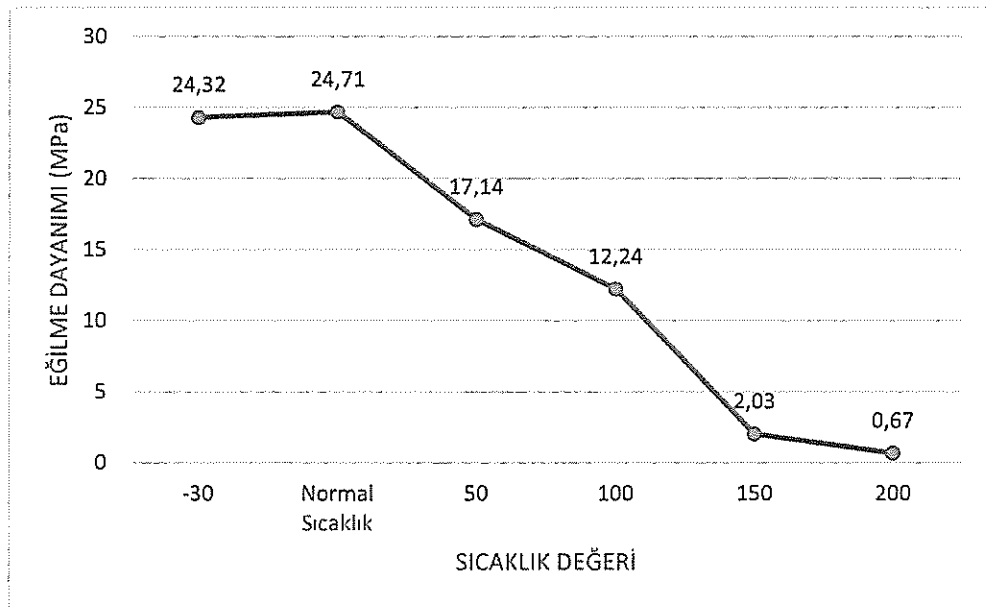
Şekil 3.53 : Sıcaklık etkisinde eğilme dayanımlarının karşılaştırılması.

Polimer beton numunelerinin sıcaklık etkisi altında eğilme dayanımlarının karşılaştırılması Şekil 3.54'te gösterilmiştir.



Şekil 3.54 : Sıcaklık etkisinde basınç dayanımlarının karşılaştırılması.

Sıcaklığın polimer betonun eğilme dayanımına etkisinin deney sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 3.55'te verilmiştir.



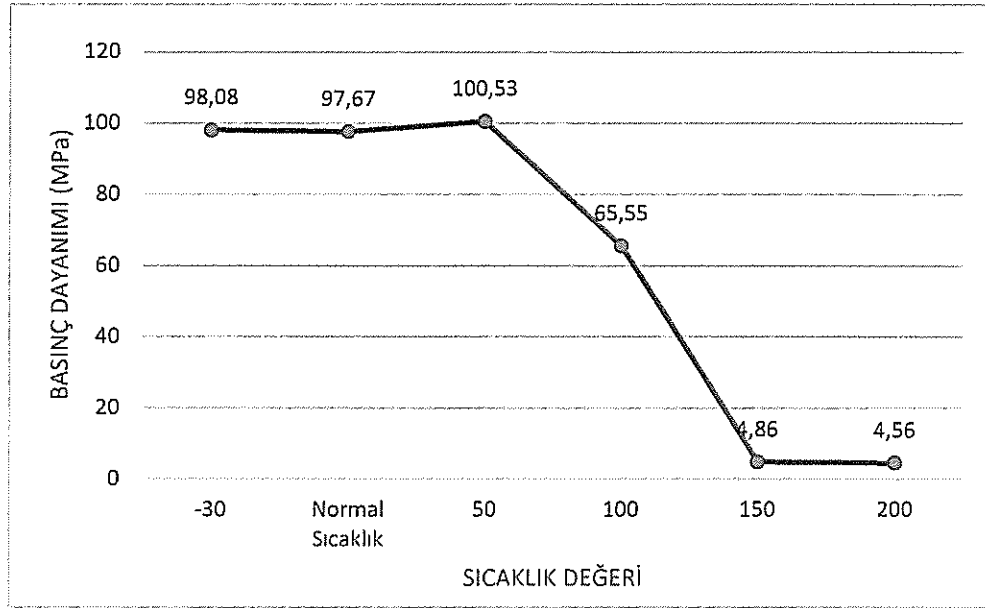
Şekil 3.55 : Sıcaklığın polimer beton eğilme dayanımına etkilerinin karşılaştırılması.

Yapılan deneylerde oda sıcaklığında polimer betonun eğilme dayanımı 24,71 MPa iken sıcaklık -30 °C 'ye düşürüldüğünde polimer betonun dayanımında %1,58 gibi küçük kayıplar meydana gelmektedir. Sıcaklık +50 °C iken %30,64, +100 °C iken



%50,47, +150 °C iken %93,32, +200 °C iken %97,29 gibi ciddi kayıplar olduğu gözlenmiştir.

Sıcaklığın polimer betonun basınç dayanımına etkisinin deney sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 3.56'da verilmiştir.



Şekil 3.56 : Sıcaklığın polimer beton basınç dayanımına etkilerinin karşılaştırılması.

Yapılan deneylerde oda sıcaklığında polimer betonun basınç dayanımı 97,67 MPa iken sıcaklık -30 °C 'ye düşürüldüğünde polimer betonun dayanımında %0,42 oranında artış olmuştur. Sıcaklık +50 °C iken polimer betonun basınç dayanımında %2,85 oranında artış olurken, +100 °C iken %32,88, +150 °C iken %95,02, +200 °C iken %95,33 oranında azalma olmuştur.

### 3.3.9. Aşınmanın etkisi sonuçları

$$\Delta V \text{ (cm}^3/50\text{cm}^2) = \frac{\Delta m \text{ (gr/50 cm}^2)}{\rho \text{ (gr/cm}^3)} \quad (3.3)$$

$$\Delta V = \text{Toplam hacim kaybı (cm}^3/50 \text{ cm}^2)$$

$\Delta m$ = Toplam ağırlık kaybı (gr/50 cm<sup>2</sup>)

P= Numune yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>)

Verilen denklem kullanılarak Arşimet Yöntemi ile polimer beton özgül ağırlığı hesaplanmıştır. Arşimet deneyi için hazırlanan aynı oranda reçine içeren numunelerin ağırlıkları Tablo 3.50’de verilmiştir.

Tablo 3.50 : Polimer beton yoğunluk hesabı.

Karışım Kodu	Kap Havada Ağırlık	Kap Suda Ağırlık	Fark	Yoğunluk
1	476,60	247,70	228,9	2,082
2	487,30	252,90	234,4	2,079
3	488,90	257,00	231,90	2,108
<b>Ortalama</b>				<b>2,089</b>

Polimer beton yoğunluğu 2,089 gr/cm<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

%45 oranında polimer reçinesi içeren polimer beton karışımı seçilerek aşınmaya tabi tutulan ağırlıkça aşınma sonuçları Tablo 3.51’de, hacimce aşınma sonuçları Tablo 3.52’de, ağırlıkça aşınma grafiği Şekil 3.57’de, hacimce aşınma grafiği Şekil 3.58’de verilmiştir.

Tablo 3.51 : Polimer beton ağırlıkça aşınma sonuçları.

Karışım Kodu	Aşınma Öncesi Ağırlık (gr)	Aşınma Sonrası Ağırlık (gr)	Ağırlıkça Aşınma
1	711,58	706,02	%0,770
2	673,85	669,63	%0,626
3	698,54	694,82	%0,533
<b>Ortalama</b>	<b>694,66</b>	<b>690,16</b>	<b>%0,643</b>

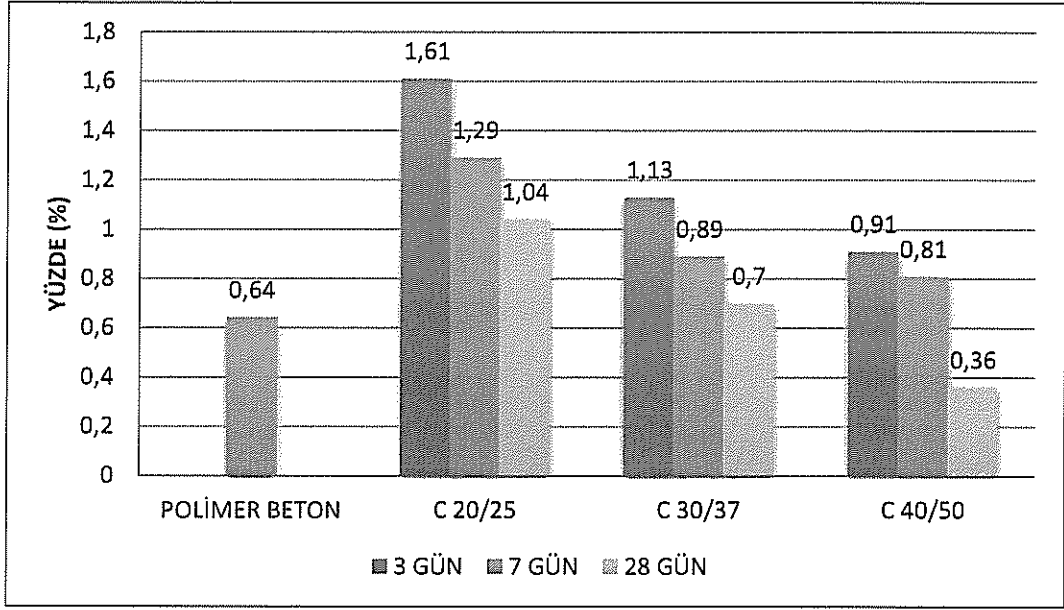
Tablo 3.52 : Polimer beton hacimce aşınma sonuçları.

Karışım Kodu	Aşınma Öncesi Hacim (cm <sup>3</sup> )	Aşınma Sonrası Hacim (cm <sup>3</sup> )	Toplam Hacim Kaybı (cm <sup>3</sup> )	Hacimce Aşınma
1	358,17	355,51	2,66	%0,743
2	341,16	339,14	2,02	%0,592
3	353,08	351,30	1,78	%0,504
<b>Ortalama</b>	<b>350,80</b>	<b>348,65</b>	<b>2,15</b>	<b>%0,613</b>

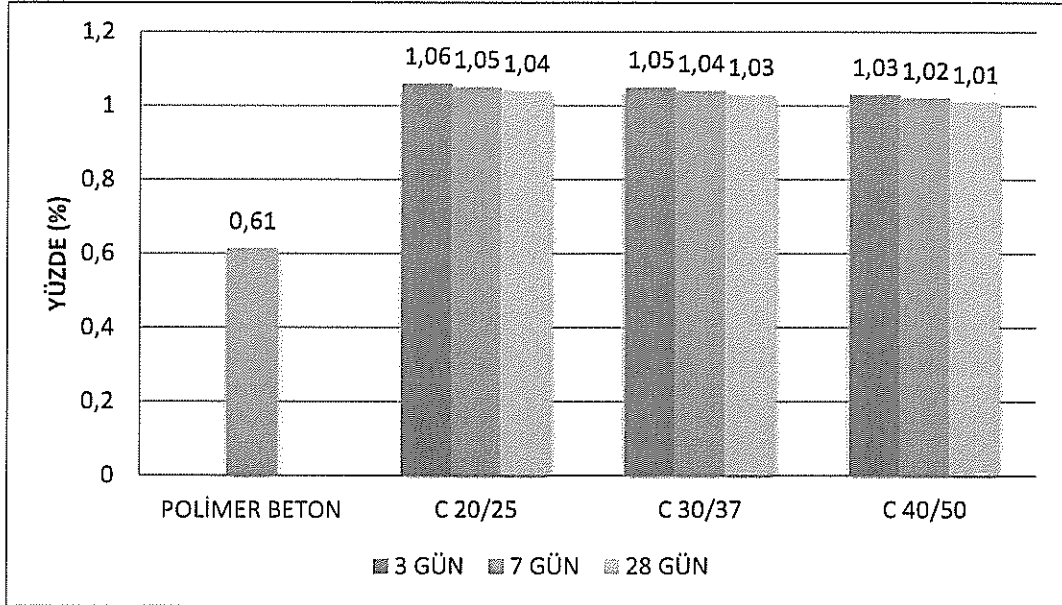
Polimer beton ve normal beton aşınma değerlerinin karşılaştırılması Tablo 3.53'de verilmiştir.

Tablo 3.53 : Polimer beton ve normal beton aşınma değerlerinin karşılaştırılması (Tübitak destekli projeden alınmıştır).

BETON CİNSİ	AĞIRLIKÇA AŞINMA	HACİMCE AŞINMA	
C20/25 (3 GÜNLÜK)	%1,605	%1,056	
C20/25 (7 GÜNLÜK)	%1,292	%1,046	*
C20/25 (28 GÜNLÜK)	%1,038	%1,038	
C30/37 (3 GÜNLÜK)	%1,126	%1,041	
C30/37 (7 GÜNLÜK)	%0,893	%1,035	*
C30/37 (28 GÜNLÜK)	%0,696	%1,028	
C40/50 (3 GÜNLÜK)	%0,905	%1,031	
C40/50 (7 GÜNLÜK)	%0,810	%1,022	*
C40/50 (28 GÜNLÜK)	%0,355	%1,014	
POLİMER BETON (7 GÜNLÜK)	%0,643	%0,613	*



Şekil 3.57 : Polimer beton ve normal betonun ağırlıkça aşınma sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 3.58 : Polimer beton ve normal betonun hacimce aşınma sonuçlarının karşılaştırılması.

Elde edilen sonuçlara göre polimer betonun ağırlıkça aşınmasının %0,643, hacimce aşınmasının %0,613 olduğu görülmüştür. Polimer betonun ağırlıkça aşınması, geleneksel betonun ağırlıkça aşınması ile kıyaslandığında C30/37 betonunun 28

günlük dayanımına yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Polimer betonun hacimce aşınması, geleneksel betonun hacimce aşınması ile kıyaslandığında tüm geleneksel beton türlerinden daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

## BÖLÜM 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

- Yalın polimer reçinesi ile hazırlanan numunelerde, eğilme dayanımı 69.47 MPa, basınç dayanımı 97.78 MPa olarak bulunmuştur.
- Polimer beton karışımında kullanılan agregadaki nemin etkisi incelenmiş ve etüv kurusu kum ile hazırlanan numunelerin doğal nemli kum ile hazırlanan numunelere göre eğilme dayanımının %56,06 daha yüksek dayanım değerleri verdiği bulunmuştur.
- Polimer beton karışımında kullanılan agregadaki yabancı maddelerin etkisi incelenmiş ve yıkanmış etüv kurusu kum ile hazırlanan numunelerin yıkanmamış etüv kurusu kum ile hazırlanan numunelere göre eğilme dayanımının %28,81, basınç dayanımının %1,65 oranında daha yüksek dayanım değerleri verdiği bulunmuştur.
- Polimer beton karışımında kullanılan agreganın tane büyüklüğünün etkisi incelenmiş ve  $d_{max}=4$  mm kum ile hazırlanan numunelerin mıcır ile hazırlanan numunelere göre eğilme dayanımının %52,11, basınç dayanımının %27,16 daha yüksek dayanım değerleri verdiği bulunmuştur.
- Polimer beton karışımında reçine oranının dayanıma etkisi incelenmiş ve hacimce %45 polimer reçinesi ile hazırlanan numunelerin daha yüksek dayanım değerleri verdiği bulunmuştur.
- Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında cam lifi takviyeli polimer betonların dayanımında azalma gözlenmiştir. Bunun sebebinin cam lifinin polimer betona homojen şekilde dağılmaması olduğu düşünülmektedir.

- Polimer beton dayanımına mermer tozunun etkisini araştırmak amacıyla agrega miktarının ağırlıkça %5, %10 ve %15'i oranında mermer tozu takviyeli numuneler hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında mermer tozu takviyeli polimer betonların dayanımında azalma gözlenmiştir. Bunun sebebinin mermer tozunun ince madde olması ve polimer beton için uygun olan granölometriyi bozduğu düşünölmektedir.

- Polimer beton dayanımına sıcaklığın etkisini araştırmak amacıyla aynı standartlarda üretilen polimer beton numuneleri -30 °C, +50 °C, +100 °C, +150 °C, ve +200 °C sıcaklıklara tabi tutulmuştur. Oda sıcaklığına göre -30 °C sıcaklıkta polimer beton numunelerin dayanımlarında çok fazla kayıp yaşanmazken, sıcaklık artışı ile beraber dayanımlarda büyük kayıplar meydana gelmektedir. En iyi dayanım sonuçları oda sıcaklığında alınırken, en düşük dayanım sonuçları +200 °C sıcaklıkta alınmıştır.

- Polimer betonun aşınmaya direncini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde ağırlıkça aşınmanın %0,643, hacimce aşınmanın %0,613 olduğu görölmüştür. Polimer betonun ağırlıkça aşınması, geleneksel betonun ağırlıkça aşınması ile kıyaslandığında C30/37 betonunun 28 günlük dayanımına yakın sonuçlar verdiği görölmüştür. Polimer betonun hacimce aşınması, geleneksel betonun hacimce aşınması ile kıyaslandığında tüm geleneksel beton türlerinden daha iyi sonuç verdiği görölmüştür.

- Yapılan bu çalışmaya ilave olarak farklı lif eşitleri kullanılabilir, farklı oranlarda granölo edilmiş mermer kullanılarak polimer betonun mekanik özellikleri incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- ACI (1993). *Manual of Concrete Practice*, Part-5
- Akar A. (1991). *Polimer Kimyasına Giriş*, İstanbul.
- Akkovalı D. (1993). *Polimer Ders Notları*, ODTÜ, Ankara.
- Akman M.S. (1990). *Yapı Malzemeleri*, 2.Baskı, İTÜ, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Akman S. (1987). *Yapı Malzemesi Bilimi*, İTÜ İstanbul.
- Baysal B. (1981). *Polimer Kimyası Cilt 1 Polimerizasyon Reaksiyonu*, İTÜ ve ODTÜ, Ankara.
- D.W., Fowler (1995). *Applications of Polymer Concrete*, Department of Civil Engineering, The University of Texas at Austin, USA, 8th. Congress ICPC Oostende Belgium.
- Dikeou ve Fowler, (1981). Dikeo James T. and David W. Fowler, *Polymer Concrete for Overlays and Precast Components*; Canner/ACI International Workshop on Advabces in Concrete Technology.
- Dikeou ve Fowler (1990). *Polymer Concrete for Overlays and Precast Components*, Canner/ACI International Workshop on Advabces in Concrete Technology.
- Hollaway L. (1993). *Polymer and Polymer Composites for Civil and Structural Engineering*, Blackie Acedemic and Professionel, Glasgow.
- Kaya F. (1983). *Plastik Katkı Maddeleri ve İşleme Metodları*, Yarımcı.
- Ohama Y. (1995). *New Developments and Environmental Issues in Concrete Polymers Composites*, 8th ICPC Ooestende-Belgium.
- Pişkin A. (2010). *Polimer Beton Üretiminde Cam Tozu Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, (Yüksek Lisans Tezi), SAÜ, Sakarya.
- Rebeiz ve Fowler, (1991). Fowler, (2004).



- Sönmez M. (2009). *Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi Ve Geleceği: Türkiye'den Dört Örnek Firma Üzerinde Bir İnceleme*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Young R.J. (1981). *Introduction to Polymers*, Chapman & Hall, London.

## ÖZGEÇMİŞ

Yeşim Berberoğlu,17/09/1991'de Antalya'da doğdu. İlkokul eğitimini Diyarbakır, Afyonkarahisar, Batman ve Antalya'da, ortaokul eğitimini Antalya ve Şanlıurfa'da, lise eğitimini Şanlıurfa'da tamamladı. 2009 yılında Özel Birikim Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2015 yılında bitirdi. 2016 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda öğrenimine devam etmektedir.