

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

**CAM LİFİ VE CAM TOZUNUN POLİMER BETONLARIN  
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yüksel Furkan YILDIRIM**

**Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet SARIBIYIK**

**Mayıs 2019**

T.C.  
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

CAM LİFİ VE CAM TOZUNUN POLİMER BETONLARIN MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yüksel Furkan YILDIRIM

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 16/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

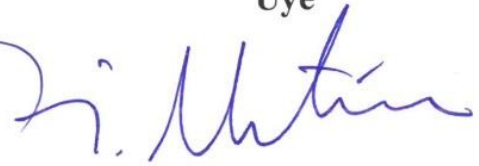
Prof. Dr.  
Mehmet SARIBIYIK  
Jüri Başkanı



Prof. Dr.  
Kemalettin YILMAZ  
Üye



Prof. Dr.  
Metin İPEK  
Üye



## **BEYAN**

Tez içerisindeki bütün bilgilerin akademik etik kuralları çerçevesinde tarafımdan elde edilerek görsel ve yazılı tüm bilgi ve bulunan sonuçların akademik ve etik kurallarına uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan bilgilerde herhangi bir şekilde aslının bozulmadığını, başkalarının eserlerinden faydalanılması durumunda bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan bilgilerin bu üniversite veya herhangi bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Yüksel Furkan YILDIRIM

10/06/2019

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans eğitimi süresinde değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, araştırma ve tüm aşamalarda yardımlarını esirgemeyen, aynı titizlikle beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Mehmet SARIBIYIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuar imkanları konusunda yardımlarını esirgemeyen Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Metin İPEK'e ve bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım sayın hocam Doç. Dr. Ferhat AYDIN'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalar esnasında ve yardıma ihtiyaç duyduğum her konuda maddi, manevi yardımcı olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ .....	vii
ÖZET .....	x
SUMMARY .....	xi
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. POLİMERLER .....	5
2.1. Polimerler .....	5
2.2. Polimerlerin Sınıflandırılması.....	7
2.2.1. Termoplastikler .....	7
2.2.2. Termoset plastikler .....	9
2.2.2.1. Epoksi .....	9
2.2.2.2. Polyesterler .....	10
2.3. Polimerizasyon .....	10
2.4. Polimerlerin Özellikleri.....	11
2.4.1. Yüksek sıcaklığa dayanım ve ısı denge.....	12
2.4.2. Kimyasal dayanıklılık .....	12
2.4.3. Oksidasyon süreci .....	12
2.4.4. .....	Geçirgenlik 13
.....	
BÖLÜM 3. POLİMER BETONLAR .....	14
.....	
3.1. Polimer Beton Ürünlerinin İmalat .....	14
Teknolojisi.....	

3.1.1.		Kalıplar	15
.....			
3.1.2.	Polimer betonun yoğunlaştırılması.....		15
3.2.	Polimer Beton Türleri .....		15
3.2.1.	Polimer portland çimento betonları (Ppcc) .....		16
3.2.2.	Polimer emdirme betonları .....		17
3.2.3.	Polimer beton ve harçları (Pc)		18
.....			
3.3.	Polimer Betonun Yaygın Olarak Kullanım Alanları.....		20
3.3.1.		Onarım	20
.....			
3.3.2.	Prekast polimer betonlar		21
.....			
3.3.3.		Yollar	21
.....			
BÖLÜM	4.	LİFLİ	BETONLAR
.....			
4.1.	Lif Takviyeli Betonlar .....		22
4.2.	Lif	Çeşitleri	24
.....			
4.2.1.	Doğal	lifler	24
.....			
4.2.2.	Sentetik lifler .....		25
4.2.3.	Çelik	Lifler	25
.....			
4.2.4.	Polimer	Lifler	25
.....			
4.2.5	Cam Lifler .....		26
4.2.5.1.	Cam lifinin	avantajları	27
.....			
4.3.	Lif özelliklerinin Kompozit Malzemeye Etkisi .....		27
4.3.1.	Lif Geometrisinin etkisi.....		27

4.3.2. Lif boyunun etkisi .....	28
4.3.3. Lif narinliğini ve lif yüzdesi etkileri.....	29
4.4. Cam Lifi Takviyeli Kompozitlerin Özellikleri .....	29
4.5. Lifli Kompozitlerin Kullanım Alanları .....	29
4.6. Lif Takviyeli Polimer Beton .....	30
<b>BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>31</b>
5.1. Amaç ve Kapsam .....	31
.....	
5.2. Malzemeler ve Özellikleri .....	31
5.2.1. Polyester Reçinesi .....	32
5.2.2. Agregalar .....	34
5.2.2.1 Kuvars Agregası .....	34
5.2.2.2 Cam Tozu .....	35
5.2.2.3 Cam Lifi .....	36
5.3. Karışım Hesapları .....	38
5.3.1. Karışım kodları ve açıklamaları .....	38
5.4. Birinci Grup Deneylere Ait Karışım Kodları ve İçeriği .....	38
.....	
5.5. Sertleşmiş Beton Deneyleri .....	39
.....	
5.5.1. Eğilme Deneyi .....	39
.....	
5.5.2. Basınç Deneyi .....	41
.....	
5.5.3. Birim Hacim Ağırlık Deneyi .....	42
5.5.4. Su Emme Miktarı .....	44
5.5.5. Porozite .....	45
5.5.6. Komposite .....	46
5.5.7. Maliyet Analizleri .....	47
.....	
5.6. İkinci Grup Deneylere Ait Karışım Kodları ve İçeriği .....	47
5.7. Sertleşmiş Beton Deneyleri .....	48

5.7.1.	Eğilme	Deneyi	48			
.....						
5.7.2.	Basınç Deneyi		50			
5.7.3.	Birim	Hacim	Ağırlık	Deneyi	51	
.....						
5.7.4	Su Emme Miktarı				52	
5.7.5				Porozite	53	
.....						
5.7.6				Kompasite	53	
.....						
5.7.7	Maliyet			Analizleri	54	
.....						
5.8	Üçüncü Grup Deneylere Ait Karışım Kodları ve İçeriği				55	
5.9	Sertleşmiş Beton Deneyleri				55	
5.9.1	Eğilme Deneyi				56	
5.9.2	Basınç Deneyi				57	
5.9.3	Birim	Hacim		Ağırlık	57	
Deneyi	.....					
5.9.4.	Su Emme Miktarı				58	
5.9.5.	Porozite				58	
5.9.6.	Kompasite				58	
5.9.7.	Maliyet			Analizleri	59	
.....						
BÖLÜM	6.	SONUÇ	VE	ÖNERİLER	60	
.....						
KAYNAKLAR	.....					63
ÖZGEÇMİŞ	.....					66

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ



C : Karbon  
H : Hidrojen  
OH : Hidroksil  
COOH: Karboksil  
N<sub>2</sub> : Azot  
T<sub>a</sub> : Kristal erime noktası  
T<sub>g</sub> : Camsı geçiş sıcaklığı  
PC : Polimer beton  
PCC : Polimer portland çimentolu beton  
PIC : Polimer emdirilmiş beton  
POM : Asetal  
PMMA: Akrilik  
ABS : Akronitril-butadiene-streyn  
PTFE : Politetra flourethylene  
PA : Poliamids  
PET : Polyesterler  
PE : Polietilen  
PP : Polipropilen  
PVC : Polivinilklorür  
 $\eta$  : Viskozluk  
 $\phi$  : Akıcılık  
SV-6 : Polivaks  
P : Her elekten % geçen  
d : Elek göz açıklığı  
D : En büyük tane iriliği

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	2.1.	Polimerlerin	yapısı	6
.....				
Şekil	2.2.	Termoplastik	polimer zinciri	8
.....				
Şekil	2.3.	Termoset	polimer zinciri	9
.....				
Şekil	2.4.	Etilenin	polimerizasyon	10
başlangıcı.....				
Şekil	2.5.	Etilen	polimerizasyonun	sona 11
ermesi.....				
Şekil	3.1.	Polimerin	betonda üç	ayrı 16
kullanımı.....				
Şekil	3.2.	Polimer	harcı ile yollardaki	çatlakların 21
onarılması.....				
Şekil	3.3.	Polimer malzeme	ile kaplanan fabrika	sahası ve stadyum 21
.....				
Şekil	4.1.	Lifli	beton	numunesi 23
.....				
Şekil	4.2.		Cam	lifi 26
.....				
Şekil	4.3.		Çelik	lif 28
geometrileri.....				
Şekil	5.1		Kuvars	Agregası 32
.....				
Şekil	5.2.		Kalıp	Ayırıcı 33
.....				
Şekil	5.3.		Cam	Tozu 36
.....				

Şekil	5.4.	Cam	Lifi	37
.....				37
Şekil	5.5.	Polimer	Beton	38
Numuneleri.....				40
Şekil	5.6.	Prizmatik	Numune	Kalıpları
.....				41
Şekil	5.7.	Eğilme	Deneyi	41
.....				42
Şekil 5.8.	Birinci grup deneylerin ortalama eğilme dayanımları .....			43
Şekil 5.9.	Cam lifli ikameli beton numunelerinin eğilme grafikleri .....			44
Şekil 5.10.	Basınç Deneyi .....			45
Şekil 5.11.	Birinci grup deneylerin ortalama basınç dayanımları .....			46
.....				47
Şekil 5.12.	Polimer	Betonların	Birim	Hacim
.....				Ağırlıkları
.....				49
Şekil 5.13.	Üretilen	Polimer	Betonların	Su
.....				Emme
.....				Miktarları
.....				50
.....				51
Şekil 5.14.	Üretilen Polimer Betonların Porozite Miktarları .....			52
Şekil 5.15.	Üretilen Polimer Betonların Kompasite Miktarları .....			53
Şekil 5.16.	Birinci	Grup	Deneylerin	Maliyet
.....				Analizleri
.....				54
Şekil 5.17.	İkinci	Grup	Deneylerin	Ortalama
.....				Eğilme
.....				Dayanımları
.....				56
Şekil 5.18.	İkinci	Grup	Deneylerin	Eğilme
.....				Grafikleri
.....				57
Şekil 5.19.	İkinci Grup Deneylerin Ortalama Basınç Dayanımları .....			
Şekil 5.20.	İkinci grup deneyde üretilen polimer betonların birim hacim ağırlıkları..			
Şekil 5.21	İkinci	Grup	Numunelerin	Su
.....				Emme
.....				Miktarları
.....				
Şekil 5.22.	İkinci	grup	numunelerin	porozite
.....				miktarları
.....				
Şekil 5.23.	İkinci	Grup	Numunelerin	Porozite
.....				Miktarları

.....  
Şekil 5.24. İkinci Grup Deneilerin Maliyet Analizleri

.....  
Şekil 5.25.Üçüncü Gruba Ait Numunenin Eğilme Dayanımının Referans Numunesiyle Karşılaştırılması .....

Şekil 5.26. Üçüncü Gruba Ait Numunenin Basınç Dayanımının Referans Numunesiyle Karşılaştırılması .....



## TABLolar LİSTESİ

Tablo	3.1.	Polimer	Betonların	Özellikleri	19	
.....						
Tablo 4.1.	Lif Çeşitleri ve Özellikleri .....				24	
Tablo 4.2.	Çelik Liflere Ait Özellikler .....				25	
Tablo 4.3.	Cam Lifi Türleri ve Özellikleri .....				27	
Tablo 5.1.	Polyester reçinesine ait özellikler.....				33	
Tablo 5.2.	Sertleştirici özellikleri.....				33	
Tablo 5.3.	Kalıp ayırıcının özellikleri.....				34	
Tablo 5.4.	Kuars agregası ve cam tozuna ait elek analizi.....				34	
Tablo	5.5.	Kuars	agregasına	ait kimyasal ve fiziksel	35	
		özellikler.....				
Tablo	5.6.	Cam	tozuna	ait	35	
		özellikler.....				
Tablo	5.7.	Cam	tozu	kimyasal	36	
		bileşenleri.....				
Tablo	5.8.	Cam		lifinin	36	
		özellikleri.....				
Tablo 5.9.	1 m3 Polimer betonunda kullanılan kuvars agregası ve cam lifinin kendi aralarındaki dağılım oranları.....				39	
Tablo 5.10.	1	m3	Polimer	betonu için gerekli malzeme	39	
		ağırlıkları.....				
Tablo 5.11.	Kuars	agregası	ile	üretile	betonların eğilme	40
		dayanımı.....				
Tablo 5.12.	Kuars agregası ve cam lifi ile üretilen betonların basınç dayanımları...				42	
Tablo 5.13.	Üretilen polimer betonların birim hacim ağırlıkları				43	
.....						

Tablo 5.14. Üretilen polimer betonların su emme miktarları .....	44
Tablo 5.15. Üretilen polimer betonların porozite miktarları.....	45
Tablo 5.16. Üretilen polimer betonların kompasite miktarları.....	46
Tablo 5.17. Birinci grup deneylerde 1 m3 beton için gereken maliyetler .....	46
Tablo 5.18. 1 m3 Polimer betonunda kullanılan kuvars agregası ve cam tozunun kendi aralarındaki dağılımları.....	47
Tablo 5.19. 1 m3 Polimer betonu için gerekli karışım ağırlıkları.....	47
Tablo 5.20. Kuvars agregası ve cam tozu ile üretilen betonların eğilme dayanımı.....	48
Tablo 5.21. Kuvars agregası ve cam tozu ile birlikte üretilen betonların basınç dayanımları.....	50
Tablo 5.22. İkinci grup deneyde üretilen polimer betonların birim hacim ağırlıkları	51
Tablo 5.23. İkinci grup numunelerin su emme miktarları.....	52
Tablo 5.24. İkinci grup numunelerin porozite miktarları .....	53
Tablo 5.25. Üretilen polimer betonların kompasite miktarları	53
.....	
Tablo 5.26. İkinci grup deneylerde 1 m3 beton için gereken maliyetler .....	54
Tablo 5.27. 1 m3 Polimer betonda kullanılan kuvars agregası, cam lifi ve cam tozunun kendi aralarındaki dağılımları .....	55
Tablo 5.28. 1 m3 polimer beton için gereken ağırlıkça karışım oranları .....	55
Tablo 5.29. Üçüncü grup deneylere ait eğilme miktarları .....	56
Tablo 5.30. Üçüncü grup deneylere ait basınç miktarları .....	56
Tablo 5.31. Üçüncü grup deneyde üretilen polimer betonların birim hacim ağırlıkları	57
Tablo 5.32. İkinci grup numunelerin su emme miktarları .....	57
Tablo 5.33. İkinci grup numunelerin porozite miktarları	57
.....	
Tablo 5.34. Üretilen polimer betonların kompasite miktarları	57
.....	
Tablo 5.35. Üçüncü grup numunelere ait maliyet analizi	57
.....	



# CAM LİFİ VE CAM TOZUNUN POLİMER BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

## ÖZET

Günümüzde birçok alanda kullanılan polimerler, inşaat sektöründe yaygın olarak yer almaktadır. İnşaat sektöründe polimerler, mevcut malzemelerin onarımı ve iyileştirilmesinde kullanılabilirdiği gibi ana taşıyıcı malzemenin üretilmesinde de kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında cam lifi ve cam tozunun polimer betona aynı hacimlerde ikame edilerek, polimer betonun mekanik dayanımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla %0,1, %0,5, %1 oranında cam lifi ve cam tozu ikame edilmiştir. Cam lifi ve cam tozu ise uygun şartlarda ve hacimde kullanıldığında, geleneksel betonda ve yapı elemanlarında eğilme ve basınç dayanımlarını artırma özelliğine sahip bir malzemedir. Cam lifi ve cam tozu katkılı betonların, katkı oranlarına bağlı olarak eğilme ve basınç dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir. Fiziksel özellikler açısından, birim hacim ağırlığın katkı madde oranlarına bağlı olarak arttığı görülmüştür. Numunelerde su emme miktarının oldukça düşük çıkması su emmeyen malzemelerden oluştuğunu göstermiştir. Suyu az emmesinin sebebi olarak numunelerde boşluk değerinin polimer betonun su emmeyen malzeme olmasından buna bağlı olarak numunede doluluk değerinin neredeyse bire yakın çıkması olarak yorumlanmıştır. Üretilen gruplara ait maliyet analizlerine bakıldığında polimer betonların normal betonlara göre daha maliyetli çıktığı söylenebilir. Deney sonuçları genelinde katkı kullanılan numunelerde, referans numuneye göre iyi sonuçlara ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Polimer, polyester reçine, polimer beton, cam tozu, cam lifi



# **INVESTIGATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOUR OF POLYMER CONCRETE CONTAINING GLASS FIBERS AND GLASS POWDER**

## **SUMMARY**

Polymers used in many fields today are widely used in the construction industry. In the construction sector, polymers can be used to repair and improve existing materials, as well as to produce the main carrier material. In this study, the effects of glass fiber and glass powder on the mechanical strength of polymer concrete were investigated by substituting the same volumes for polymer concrete. For this purpose, 0.1%, 0.5%, 1% glass fiber and glass powder were substituted. Glass fiber and glass powder, when used in appropriate conditions and volume, is a material that increases the bending and compressive strength of conventional concrete and structural elements. It has been observed that bending and compressive strengths of glass fiber and glass powder doped concretes increase due to their contribution rates. In terms of physical properties, it was seen that unit volume weight increased depending on additive ratios. The fact that the amount of water absorption in the samples was quite low showed that it was composed of non-water-absorbing materials. The reason why it absorbs less water is interpreted as the void value in the samples is the fact that polymer concrete is non-water absorbing material and therefore the filling value in the sample is almost close to one. When the cost analysis of the produced groups is examined, it can be said that polymer concrete is more costly than normal concrete. Good results were obtained in the samples that used additives throughout the test results compared to the reference sample.

**KeyWords:** Polymer, polyester resin, polymer concrete glass powder, glass fiber quartz aggregate

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Günümüz yapılarında kullanılan malzemeler emniyet, estetik ve ekonomik açıdan kullanılabilirliği ile değerlendirilmektedir. Bu malzemeler dışarıdan gelecek etkenlere karşı dayanımı yüksek, herhangi bir olumsuz etki karşısında ise dayanım gösterip, deformasyona uğramamalı veya minimum deformasyona uğramalıdır. Malzemelerin dayanıklılık değerleri, yük altında uğradığı deformasyona orantılıdır. Bu nedenle yüksek mukavemetli malzemeler seçilerek yapılarda istenen dayanım elde edilmelidir.

Günümüzde malzemelerin tek başına dayanımı, yük altında uğradıkları deformasyonlarını daha iyi bir seviyeye çıkarabilmek için iki veya daha çok malzeme bir araya getirilerek yeni bir malzeme üretilmektedir. İki veya daha çok miktarda malzemenin, üstün özelliklerini bir malzeme toplamak veya yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmeleri ile meydana gelen malzemeler, kompozit malzeme olarak adlandırılır. Kompozit malzemeler yapay ve çok yönlü malzemelerdir. Bu malzemelerin diğer ürünlere kıyasla geleneksel malzemelerden avantajı, bileşenlerinin en ideal özelliklerinin bir araya getirilmesidir. Yorulma dayanımı, korozyon dayanımı, yüksek sıcaklık özellikleri, ısı iletkenlik, ağırlık, mukavemet, estetik ve maliyet gibi özelliklerden herhangi biri veya bir kaç tanesi kompozit malzemenin üretilmesiyle iyileştirilebilmektedir.

Bir malzemenin kompozit malzeme olabilmesi için;

- İnsan yapısı olması, dolayısıyla doğal bir malzeme olmaması,
- Farklı malzemenin üç boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması,
- Bileşenlerinin hiç birinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması dolayısı ile bu amaçla üretilmiş olması gerekmektedir.

Polimerler, monomer ismi verilen kimyasal ünitelerin birleşmesiyle oluşan, zincir şeklinde bir yapıya sahip sentetik malzemelerdir. Doğada hali hazırda var olan bu malzemelerin başlıcaları; kömür, ham petrol, su, hava ve kireçtir [1]. Yapay olarak da elde edilebilen organik polimerik malzemeler ise plastikler, elastomerler ve fiberlerdir. Polimerler; yapay polimerler ve doğal polimerler olarak iki gruba ayrılır;

-Yapay Polimerler (plastikler)

-Doğal Polimerler (selüloz, doğal kauçuk vb.)

Plastikler amorf halde bulunmaktadırlar. Bu nedenle, karışım uzun zincirlerin birbirlerine uyum sağlayarak düzenli bir yapı içerisinde olmaları oldukça zordur. Amorf yapı, ana yapı içinde bulunan küçük bölge şeklinde oldukları için kristalit olarak isimlendirilmektedir [2].

Plastik malzemelerin yoğunlukları 0,85 – 2,5 g/cm<sup>3</sup> arasındadır. Bu sebeple hafifliğin önemli olduğu alanlarda plastikler kullanılmaktadır. Plastikler sertlik, yumuşaklık ve kırılabilirlik gibi mekanik özelliklere sahip maddelerdir. Seramik ve metal gibi malzemeler dış etkilere karşı daha hassastırlar. Plastik malzemelerin özellikleri arasında uzama, çekme ve kopma dayanımlarının yüksek olması plastiklerin en önemli özellikleridir. Sıcaklık, plastiklerin özelliklerine en çok etki eden etkenlerden biridir [3]. Plastiklerin ısı iletimi düşüktür, bunun avantajı yalıtım malzemesi olarak kullanılabilmesidir. Fakat ısı iletiminin düşük olması sebebiyle sürtünme ve tekrarlanan gerilmelerin neden olduğu sıcaklığın artması plastik içerisinde ısı birikimine neden olmaktadır. Bu durum neticesinde ısıl yorulma meydana gelir. Isıl yorulmayı azaltabilmek için kullanılan katkı maddeleri metal tozlar veya çeşitli elyaflardır. Plastik dışında diğer maddelerde sıcaklıktan etkilenirler, fakat plastik malzemelerin etkilendikleri sıcaklık derecesi diğer maddelere göre daha düşük seviyededir. Genellikle sıcaklık derecesinin artmasıyla esneme noktalarında, esneklik ve kopma limitlerinde hızlı şekilde düşer ve uzama miktarı artar. Sıcaklık seviyesi düştükçe kırılabilirlik artmaktadır. Bu nedenle plastik malzemeler seçilirken düşük sıcaklıktaki özelliklerine dikkat edilmelidir.

Plastik malzemeler günümüzde yapı sektörünün bir çok alanında kullanılmaktadır. Bu kullanım alanlarına örnek olarak, izolasyon, boya, tamir malzemeleri, su boruları gibi ince inşaat alanında kullanılmaktadır. Bu alanların dışında, doğrudan taşıyıcı malzeme olarak ya da yapıdaki statik taşıyıcıların zamanla dayanımının düşmesiyle, dayanımını tekrar arttırmak amacıyla kullanılmaktadır.

Polimer beton, reçine, sertleştirici ve hızlandırıcıdan meydana gelerek, dolgu malzemesi olarak kuvars agregası kullanılarak meydana gelen bir malzemesidir. Kuvars agregası ile polyester reçinenin karışımı, ardından hızlandırıcı ve sertleştirici ikamesiyle priz alması sonucunda polimer beton üretilmektedir.

Polimer beton üretiminde granülometrik karışım iyi ayarlanmalıdır çünkü beton içerisindeki porozite ne kadar az olursa dayanım o derece yüksek olmaktadır. Düşük poroziteli yapısı nedeniyle absorbe özelliği de düşük olmaktadır. Polyester esaslı maddelerin dezavantajı yangın gibi aşırı sıcaklık seviyelerinde çözünerek aderansını ve dayanımını kaybetmektedir. Bu olumsuz yönü nedeniyle dikkat edilmesi gereken yerlerde yangına karşı izole edilerek ateş ile doğrudan temas halinde bırakılmamalıdır.

Polimer betonun en önemli özelliklerinden biri, aderans özelliğidir. Bu nedenle, polimer beton, uygulamada sıklıkla yapıştırma ve tamir amacıyla kullanılır. Bir diğer avantajı ise polimer betonda su kullanılmaması nedeniyle rötre çatlakları görülmemektedir. Bu özellikler dahilinde polimer beton, kimyasal etkiler ve donatıya karşı daha dayanıklıdır. Polimer betonların eğilme ve basınç dayanımları normal betonlara göre çok daha yüksektir.

Polimer betonların bazı kullanım alanları şunlardır:

- Portland çimentolu betonlara katkı malzemesi olarak,
- Yapısal ve dekoratif konstrüksiyon panellerinde,
- Kanalizasyon borularında, yer altı tünel ekipmanlarında, drenaj kanallarında,
- Yüzme havuzlarında ve güvertelerde kullanılmaktadır.

Bu alışma kapsamında polimer beton üretiminde ince malzeme olarak kullanılan kuvars agregasının yerine %1-%2-%3 oranında cam lifi ve aynı hacimlerde cam tozu ikame edilerek betonun mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Yapılan 1.grup deneylerde polyester reçine miktarı hacimce %40 olarak sabitlenmiş ve aynı hacimlerde cam lifi ve cam tozu ikameli polimer betonun sonuçları incelendikten sonra optimum değerleri veren polimer betona ikame edilen cam lifi ve cam tozu birleştirilerek yeni bir polimer beton üretilmiştir.

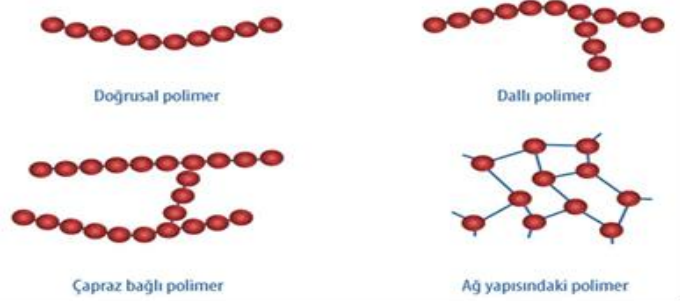


## **BÖLÜM 2. POLİMERLER**

### **2.1. Polimerler**

Makro moleküllerin varlığı, 1920'li yılların başlarında Hermann Staudinger tarafından öne çıkarılmış ve geçen 100 sene içerisinde günlük yaşantının her safhasında kullanılabilir olmuştur. Üstün özelliklere sahip olması nedeniyle, polimer malzemelerin kullanıldığı yerler giderek çoğalmaktadır. Bu malzemelerin en önemli avantajları, korozyona karşı dirençli, hafif olmaları ve kolay işlenebilir olmalarıdır. İnşaat sektöründe polimer malzemeler büyük bir önem taşımaktadır. Dünyada üretilen polimer malzemelerin %30'u her sene yapı sektöründe kullanılmaktadır [4]. Günümüzde mevcut olan geleneksel polimer malzemeler, özellikle plastikler, onlarca yıllık evrimin sonucudur. Bunların üretimi, hammadde ve enerji kullanımı ile atık salımı açısından son derece verimlidir. Ürünler, su ve mikroorganizmaların geçirimsizliği, yüksek mekanik mukavemet, düşük yoğunluklu ve üretim ölçeği ve proses optimizasyonu nedeniyle düşük maliyet gibi bir çok özellik sunar [5].

Polimer malzemelerin oluşumu, monomer denilen daha küçük ebatta moleküllerin dizilmesi ile meydana gelen uzun zincirli yapılardır (Şekil 2.1.). Bir polimer zinciri yüzbinlerce monomere sahiptir. Polimer zincirini meydana getiren monomerlerin özellikleri ve bu zincirler birbirleri ile olan etkileşimleri, polimer malzemede önemli rol oynamaktadırlar. Genellikle polimer malzeme denilince aklımıza ilk olarak organik polimer malzemeler gelmektedir. Fakat inorganik polimerler de yaygın şekilde kullanılmaktadır. Polimeri meydana getiren zincirleri doğrusal olabildiği gibi farklı kollara ayrılmış bir durumda da olabilir, bu durumda mevcut zincirden yan dallara ayrılmaktadır. Ayrılan yan dallar farklı bir ana zincire bağlanmışsa oluşan bu polimere çapraz bağlı polimer denmektedir. Günümüzde kullanılan bir çok polimer çapraz bağdan oluşmaktadır [6].



Şekil 2.1. Polimerlerin yapısı [6].

Genellikle polimerler amorf ve kristal bölgeler halinde bir arada bulunurlar. Malzemeye sertlik ve kırılabilirlik özelliğini verirken, amorf bölgeler tokluk özelliğini vermektedirler. Bu sebeple mekanik özellikler malzemenin kristalite derecesiyle doğrudan ilişkilidir. Doğrusal zincirler veya düzenli yapılar kristal oluşmasını kolaylaştırırken, aynı zamanda moleküller arasındaki çekim kuvveti de kristaliteyi artırıcı etkide bulunur [7].

Mekanik özelliklerine göre polimerler 3 başlıkta toplanırlar.

- Elyaf ve sert plastikler
- Yumuşak plastikler
- Elastomerler

Polimerler oluşum mekanizmalarına göre 2 gruba ayrılırlar.

- Katılma (zincir) polimerleri: monomerlerin ardı ardına bağlanması ile oluşurlar.
- Kondensasyon polimerleri: monomerlerin bağlanması sırasında küçük moleküller (örneğin su ya da metanol) açığa çıkar.

## 2.2. Polimerlerin Sınıflandırılması

Malzemelerin ilk kullanım şekilleri olarak doğada ilk buldukları halde kullanılmışlardır. Tabiatta hali hazırda bulunan bu malzemelerin başında; ham petrol, su, hava, kömür ve kireç gelmektedir. Polimerin ana maddeleri pamuk, kömür ve odun gibi selülozik özelliğe sahip maddeler ile ham petrol ve doğalgazdan oluşmaktadır [8].

Polimerler farklı şekilde sınıflandırılabilir;

1. Molekül ağırlığına göre,
2. Doğada var olup olmamasına ve sentez biçimine göre; doğal veya yapay,
3. Organik ve inorganik olmaları durumuna göre,
4. Sentezleme tepkilerine göre; basamaklı ya da zincir,
5. Zincirin kimyasal ve fiziksel yapısına göre; lineer, dallanmış veya çapraz bağlı,
6. Isıya davranışına göre; termoset veya termoplastik,
7. Zincir yapısına göre; homopolimer veya kopolimer olarak sınıflandırılmaktadır [9].

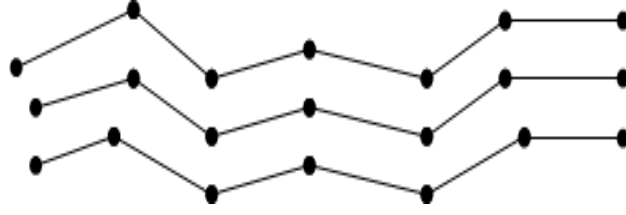
Kompozit malzemelerde, matris malzemesi olarak genellikle plastik maddeler kullanılır. Bu plastik malzemeler ise kendi içerisinde termoset plastik ve termoplastik olarak iki ana gruba ayrılmaktadır.

1. Termoplastikler
2. Termoset plastikler

### 2.2.1. Termoplastikler

Birbirlerine Van der Waals bağları ile zayıf bir şekilde bağlı olan plastiklere Termoplastik denmektedir (Şekil 2.2). Bu özellikleri nedeniyle termoplastikler, sert bir yapıya sahip değildir. Sıcaklık ile şekil değiştirebilen ve şekil değiştirildiğinde ise yapısında değişikliğe uğramayan plastik çeşididir. Bu çeşit plastikler, yüksek sıcaklık seviyelerinde yumuşayarak eriyik hale gelir ve tekrar soğuduklarında sertleşirler. Sıvı halde bulunan sıcaklıklarda kolay şekil verilebilmesi, malzemeye ekonomik değer katmaktadır.





Şekil 2.2. Termoplastik polimer zinciri [6].

Termoplastikler farklı sıcaklıkta ve durumlarda bulunur. Bunlar:

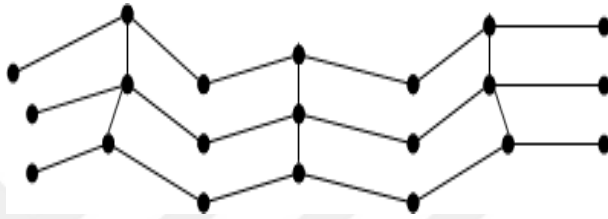
- Katı Hal: Malzeme, cam gibi sert ve tokluk arzeden sert bir haldedir.
- Termoelastik Hal: Bu, malzemenin yüksek elastikiyete sahip olduğu durumdur.
- Termoplastik Hal: Bu durumda, malzeme akışkan bir sıvı halindedir. Bu haldeyken malzeme, balmumuna benzer, ısıtıldığında yumuşar, erir ve şekil verilebilir.

Termoplastikler, üretim zorluğu ve yüksek maliyeti sebebiyle kompozit malzemelerde tercih edilmezler. Ayrıca, oda sıcaklığında işleme kalitesi düşüktür, bu nedenle üretimde zaman kaybına neden olurlar. Bazı termoplastikleri uygun şekle sokulabilmek için solventler gerekmektedir. Termosetlere kıyasla, termoplastiklerin ana maddeleri daha maliyetlidirler. Farklı bir nedeni ise, termoplastik bağlayıcı özellikli malzemeler, termoset reçinelerden daha kırılğan olmaktadır. Ama termoplastikler neme karşı yüksek dayanıma sahiptirler. Ayrıca, yüksek sünekliği sayesinde, ortalama elastik modül, yüksek dayanımlı liflerin, kompozit malzemeler içerisinde mukavemet özelliklerini kullanabilen ender bağlayıcılardandır.

Termoplastik reçineler, üretilmesi istenilen malzemenin mukavemetinin artması amacıyla kullanılmaktadır. Uçak endüstrisinde ve otomobil sektöründe yaygın olarak termoplastikler kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisi haricinde çanta ve plastik boru gibi farklı malzemeler de üretilebilmektedir. Alışveriş ve çöp poşetleri, tükenmez kalem gövdeleri, şişe kapakları, örtü işlerinde ve farklı mutfak eşyalarında da bu tip polimerden yapılmaktadır [9].

### 2.2.2. Termoset plastikler

Termoset plastikler, termal işlemler sayesinde üretilebilen ve geri dönüşümü olmayan plastiklerdir (Şekil 2.3). Daha açık bir şekilde söylenecek olursa, bir defa ısıl işlem ile şekil verilmesinin ardından, yapısal değişikliğe uğrayarak tekrar şekillendirilmesi mümkün olmayan plastiklerdir. Ayrıca, erime özelliğinin olmamasından dolayı termoplastikler gibi akıcılık özelliği olmasını engeller. Fakat, yangın gibi yüksek ısıya maruz kaldıkları durumda kömürleşerek doğal bir ısı yalıtımı oluşturmaktadırlar.



Şekil 2.3. Termoset plastik polimer zinciri[10].

Termosetler, polimerizasyon yöntemiyle iki aşamada üretilirler. Bunlardan birincisi, malzemenin içerdiği monomerler, lineer zincir oluştururlar. İkinci polimerizasyon işlemi olarak kalıplama sırasında, basınç ve sıcaklık etkisi altında önceden reaksiyona girmeyen tarafları sıvılaşılarak molekül zincirlerini üç boyutlu olarak sertleştirirler[10]. Bu nedenle tekrar termal işlemlerle yumuşatılamazlar. En sık tercih edilen termosetler epoksiler ve polyesterlerdir.

#### 2.2.2.1. Epoksi

Yüksek mukavemetli CTP kompozitlerinde sık kullanılan bir matriks olan epoksi reçineleri, neme karşı hassas olsalar dahi, polyester karşı daha üstün özelliklere sahiptirler. Termal işleme uğramış epoksilerin polimerizasyon derecesi düşüktür. Bu nedenle, epoksinin çapraz bağını ve molekül ağırlığını arttırmak amacıyla termal işlem uygulanır. Termal işlem gören epoksiler, ısı ve kimyasallara karşı dirençli ve yüksek dayanım özelliğine sahip olurlar. Endüstriyel döşemeler, yüzey kaplamaları, yapıştırıcılarda matriks malzemesi olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca epoksinin yalıtım özellikleri nedeniyle farklı elektronik uygulamalarda kullanılmaktadır [11].



bağların kopmasının ardından, birleşim kendiliğinden ve hızlı bir şekilde meydana gelmektedir (Şekil 2.5.).

Şekil 2.5. Etilen polimerizasyonunun sona ermesi [11].

## 2.4. Polimerlerin Özellikleri

- Polimer malzeme elektrik ve ısı yalıtkanıdır. Bunda iç bağların kovalent özelliğe sahip olması etkindir.
- Polimer malzemeler makaslamaya karşı hassastırlar, kaymaya karşı dayanımları düşüktür. Genelinde yüksek basınç ve çekme dayanımları elde edilebilmektedir.
- Kimyasal etkenlere karşı dayanımları yüksektir. Genellikle asitlere ve bazlara karşı iyi dayanırlar. Buna rağmen organik çözücülere dayanımları iyi değildir. Bu çözücüler, aseton, eter, glycol vb. maddelerdir. Özellikle kloroform plastiklerin genelinde etkili bir çözücüdür. Asıl olarak bir polimeri tanımlarken çeşitli çözücülerdeki etkisi, belli bir süreç içerisinde incelenir. Bu esnada alev alma ve meydana gelen dumanın rengi, kokusu, alevin rengi, külün görünüşü de faydalı bilgiler sağlamaktadır.
- Yüksek sıcaklık dereceleri polimerler için sürekli tehlikelidir. Bazı çeşitleri 300-400°C'ye kadar dayanmakla beraber genellikle sıcaklığın 80°C'yi halinde deformasyona uğrarlar.
- Polimerler çoğunlukla düşük yoğunluğa sahiptirler.
- Değişik renk ve çeşitlere sahiptir. Renklendirme seçenekleri iyidir.
- Kullanımları, işlenebilirlikleri iyidir ve kolaydır [11].

### 2.4.1. Yüksek sıcaklığa dayanım ve ısıl denge

Aromatik polimerlerin ve inorganik polimer maddelerin gelişmesiyle bu olay başarıya ulaşmıştır. Polimer yapısındaki bağ zincirleri ve benzene halkaları daha dayanıklı ve

aşınmalara karşı dayanıklı bir yapı haline getirmektedir. Çözünürlük, basınç altında deformasyon sıcaklığına ilişkili olarak azalmıştır.

#### **2.4.2. Kimyasal dayanıklılık**

Polimerlerin dayanımı, kimyasal yapılarına ve monomerlerin dizilişlerine bağlı olarak değişmektedir. Hidroksil (OH) ve karboksil (COOH) gibi polar gruplara sahip olan polimerler alkol ya da su benzeri polar sıvılar aracılığıyla genelde şişmiş veya düz olarak çözülür. Polimerlerin ağırlıkları artması halinde çözünürlükleri ve şişme meyilleri azalmaktadır. Yüksek molekül oranına sahip polimerler genelde yüksek viskozitelerde akmaktadırlar. Polimerler alkali ve asitlere karşı daha iyi bir kimyasal dayanım göstermektedirler. Buna ek olarak kesin polar gruplar içermekte ve bu grupları kimyasal dirence daha duyarlı hale getirmektedir [13].

#### **2.4.3. Oksidasyon direnci**

Genel olarak ticari polimerler ya üretilme aşamasında ya da kullanılma aşamasında oksijene maruz kalması sebebiyle oksidasyona karşı hassastırlar. Molekül ağırlığı çapraz bağa veya zincir düzenine göre farklılık göstermektedir, bunun nedeni olarak fiziksel özelliğin bozulması gösterilmektedir. Polyesterler, polikarbonatlar genelde oksidasyona maruz kalarak fiziksel özelliklerinde bazı küçük değişikliklere uğrar ve bununla birlikte rengini kaybederek solarlar. Ayrıca yüksek sıcaklık ya da ultraviyole ışınları altında zarar görebilir, reaksiyon tipine ve polimerin özelliklerine bağlı olarak yıkılır ya da ergime akışında değişikliğe uğrarlar [13].

#### **2.4.4. Geçirgenlik**

Polimerler sıvı ve gazlara karşı geçirgenlik özelliği kimyasal direnciyle ilgilidir. Gaz geçişi düzenli olan kanallarda katı molekül parçalarıyla meydana gelir. Kristalimsi,

camsı yada yüksek çapraz bağlı polimerler de geçiş difüzyon ile meydana gelir ve viskoz maddeler bu geçiş esnasında biraz tutunabilmektedir. Difüzyon işlemi, polimerin yapısında meydana gelen bazı komponentler içerisindeki çözücü gazlar tarafından artabilir. Yüksek kristallik derecesi, yüksek çapraz bağlanma ve yüksek yoğunluğun bir sonucu olmuştur. Polimer zinciri boyunca hem sıvı hem de gazdaki difüzyonun azalması sonucunda kimyasal direnç artar [13].

Geçirimsizlik özelliği polimer endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Örneğin; plastik kovalar, korozyona dirençli kaplamalar, endüstriyel membranlar ve polimer filmleri gibi uygulamalarda polimerlerin geçirimsizlik özelliğinden faydalanmaktadır.



### **BÖLÜM 3. POLİMER BETONLAR**

İnşaat mühendisliği alanına günümüzde bir çok plastik madde girmiştir. Bunların bazıları detay malzemesidir. Bu detay malzemelerinden bazıları, örtü malzemeleri, ısı izolasyon malzemeleri, badana ve boya katkıları, derz ve yapıştırıcı, ve tamir malzemeleridir. Plastik malzemelerin inşaat sektöründe diğer uygulama alanları, taşıyıcı malzeme olarak veya taşıyıcı malzemenin mukavemetini arttırmak maksadıyla kullanılmaktadır [13].

1920'li yılların başında yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerin varlığı öne sürülmüş ve günlük hayatın bir çok alanında kullanılmaya başlanmıştır. Polimer malzemelerin beton sektöründe kullanılmaya başlaması 1950'li yıllarda başlamıştır. 1950 öncesi yıllarda ise doğal kauçuk lateksi betonda kullanılmaya çalışılmış fakat yapay polimerden faydalanma daha sonra meydana gelmiştir. 1960'lı yılların başında polimer betonlar kullanılmaya başlanmıştır. 1970'li yılların sonunda polimerik elyaflar kullanılmaya başlandı ve 1980'lerde cam elyaf katkısı yaygınlaştı. Son 10 senede özellikle yüksek yoğunluklu polietilen polipropilen olmak üzere polimerlerde önemli bir artış olmuştur.

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

Polimer betonun hazırlığı esnasında, karışım işlemleri ve üretilen harcın homojen özellik göstermesi nedeniyle önemlidir. Bu homojenlik durumu, üretim sürecinin sonuna dek gidebilmelidir. Bu özelliği koruma açısından döküm makinesi kullanılabilir. Polimer beton, üretilmekte olan parçanın boyutları, üretim teknolojisi içerisinde bir çok değişkene bağlı olarak çeşitleri de değişen döküm makineleriyle üretilebilmektedir [14].

#### **3.1.1. Kalıplar**

Polimer beton üretiminde kullanılan kalıplar, harcın hızlı bir şekilde kalıba alınmasına engel olmamalı, ve düzgün geometrik şekile sahip olmalıdır. Kalıbın kenarları, harcın akım hızına engel olmamalıdır. Kalıba uygulanan vibrasyon işlemi aynı zamanda polimer beton üzerinde de etkili olacağı için kullanılan kalıplar son derece önemli bir etken olmaktadır.

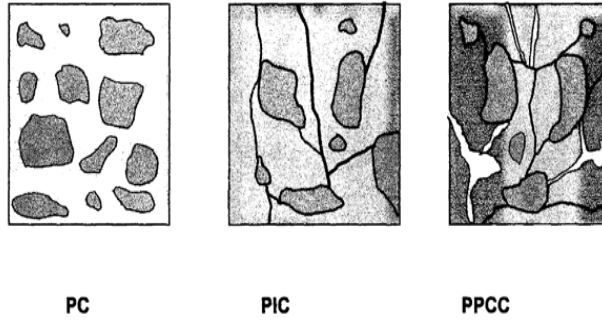
### 3.1.2. Polimer betonun yoğunlaştırılması

Polimer beton, vibrasyon ve merkezkaç kuvvetleri ile yoğunluk kazanabilir. Bu sebeple, üretimde titreşimle yoğunlaştırma seçeneği tercih edilir. Titreşimle yoğunlaştırma esnasında uzun süreli vibrasyondan kaçınılmalıdır. Çünkü bu olay hem dolgu malzemesinin büyüklüğünü hem de reçinenin homojen fazda dağılmasını bozar [10].

### 3.2. Polimer Beton Türleri

Polimerler günümüzde mevcut yapının güçlendirilmesi üzerine kullanılabildiği gibi doğrudan yapının ana taşıyıcı malzemesi olarak da kullanılabilmektedir. Betonun düşük olan çekme dayanımı, polimer malzemelerin kullanılmasıyla iyileştirilebilmektedir. Polimerin beton sektöründe kullanılması üç gruba ayrılabilir (Şekil 3.1).

- PCC veya PPCC (Polymer Cement Concrete) olarak adlandırılan polimer - portland çimento betonları.
- PIC (Polymer Impregnated Concrete) polimer emdirilmiş beton veya harçlar.
- PC (Polymer Concrete) sentetik reçine betonları.



Şekil 3.1 Polimerlerin betonda üç ayrı kullanımı [11].



PPCC'nin içerisindeki agraga etrafında polimer bir film oluşmuştur ve kılcal boşlukların bir bölümü de dolmuştur. PIC'de tüm kılcal boşluklara ek olarak jel boşluklarının birazı ile polimerlerle dolmaktadır. PC'de agragaları çeviren matriks polimerlerdir ve çimento bulunmamaktadır [15].

### **3.2.1. Polimer portland çimento betonları (Ppcc)**

Polimer portland çimentolu betonlarda lateks veya emülsiyon şeklinde dağılım, polimer malzeme çimento harcı ya da betonuna taze halde karışım sırasında ilave eklenir, betonun sertleşmesi esnasında polimerize olarak ulaşılmak istenen süneklik ve geçirimsizliğe sahip beton elde edilmektedir. PPCC betonlarında malzemenin sünekliği, tokluğu ve aderansı artmaktadır [16].

Genellikle Japonya'da bitirme ve tamir işlemleri için yapı malzemesi olarak, polimerle geliştirilmiş harçlar kullanılmaktadır. Amerika'da ise polimerle geliştirilen köprü donatılarının kaplanması ve tamir işlemlerinde kullanılmaktadır. Araştırmalara göre her yıl 1.2 milyon m<sup>2</sup>'ye kadar köprü donatısı, polimerle takviye edilmiş betonla kaplanmaktadır. PPCC ve harç üretiminde polimer oranı çimento miktarının %5-20'si arasındadır [16].

### **3.2.2. Polimer emdirme betonları (Pıç)**

Polimer emdirme betonlarında önceden dökülmüş ve priz almış betonlara polimer emdirme işlemi uygulanmaktadır. Betonun en ince boşluklarına kadar temas eden polimerler bu boşluklarda polimerize olarak, geçirimsiz ve yüksek mukavemetli betonlar üretilmektedir. Genelde, normal bir geleneksel beton, monomer ile emdirilebilir. Monomerler, beton içerisindeki boşlukları doldurularak yüksek oranda polimer emdirilerek tam polimerizasyon sağlanmalıdır [16].

Polimer emdirme betonlarında çapraz bağlayıcıların sıkça kullanılmasının nedeni, dayanımı sağlamak ve agraga ile bağ oluşturarak betonun uzun süreli nemden koruma isteğidir. Polimer emdirme beton tekniğinde iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi kısmen emdirme, ikincisi ise tamamen emdirme şeklinde uygulanır. Kısmi emdirme yöntemi, geleneksel betonda belirli bir derinliğe kadar iyi bir şekilde ıslatılarak emdirme yöntemidir. Bu sayede su geçirimsizlik ve dayanımı sağlamak maksadıyla bu derinlik kadar bir bölge de oluşturulmaktadır. İkinci yöntem olan tamamen emdirmeye ise beton yüzeyinde bulunan nem tamamen kaldırılır ve beton içerisindeki boşluklar tamamen polimerize olmaktadır [16].

Polimer emdirme betonları prefabrik yapılarda da kullanılabilirken, yerinde betona uygulanabilen yöntemler de mevcuttur. Daha çok köprü tabliyelerinde, onarım işlemlerinde kullanılabilir. Bazı polimer emdirme betonların spesifik uygulama alanları şunlardır:

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

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

- Üretim teknolojileri karmaşıktır. Buna ek olarak hare ve betonun kurumasında ve polimerizasyonda büyük termal enerji tüketilir ve üretim fiyatları yüksektir.
- Performansları ve fiyatları arasında denge zayıftır.
- Kalite kontrolleri zor ve stülüktürel uygulamalarda güvenilirlikleri zayıftır [16].

### **3.2.3. Polimer beton ve harçları (Pc)**

Polimer beton sürekli polimer matrisi içerisinde agrega ve fillerden oluşmaktadır ve dağınık bir görünüme sahip bir kompozittir. İlk defa 1960'lı yıllarda kullanılmaya başlanmıştır [17].

Yapı malzemelerinde, malzemenin değerinin anlaşılması için en önemli etkenler, kullanımı ve fiyatıdır. Bu sebeple, betonun dayanımı yüksek, suya ve havaya direnci olan, maliyetinin uygun olması nedeniyle inşaat sektöründe kullanılan bir malzemedir. Çimento ile bağlanan malzemelerin kür hızları düşüktür ve tamiri oldukça zordur [17].

Polimer harç ve betonların başlıca özellikleri:

- (-18) °C'dan 40 °C' a kadar hızlı kür alması,
- Yüksek çekme, eğilme ve basma mukavemetleri,
- Birçok yüzeyle iyi yapışma,
- Donma ve erime çevresinde uzun süre dayanıklılık,
- Suya ve çözücülere karşı düşük geçirgenlik,
- İyi kimyasal direnç,
- Düşük rötre [16].

Betonun uygulanması ve kalitesi kullanılan polimerin cinsine, agrega tipine ve granülometrisine bağlıdır. Polimer harçlar ve betonlar için ticari şekilde mevcut bağlayıcılar türlü termoset reçineleri, reçineyle geliştirilmiş asfalt ve vinil monomerlerdir. Genellikle en sık kullanılan polimer bağlayıcılar epoksi reçineleri, doymamış polyeester reçinesi ve vinil esterdir.

Polimer betonlar için gözüken en önemli sorun sıcaklıktır. Sıcaklık derecesinin yükselmesiyle eğilme ve basınç dayanımlarının azalmasına neden olmaktadır. Bu azalma nedeniyle epoksi betonlarında %15 polyeester, polyeesterde %56, akrilik

polimerlerde ise %20 oranında kullanılmaktadır. Araştırmalara göre, epoksi betonlarında sıcaklığın artmasıyla mukavemet artmıştır [14].

Polimer betonlarında üç faz sistemi görülür;

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

Polimer betonlarda, geleneksel betonda sıkça rastlanan rötre çatlakları görülmez. Bunun sebebi ise polimer betonun üretilmesi esnasında bağlayıcı olarak su ve çimentonun kullanılmaması gösterilebilir. Polimer beton dona ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklıdır, taşıma özelliklerine kıyasla ağırlıkları düşük seviyede kalmaktadır [18]. Polimer betona ait özellikler Tablo 3.1' de gösterilmiştir.

Basınç Mukavemeti	40-140 MPa
Eğilme Mukavemeti	8-35 MPa
Elastisite Modülü	700-35000 Mpa
Isıl Genleşme Katsayısı	5-10*10 <sup>-6</sup>
Su İçeriği	<% 1
Dona Dayanıklılık	Yüksek
Asitlere Dayanıklılık	Çok Yüksek

Tablo 3.1 Polimer Betonların Özellikleri [8].

Yapı sektöründe bu malzemelerin gelişmemesi iki nedene dayanmaktadır;

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

Polimer betonlarının başlıca kullanım alanları:

- Onarım, Portland çimento betonları için onarım işlerinde,

- Beton yol ve aşınmaya maruz yüzeylerde kayma direnci korunumu,
- İnşaat ve dekorasyon panelleri,
- Jeotermal uygulamalar için karbon-çelik borular içinde astar olarak,
- Yüzme havuzu ve teraslarda, prekast elemanlarda,
- Köprü donatıları için katodlama yoluyla paslanmadan koruma sistemlerinde kullanılır [18].

### 3.3. Polimer Betonun Kullanım Alanları

#### 3.3.1. Onarım

İlk olarak bilinen polimer kompozitler beton onarımı ve yol işlerinde kullanılmaktadır. Polimer betonlar, aynı zamanda farklı reçinelerle de kullanılabilir. Düşük viskoziteli metakrilat ve üreten 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 (Şekil 3.2). İnce ve iri agrega kullanılarak üretilen betonun ise rötresi azalmakta, yangına dayanıklılığı artmakta, elastiklik modülü ve basınç dayanımı yükselmektedir. Birçok uygulama da üretimin sonunda fiziksel özellik kazandırmak amacıyla çapraz bağlanma ve plastikleştiriciler de katılır [19].



Şekil 3.2 Polimer harcı ile yollardaki çatlakların onarılması

#### 3.3.2. Prekast polimer betonlar

Prekast polimer betonları hızlı kür, yüksek mukavemet ve ince kesitlerde düşük permeabilite gibi özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Prekast polimer beton'ların

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 alanlarda kullanılmaktadır.

### 3.3.3. 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, self levelling sistemi, mala uygulamalı yollar, önceden karıştırma işlemi gibi çeşitleri mümkündür. Polimer beton ve harçları köprü tabliyelerinde, fabrikalarda zemin kaplamalarında, stadyumlarda diğer suya ve aside dayanıklı yapılarda kullanılabilir (Şekil 3.3) [11].



Şekil 3.3. Polimer malzeme ile kaplanan fabrika sahası ve stadyum

## **BÖLÜM 4. LİFLİ BETONLAR**

### **4.1. Lif Takviyeli Betonlar**

Beton, düşük maliyeti kolay işlenebilirliği ve kolay ulaşılabilmesi nedeniyle günümüzde en sık kullanılan yapı elemanlarından biridir. İçerisinde agrega, çimento, su ve bazı durumlarda katkı maddeleriyle karıştırılarak oluşturulan bir yapı elemanıdır. Betonun eğilme dayanımı, basınç dayanımına göre yaklaşık %10'u civarındadır [20]. Bu nedenle beton gevrek bir davranmaktadır. Beton içinde ani kırılmayı önlemek amacıyla çeşitli malzemeler ikame edilmektedir. İçerisine çelik donatılar yerleştirilerek betonun gevrekliği önlenmek istenmiş olsa dahi, akma dayanımına ulaşan çeliğin kopmasıyla gevrek kırılma oluşabilmektedir. Bu ani kırılmaları engelleyebilmek ve betonun esnekliğini arttırmak amacıyla beton karışımı içerisine farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip lifler katılabilmektedir.

Lif, bir diğer ismiyle elyaf, bir boyutu diğer boyutuna göre çok büyük olan, doğal yollarla veya insan tarafından üretilen, dayanımları ve elastisite modülleri o malzemenin büyük hacmine göre çok daha yüksek olan malzemelerdir [21]. Liflerin, büyük hacimdeki formlarına göre dayanımları ve elastisite modüllerinin büyük olması, malzemenin en gelişmiş halinin lif olmasını sağlamaktadır. Günümüzde uygulamada kullanılan liflerin haricinde, insanlık tarihi boyunca lifler çok eski tarihlerden beri kullanılmaktadırlar. Geçmişte yapılarda kullanılan özellikle alçı ve kerpiç gibi malzemelerde lif formunda keten, kenevir, at kuyruğu, keçi kılı vb. doğal lif malzemeler kullanılmıştır [22].

Betonu oluşturan, çimento, agrega, su ve düzensiz dağılımlı liflerle, bazı durumlarda kimyasal ve mineral katkı malzemelerinin kullanılmasıyla oluşan yapı malzemesine ‘lifli beton’ ismi verilmektedir. Lifli beton, kompozit malzemeler içerisindeki, lifli

kompozitler sınıfına dahildir. Matris malzemesi olarak çimento hamuru kullanılmaktadır. Matris malzemenin görevi lifleri birlikte tutmak, onları dış etkilerden koruyarak ve liflerle gerilme transferini sağlamaktır [23].

Lifli betonların üretiminde doğal, çelik, polimer ve cam esaslı lifler yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 4.1). Beton içerisinde lif kullanımı, betonun çatlak gelişimine karşı dirençli olmasını ve süneklik özelliğinin artmasını ve betonun; dayanım ve enerji yutma kapasitesi özelliklerini geliştirir. Lifli betonun mekanik özelliklerini etkileyen en önemli etkenler ise narinlik oranı, lif miktarı ve lifin beton matrisi içerisinde homojen olarak dağılmasıdır. Homojen bir şekilde beton içerisinde dağılan lifler, oluşan çatlakları önleyerek ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonun dayanımını daha yüksek hale getirmektedir [23].

Liflerin betona sağladığı katkılar şu şekildedir;

- Taze betonda çatlakların oluşumunu engeller,
- Çekme ve eğilme dayanımlarını artırır,
- Tokluğu artırır,
- Gevrek davranışı engeller,
- Durabiliteyi artırır [24].



Şekil 4.1 Lifli beton numunesi



## 4.2. Lif Çeşitleri

Kullanıldıkları alan ve farklı mekanik özelliklere sahip olması bakımından birçok lif türü vardır. Bu lifler genellikle şu şekilde sınıflanırlar (Tablo 4.1) [25].

### 1. Doğal Lifler

- Hayvansal Lifler
- Bitkisel Lifler
- Mineral Lifler

### 2. Sentetik Lifler

- Polimer Lifler
- Metalik Lifler
- Seramik Lifler

Tablo 4.1 Lif Çeşitleri ve Özellikleri [25].

Lif Cinsi	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (MPa)	Maksimum Uzama (%)	Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )
Akrilik	207-414	2,1	25-45	1,1
Asbestler	552-966	83-138	0,6	3,2
Pamuk	414-690	4,8	3-10	1,5
Cam	1035-3795	69	1,5-3,5	2,5
Naylon	759-828	4,1	16-20	1,1
Polyester	724-863	8,3	11-13	1,4
Polietilen	690	0,14-0,4	10	0,95
Polipropilen	552-759	3,5	25	0,9
Pamuk-Yün	414-621	6,9	10-25	1,5
Mineral Yünü	483-759	69-117	0,6	2,7
Çelik	276-2760	200	0,5-3,5	7,8

### 4.2.1. Doğal lifler

Doğal lifler kolayca elde edilebilirler. Fakat bu lifler, alkali ortamlarda parçalanma durumunda oldukları için sorunludurlar. Bu sorunun çözüme ulaşabilmesi için betonun alkalitesini azaltıcı etkiler yapılmalı bunu sağlayacak katkılar yapılmalıdır. En eski doğal lif saman ve at yelesidir [15].

#### 4.2.2. Sentetik lifler

Bu lifler tekstil sanayinde ve petrokimya endüstrisindeki ilerlemeler sonucunda meydana gelen insan tarafından üretilen liflerdir. Sentetik lifler betondaki alkali duruma karşı dayanımı yüksektir. Naylon, polyester ve akrilik, polimer esaslı sentetik liflere örnek olarak söylenebilmektedir [26].

#### 4.2.3. Çelik Lifler

Metaller sahip oldukları yüksek şekil değiştirme özelliklerinden dolayı günümüzde inşaat sektöründe oldukça fazla kullanılmaktadır. Bazı metalik liflere ait özellikler Tablo 4.2'de verilmektedir.

Tablo 4.2 Çelik Liflere Ait Özellikler [26].

Metal	Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Ergime Sıcaklığı (°C)	Elastisite Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Al	2,7	660	70	300
Be	1,8	1350	310	1100
Cu	8,9	1083	125	450
Mo	10,2	2625	330	2200
W	19,3	3410	350	2890
0,9 % Karbon çeliği (0,1 mm çapında)	7,9	1300	210	4000
Paslanmaz çelik (0,05 mm çapında)	7,8	1535	198	2400

#### 4.2.4. Polimer Lifler

Polimer liflerin başlıcaları; naylon, polipropilen, polietilen, perlon ve aramididir. Polimer liflerden çimento hamuruna katılan ve optimum sonucu veren lif ise polipropilen liflerdir. Bu lifler oldukça yüksek dayanımları, alkali ortama karşı dayanıklı olmaları ve düşük maliyetli olması nedeniyle önemli bir donatı malzemesi özelliğini taşımaktadırlar. Ayrıca polipropilen donatı malzemesinin yüzeyinin hidrofob

özelliğ göstermesinden dolayı çimento bağlayıcılı matris malzemesinin içinde ıslanarak toplanmaması da tercih nedenidir. Polipropilen liflerin betondaki en olumlu etkisi, dökümden sonra birkaç saat içerisinde gerçekleşen plastik büzülme nedeniyle oluşan kılcal çatlakları azaltmasıdır. Betonun sertleşmesi aşamasında betonun dayanım kazanma hızı ve büzülme sebebiyle meydana gelen çekme gerilmelerinin oluşum hızından daha yavaştır. Bu da plastik büzümeye neden olur. Polipropilen lifler bu büzülme gerilmelerine karşı bir direnç meydana getirir ve büzülmeden dolayı oluşacak çatlak tehlikesini en az seviyeye indirir [26].

#### 4.2.5. Cam lifler

Cam lifleri, eritilmiş haldeki camın küçük deliklerden akıtılıp katılaştırılması sonucu üretilir (Şekil 4.2). Isıl iletim katsayıları düşük olduğundan yalıtım malzemesi olarak kullanılırlar. Ayrıca yüksek mukavemet değerleri nedeniyle diğer malzemelerle birleştirilerek kompozit malzeme üretiminde kullanılır. Bir diğer ismiyle cam elyaflar sertlik derecesi yüksek ve aşınmaya karşı dayanımları yüksektir. Ayrıca çok reaktif bir malzeme olmaması, esnek, hafif olarak bulunmaktadır. Cam lifler kendi içinde farklı gruplara ayrılmaktadırlar (Tablo 4.3.). Genel olarak bütün cam liflerinin elastisite modülleri benzerdir. Fakat hepsi farklı dayanıma sahip ve etrafındaki etkilere karşı dayanımları da farklıdır. Örneğin; E tipi lifler düşük çekme dayanımına sahipken, S tipi lifler yüksek dayanıma sahiptir [26].



Şekil 4.2 Cam Lifi [29].

Tablo 4.3 Cam Lifi Türleri Ve Özellikleri [30].

Cam Lifi	Özgül Ağırlık	Çekme Dayanımı	Elastisite Modülü
E	2,54	1,7-3,5	69-72
S	2,48	2,0-4,5	85
C	2,48	1,7-2,8	70
A	2,5	1,7-2,8	-

#### 4.2.5.1. Cam lifinin avantajları

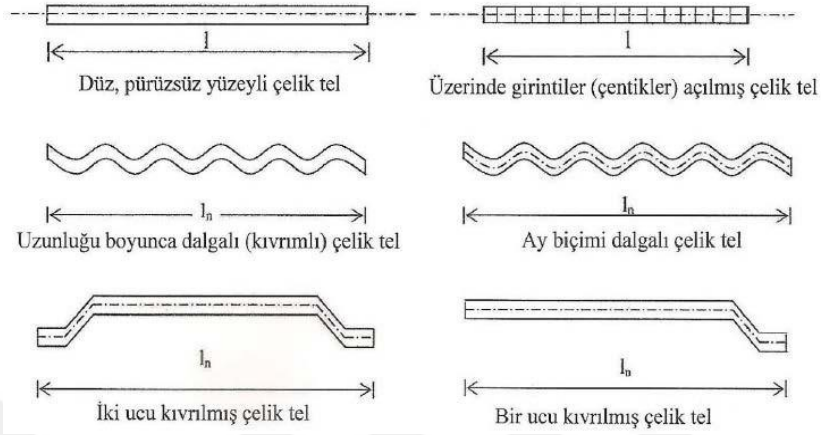
Cam lifi takviyeli betonun özellikleri; lif içeriği, su/çimento oranı, kum içeriği, lif dağılımı, lif uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir. Cam lifler ayrıca rötre ismi verilen kılcal çatlakların olmasını ve iç gerilmeleri engellemek amacıyla kullanılırlar. Cam liflerinin beton karışımlarında düşük oranda (1kg/m<sup>3</sup>) kullanılmasıyla; beton içinde dağılan binlerce lif, erken dönemde oluşan iç gerilmelerden dolayı meydana gelen çatlakları, geçirgenliği azaltırken, uzun dönemde betonun atmosferik etkilere ve diğer aşındırıcı etkilere karşı dayanım da sağlamaktadır. Cam lifler, taze betonda terlemeyi ve tane ayrışmasının azaltılmasına olumlu yönde katkı sağlamaktadır. Cam lifi 1-20 kg/m<sup>3</sup> gibi yüksek oranda kullanılmasıyla betonun karıştırma ve pompalama esnasındaki işlenebilirlik özelliğini olumlu yönde etkilemektedir [27].

### 4.3. Lif Özelliklerinin Kompozit Malzemeye Etkisi

#### 4.3.1. Lif geometrisinin etkisi

Malzemelerin geometrik yüzeyleri, karışım esnasında büyük bir önem taşımaktadır. Kullanılan lif yüzeylerinin düz pürüzsüz, bir ucu kıvrılmış veya iki ucu kıvrılmış gibi şekillerde bulunmaktadır (Şekil 4.3). Lif geometrisi, matrisle doğrudan ilişkili halde bulunmaktadır. Narinlik açısından aynı, farklı geometrik şekillere sahip lifler aracılığıyla yapılan deneylerin sonucu olarak, lif takviyeli betonların, betonun işlenebilirliğinin genel olarak düşürdüğünü fakat, dalgalı liflerin düz ve kancalı liflere göre çökme değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca, değişken narinlik ve

lif oranlarında kancalı liflerin düz ve dalgalı liflere göre, kompozitin basınç dayanımları altında enerji yutma kapasitelerinin daha yüksek olduğu görülmüştür [26].



Şekil 4.3. Çelik Lif Geometrileri [11].

#### 4.3.2. Lif boyunun etkisi

Karışımlarda kullanılan lifler boyutlarına göre kısa ve uzun bir biçimde üretilmektedirler. Lifin boyutu, beton üzerinde etki eden en önemli özelliklerden biridir. Çimento bazlı kompozit malzemelerde kısa lif içeren kompozitler gerilme değerleri açısından daha yüksek değerlere sahiptir. Ancak şekil değiştirme açısından çok iyi bir seviyede değildir. Uzun lifler ile üretilen kompozitler ise daha düşük gerilme değerlerine sahiptir. Ve daha büyük şekil değiştirmeler meydana gelerek betonun tokluk seviyesini arttırmışlardır. Bunun nedeni olarak betondaki rötre çatlaklarının mikro düzeyde gerçekleşmesidir. Uzun lifler mikro boyuttaki çatlakları engelleyemez fakat kırılma anında çatlaklar arasında köprüler oluşturması nedeniyle betonun göçmesine izin vermez ve ekstra süneklik özelliği katmaktadır. Kısa lifler ise betonda mikro çatlaklara etki esnasında boyu nedeniyle daha avantajlı olduğu için ilk çatlak meydana gelene kadar daha büyük gerilmeler gerekecektir. Bu da kısa liflere sahip malzemenin gerilme dayanımının daha yüksek olduğunu göstermektedir [28].

### **4.3.3. Lif narinliği ve lif yüzdesi etkileri**

Lifli betonları performans açısından etkileyen en önemli etken kullanılan lifin narinliğidir. Bu narinlik değeri, lifin boyunun, çapına oranıyla ölçülmektedir. Narinliğin artması, beton performansını arttırsa dahi, işlenebilirlik açısından bu değeri 100 gibi bir değeriyle sabit tutularak kullanılması önerilir [29].

### **4.4. Cam Lifi Takviyeli Kompozitlerin Özellikleri**

Cam lif ikamesiyle üretilen betonlarda Portland çimentosu, ince agrega, alkali dayanımı yüksek cam lifleri ve bazı katkı maddelerinin birleşimiyle meydana gelen lifli kompozitlerdir. Cam lifi ikameli kompozitlerin çarpma dayanımları yüksek ve süneklerdir. Betonda kullanılmasıyla birlikte kazandırdığı hafif ve esnek bir malzeme oluşu, bir çok dış cephe ve mimari tasarım uygulamalarında kullanılmaktadır. İlk olarak, cam liflerinin üretilmesi esnasında alkali camlar kullanılmış, bunun üzerine ise alkali oranı düşük, elektrik dayanımı yüksek silikat camlar üretilmiştir. Bu üretilen camlara E-camı denmektedir ve E-camı sanayide bir çok yerde kullanılmaktadır. Fakat betondaki alkali etkisinin çok olması nedeniyle yapı sektöründe çok kullanılmamaktadır. Bu teknolojik gelişmelerin ardından “CEM-FİL” şeklinde isimlendirilen ve alkali etkisine karşı dayanım gösteren camlar üretilerek günümüzde sık bir şekilde karşılaştığımız cam liflerinin arasına girmiştir [26].

### **4.5. Lifli Kompozitlerin Kullanım Alanları**

Lifli kompozitler inşaat sektöründe ve sanayi endüstrilerinde sıkça karşılaştığımız malzemelerdir. Her matrisi, her lifle uygun şekilde çalıştıramayacağımız gibi, her lifli kompozit istenilen her alanda kullanılamaz. Bu yüzden her lifli kompozit ayrı uygulama alanında kullanılmaktadır. Çelik lifleri, yüksek süneklik ve yüksek çekme dayanımları özelliklerinden dolayı, depreme dayanıklı yapılarda, tünellerde, prekast yapı elemanlarında, yol ve güvenlik yapıları gibi bir çok alanda kullanılmaktadır.

Sentetik lifler ise betonda erken plastik çatlakları ve betonun mukavetini artırır ve betonun sahip olduğu suyu absorbe ederek, betondan suyun uzaklaşmasına engel olmaktadır. Bunlara ek olarak polimer lifler, özellikle geçtiğimiz son yıllar içerisinde püskürtme beton ile kullanılan çelik liflerin yerine de kullanılmaya başlamıştır. Bunun en önemli sebebi ise çelik lif aşındırıcı özelliğe sahip bir malzemedir ve bu nedenle püskürtme betonu uygulayan ekipmanlara hasar vermektedir. Bu nedenle polimer lifler günümüzde daha çok kullanılmaya başlamış ve daha da gelişerek çelik lifleri artık bu alanda kullanılmayacağı da öngörülmektedir. Cam lifli betonlar ise özellikle hafif ve işlenebilirliklerinin iyi olması nedeniyle dış cephe giydirme ve mimari tasarım alanlarında oldukça sık bir şekilde karşımıza çıkmaktadır [26].

#### **4.6. Lif Takviyeli Polimer Beton**

Polimer esaslı betonların özellikleri birçok etmene bağlıdır. Bunlar, reçinenin türü, sertleştirici, hızlandırıcı ve kullanılan agregaya göre değişmektedir. Matris malzemenin takviye elemanı ile karışım oranı ve kür şartlarına göre değişim göstermektedir. Polimer betonda kullanılan en önemli malzemelerden biri ise liflerdir. Geleneksel betona lif takviyesi yapıldığında eğilme ve basınç dayanımlarını arttırmaktadır. Bu nedenle polimer betonlara da lif takviyesi yapılarak eğilme ve basınç dayanımlarını olumlu yönde etkilediği görülmektedir.

## **BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **5.1. Amaç ve Kapsam**

Polimer beton, karışım oranları her durum için ayrı karışım oranlarıyla hesaplanabildiği için, mevcut literatürde yapılmış çalışmalarda belirli şartlar için, belirli özellikleri görülmüştür. Polimer beton malzemesinin mevcut literatürde basınç ve eğilme dayanımı, bir yapı malzemesi olması esasına dayanan test yöntemlerine göre belirlenmiştir. Bu deneysel çalışmamızda benzer tarzda test sistemleri ile, polimer betona cam lifi veya cam tozu ikame edilerek, polimer betonun optimizasyonu üzerine çalışılmıştır. Deneylerde 40\*40\*160 mm'lik prizmatik numuneler hazırlanmıştır. Karışım hesabında polyester reçineye oranla kobalt ve sertleştirici malzeme kullanılmıştır. Polyester reçinesinin %40 oranında hazırlandığı numunelerde %0,3 kobalt ve %1,65 sertleştirici kullanılmıştır. Bu karışıma %0,1, %0,5, %1 oranında cam lifi ve cam tozu ikamesi yapılmıştır. 24 saat sonra kalıptan çıkarılan numuneler 7 gün boyunca laboratuvar ortamında bekletilerek kür süresinin dolması için bekletilmiştir. Kür süresini tamamlayan deneyler üzerinde TS EN 12390-3 [30]' ye uygun şekilde basınç dayanımı ve TS EN 12390-6 [31]' ya uygun olarak da yarmada çekme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

### **5.2. Malzemeler ve Özellikleri**

Polimer betonda polyester reçine, sertleştirici ve hızlandırıcı kullanılmaktadır. Reçine olarak polyester reçine seçilmiştir. Piyasada birçok polyester çeşidi bulunmaktadır. Bu polyester tiplerinden ticari adı döküm tipi ortoftalik polyester olan doymamış polyester reçinesi seçilmiştir. Ortoftalik polyesterden yapılan polimer beton, sert, rijit ve mekanik mukavemeti yüksek olmaktadır. Ayrıca bu reçine, fiyatının diğerlerine göre düşük olması nedeniyle de tercih edilmiştir. Ancak çok kalın blok dökümlerde iç gerilmeler nedeniyle çatlama riski taşımaktadır.



Dolgu malzemesi olarak kuvars, sertliğinin yüksek olması nedeniyle yapımında kullanıldığı polimer betona rijitlik ve yüksek mukavemet kazandırdığı için tercih edilmiştir.

Kuvars ilgili firmadan (0,5-1mm), (1-3mm), (3-5mm) boyutlarında kırma ve yıkanmış halde alınmıştır (şekil 5.1).

Tane büyüklüğüne göre üç gruba ayrılmıştır;

- İnce tane (0,5-1mm)
- Orta tane (1-3 mm)
- İri tane (3-5 mm)



şekil 5.1 Kuvars Agregası

### 5.2.1. Polyester Reçinesi

Kullanılacak reçinenin modeli ve viskozite değeri sabit tutularak optimum değeri verecek polyester reçine araştırıldı. Sonuç olarakta Boytek firmasına ait olan BRE 450 isimli polyester, ortoftalik esaslı, genel amaçlı doymamış polyester reçine temin edilmiştir. Kullanılan polyester; reçine, sertleştirici (Metil etil keton peroksit; dimetil fitalat içinde çözeltili halinde bulunmakta) ve hızlandırıcı (kobalt)'dan oluşmaktadır. Polyester reçinesine ait özellikler Tablo 5.1' de gösterilmiştir.

Kullanılan polyester reçine düşük çekme mukavemeti ve dolgu kabul gibi özellikleriyle, suni mermer, mutfak tezgahları, lavabo ve küvet gibi dolgu döküm yapılan uygulamalarda kullanılmak için tasarlanmış, hızlı kür ve yüksek sıcaklık dayanımı

gerektirmeyen CTP uygulamalarında da kullanılabilir. Suni mermer uygulamalarında temiz renkli olması sayesinde daha doğal dökümler de alınabilmektedir.

Tablo 5.1. Polyester reçinesine ait özellikler [31].

Test	Metod	Değer
Renk	ISO 2211	Max. 100 Hazen
Yoğunluk	ISO 1675	1,115 gr/cm <sup>3</sup>
Kırılma İndisi	ISO 0489	1,543
Asit Değeri	ISO 2114	Max. 30 mg KOH/gr
Viskozite	ISO 2555	700 - 900 cp
Çekme Dayanımı	ISO 527	70 Mpa
Eğilme Dayanımı	ISO 178	120 Mpa
Jel Süresi	ISO 2535	10 – 20 dk.
Sertlik	934-1	40 Barcol
Pig Egzotermi	ISO 527	140 – 160 °C

Polyester reçinenin sertleşmesi için kullanılan sertleştiriciye ait özellikler Tablo 5.2’de verilmiştir.

Sertleştirici (Metil etil keton peroksit, Dimetil fitalat içinde çözelti halinde)		
Numara	%	Kimyasal Adı
1	30-39	Metil etil keton peroksit
2	55-70	Dimetil fitalat

Tablo 5.2. Sertleştirici özellikleri [31].

Sertleşen polimer betonunun kalıplardan ayrılabilmesi için Polia firmasına ait Polivaks SV-6 kullanılmıştır (Tablo 5.3). Uygulamadan önce kalıp yüzeyinin temiz olmasına, toz, kir, yağ, su bulunmamasına dikkat edilmelidir. Vaksı ilk uygulamada ince bir film şeklinde dairesel hareketlerle sürülür. Ardından temiz bir bezle parlatılır. Parlatılmış kalıp 15-20 dakika vaks filminin tamamen kuruması için bekletildikten sonra son kez temiz bir bezle silinip parlatılır ve polyester döküm veya jelkot uygulamasına geçilir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Kalıp ayırıcı (Polivaks SV6)

Tablo 5.3. Kalıp ayırıcının özellikleri[31]

Kalıp Ayırıcı (Vaks) Temel Özellikleri	
Vaks Bazı	Karnauba, Balmumu, Mineral vakslar
Solvent Bazı	Alifatik hidrokarbonlar
Görünüm	Krem renkli pasta kıvamında

## 5.2.2. Agregalar

### 5.2.2.1. Kuvars Agregası

Çalışma boyunca yapılan birinci ve ikinci grup deneylerde kuvars agregası ( $D_{max}$ : 5 mm), cam tozu ( $D_{max}$ : 0,5mm) kullanılıp türü değiştirilmemiştir. Ancak agrega granülometrisinde bazı değişiklikler yapıлып deney sonuncuna etkisine bakılmıştır. Bu agregaya ve cam tozuna ait elek analizi sonuçları, özgül ağırlık, sıkışık ve gevşek birim ağırlık deneyleri Tablo 5.4, Tablo 5.5 ve Tablo 5.6'da verilmiştir.

M alzeme türü	Elek Açıklığı ve Geçen(%)							
	5 mm	4mm	2mm	1mm	0,5mm	0,25mm	0,125mm	0,063mm
0-1 mm Kuvars	100	100	99,41	62,26	9,68	0,96	0,58	0,2
1-3 mm Kuvars	100	99,78	46,15	4,61	0,21	0,06	0	0
3-5 mm Kuvars	100	98,23	0,41	0	0	0	0	0
Cam Tozu	100	100	100	100	85,42	62,19	54,21	27,94

Tablo 5.4. Kuvars agregası ve cam tozuna ait elek analizi

Tablo 5.5. Kuvars agregasına ait kimyasal ve fiziksel özellikler [32].

Ürün Kodu	PM Q500/1200	PM Q1200/2500	PM Q2500/4000
Kimyasal İçerik	500-1200 Mikron Kuvars	1200-2500 Mikron Kuvars	2500-4000 Mikron Kuvars
	500-1200 Micron Quartz	1200-2500 Micron Quartz	2500-4000 Micron Quartz
SiO <sub>2</sub> %	98,5% (Min)	98,5% (Min)	98,5% (Min)
K <sub>2</sub> O %	0,1% (Max)	0,1% (Max)	0,1% (Max)
TiO <sub>2</sub> %	0,04% (Max)	0,04% (Max)	0,04% (Max)
Na <sub>2</sub> O %	0,1% (Max)	0,1% (Max)	0,1% (Max)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0,06% (Max)	0,06% (Max)	0,06% (Max)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0,6% (Max)	0,6% (Max)	0,6% (Max)
Elek Boyutu	Mm	Mm	Mm
	+1,18 / -0,5	+2,36 / -1,18	+4,1 / -2,36
Nem Humidity	0,03% (Max)	0,03% (Max)	0,03% (Max)
Özgül Ağırlığı	2,70 g/cm <sup>3</sup>	2,70 g/cm <sup>3</sup>	2,70 g/cm <sup>3</sup>

### 5.2.2.2. Cam Tozu

Ka madencilik tarafından temin edilen cam tozu, geri dönüşüm camın elenip değirmenlerde un haline getirilmesiyle üretilen bir malzeme olup, 25 kg'lık paketlenmiş çuvallar halinde satılmaktadır (Şekil 5.3.). Cam tozuna ait özellikler Tablo 5.6 ve Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.6. Cam tozuna ait özellikler [32].

M alzeme türü	Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Sıkışık B. Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Gevşek B.Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Su Absorb.(%)
Cam Tozu	2,48	1421	1293	0,24

Tablo 5.7. Cam tozu

kimyasal bileşenleri [33].

Cam Tozu Kimyasal Bileşenleri		
SiO <sub>2</sub>	>	65%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		%0,5-2
CaO		%8-11
M gO		%3-5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<	0,20%
K <sub>2</sub> O	<	1,50%
Na <sub>2</sub> O		13,15%



Şekil 5.3 Cam Tozu

### 5.2.2.3 Cam Lifi

Isıya mukavim alçı plakalar, dekoratif betonlar, epoksi ve polyester uygulamaları gibi alanlarda çatlak kontrolü, kalıcılık ve sağlamlık için kullanılan kimyasallara ve yüksek ısıya karşı dayanıklı, epoksi ve polyester uyumlu, cam elyaftan katkıdır (Şekil 5.4). Cam lifine ait özellikler Tablo 5.8’de verilmiştir.

Tablo 5.8 Cam lifinin özellikleri [34].

Yoğunluğu:	2,60 g/cm <sup>3</sup>
Uzunluğu:	9 / 18 mm

Elastik modülü:	77 GPa
Çekme mukavemeti:	3400 Mpa
Uzaması:	>%15
Erime noktası:	1120 °C



Şekil 5.4 Cam Lifi

Polimer beton üretiminde cam lifi ve cam tozu kullanılabilirliğinin araştırılabilmesi için bu çalışmada deneyler iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup deneylerde polyester reçine oranı %40 oranında sabit tutularak kuvars agregasıyla birlikte karışıma %0,1 - %0,5 - %1 oranında cam lifi ikamesi yapılarak karışımlar oluşturulmuştur. İkinci grup deneylerde ise polyester reçine oranı %40 oranında sabit tutularak kuvars agregasıyla birlikte karışıma %0,1 - %0,5 - %1 oranında cam tozu ikamesi yapılarak karışımlar oluşturulmuştur. Bu deneylerde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, fiziksel özellikler ve maliyet analizleri incelenmiştir.



Şekil 5.5. Polimer beton numuneleri

Üçüncü grup deneylerde ise; %40 oranında polyester reçinesi oranı sabit tutularak, birinci ve ikinci grup deneylerde elde edilen sonuçlar incelenerek optimum sonuç veren polimer betonlar tekrar karışım oranı hesaplanarak yeni bir numune üretilmiştir (Şekil 5.5).

Polimer beton üretilirken kullanılan kalıplara kalıp ayırıcı vaks sürülmüştür. Üretilen polimer beton 4x4x16 cm ebatlarında her bir grup için 6 adet numune alınmıştır (Şekil 5.6). Polimer betonu kalıp ayırıcı sürülmüş kalıplara sertleşme olmadan önce hava boşlukları dışarı atılarak sıkı bir yapı elde edilmesi için ‘masa tipi vibratör cihazı’ kullanılarak doldurulmuştur. Polyester reçinenin tamamen polimerize olması için 1 saat boyunca 80°C sıcaklıkta etüvde kür uygulanmıştır. Sonraki deneyler için 7 gün boyunca laboratuvar ortamında bekletilmişlerdir.



Şekil 5.6. Prizmatik numune kalıpları

### 5.3. Karışım Hesapları

#### 5.3.1. Karışım kodları ve açıklamaları

Birinci grup deneylerde polyester reçine oranı %40 oranında sabit tutularak kuvars agregasıyla birlikte karışıma %0,1 - %0,5 - %1 oranında cam lifi ikamesi yapılarak karışımlar oluşturulmuştur. İkinci grup deneylerde ise polyester reçine oranı %40 oranında sabit tutularak kuvars agregasıyla birlikte karışıma %0,1 - %0,5 - %1 oranında cam tozu ikamesi yapılarak karışımlar oluşturulmuştur. Bu deneylerde basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve maliyet analizleri incelenmiştir.

Üçüncü grup deneylerde ise; %40 oranında polyester reçinesi oranı sabit tutularak, birinci grup deneylerde elde edilen sonuçlar incelenerek optimum sonuç veren polimer betonlar tekrar karışım oranı hesaplanarak yeni bir numune üretilmiştir.

#### 5.4. Birinci Grup Deneylere Ait Karışım Kodları ve İçeriği

- KN1: Reçine miktarı %40/m<sup>3</sup>. Cam lifi ikamesi %0
- KN2 CL(%0,1): Reçine miktarı %40/m<sup>3</sup>. Cam lifi ikamesi %0,1
- KN3 CL(0,5): Reçine miktarı %40/m<sup>3</sup>. Cam lifi ikamesi %0,5
- KN4 CL(%1): Reçine miktarı %40/m<sup>3</sup>. Cam lifi ikamesi %1

1 m<sup>3</sup> polimer betonda kullanılan kuvars agregası ve cam lifinin kendi aralarındaki hacimce dağılım oranları Tablo 5.9'da, ağırlıkça dağılım oranları Tablo 5.10'da verilmiştir.

KARIŞIM KODU	0-1 mm Kuvars (%)	1-3 mm Kuvars (%)	3-5 mm Kuvars (%)	Cam Lifi
KN1	45	35	20	0
KN2 CL(%0,1)	44,9	35	20	0,1
KN3 CL(0,5)	44,5	35	20	0,5
KN4 CL(%1)	44	35	20	1

Tablo 5.9. 1 m<sup>3</sup> Polimer betonunda kullanılan kuvars agregası ve cam lifinin kendi aralarındaki dağılım oranları

Tablo 5.10. 1 m<sup>3</sup> Polimer betonu için gerekli malzeme ağırlıkları

KARIŞIM KODU	KARIŞIM ORANLARI (AĞIRLIKÇA kg/m <sup>3</sup> )						
	Polyester Reçine	Kobalt	Sertleştirici	0-1 mm Kuvars	1-3 mm Kuvars	3-5 mm Kuvars	Cam Lifi
K1	440	1,32	7,26	705,31	548,57	313,47	0
K2 CL(%0,1)	440	1,32	7,26	703,74	548,37	313,47	1,5
K3 CL(%0,5)	440	1,32	7,26	697,47	548,37	313,47	7,5
K4 CL(%1)	440	1,32	7,26	689,63	548,37	313,47	15

#### 5.5. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Karışım oranları tamamlandıktan sonra mekanik deneylerde eğilme ve basınç deneyi yapabilmek amacıyla 4\*4\*16 cm boyutunda prizmatik numune kalıpları kullanıldı. Polimer beton kalıba yerleştikten sonra vibrasyon uygulanmıştır. Standart deney koşullarında polimer betonlara kür ve bakım işlemleri yapılmıştır. Elde edilen numuneler 7 gün sonunda eğilme, basınç deneylerine tabi tutulmuş ayrıca fiziksel



özellikler açısından birim hacim ağırlık, porozite, kompasite, su emme değerleri ve maliyet analizleri tespit edilmiştir.

### 5.5.1. Eğilme deneyi

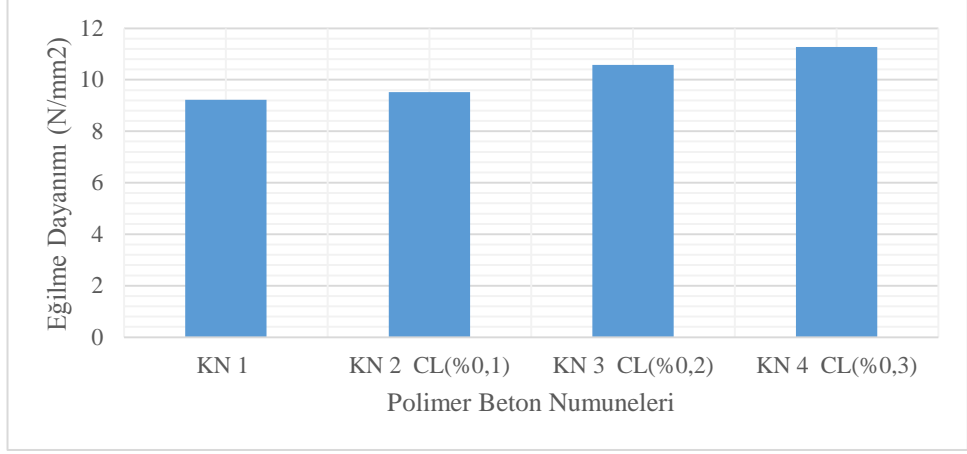
Sertleşerek kürünü tamamlayan polimer betonları üzerinde, eğilme deneyi yapılmıştır (Şekil 5.7). Mesnet açıklığı 12 cm alınarak, ortadan tekil yükleme yapılmıştır. Agrega yüzdeleri sabit, bağlayıcı olarak kullanılan reçine miktarları farklı olan birinci deney grubuna ait sonuçlar Tablo 5.11’de verilmiştir. Birinci grup deneylerin ortalama eğilme dayanımlarını gösteren sonuçlar Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Eğilme deneyi

Eğilme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )							
Deney No	1	2	3	4	5	6	Ortalama
KN 1	9,18	8,95	9,07	9,45	9,17	9,52	9,33
KN 2 CL(%0,1)	9,74	10,91	9,08	8,85	9,37	9,18	9,52
KN 3 CL(%0,5)	10,84	9,27	11,91	10,57	9,89	11,05	10,58
KN 4 CL(%1)	11,39	10,96	11,25	10,85	11,75	11,45	11,27

Tablo 5.11. Kuvars agregası ve cam lifi ile üretilen betonların eğilme dayanımı

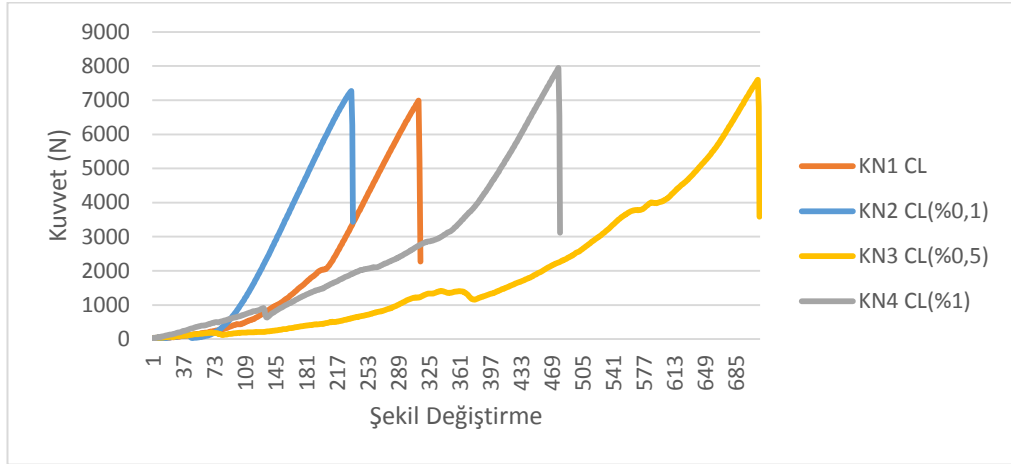


Şekil 5.8. Birinci grup deneylerin ortalama eğilme dayanımları

Birinci grup deneylere ait eğilme grafikleri Şekil 5.8’de gösterilmiştir. Bu deney numunelerinin eğilme grafikleri Şekil 5.9’da verilmiştir. Cam lifi ikameli polimer betonların eğilme miktarları Denklem 1’e göre hesaplanmıştır.

$$\delta = \frac{3 * P * l}{2 * b * d^2}$$

Denklem 1. Eğilme miktarının hesabı



Şekil 5.9 Cam lifi ikameli beton numunelerinin eğilme grafikleri

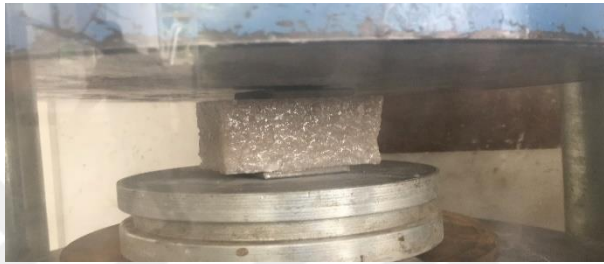
Birinci grup deneylerde çıkan eğilme sonuçlarına göre;

- Referans numunesine oranla %0,1 cam lifi ikameli beton numunesi %3,05 oranında artış göstermiştir.
- Referans numunesine oranla %0,5 cam lifi ikameli beton numunesi %14,75 oranında artış göstermiştir.

- Referans numunesine oranla %1 cam lifi ikameli beton numunesi %22,23 oranında artış göstermiştir.

### 5.5.2. Basınç deneyi

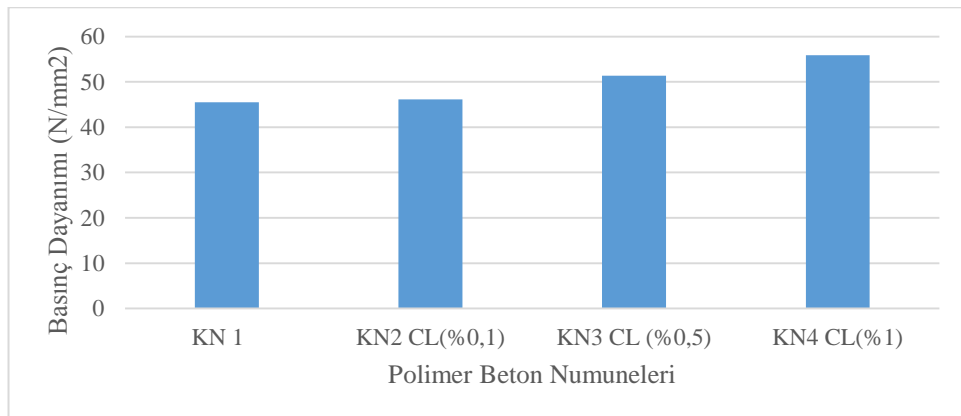
Polimer betonlarının basınç dayanımı, eğilme deneyi sonunda ikiye ayrılan numunelere 4\*4 cm ebadında başlık yerleştirilerek yapılmıştır (Şekil 5.10). Lif miktarının artmasıyla basınç sonuçları Tablo 5.12’de gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Basınç Deneyi

Tablo 5.12. Kuvars agregası ve cam lifi ile üretilen betonların basınç dayanımları

Deney No	Basınç Dayanımı (MPa)						Ortalama
	1	2	3	4	5	6	
KN1	47,87	53,88	46,53	43,54	38,55	42,74	45,51
KN1 CL(%0,1)	45,25	44,50	46,38	45,18	46,75	48,55	46,10
KN1 CL(%0,5)	47,05	51,18	59,50	48,87	50,75	51,07	51,39
KN1 CL(%1)	55,69	56,25	55,25	56,31	54,25	57,35	55,87



Şekil 5.11. Birinci grup deneylerin ortalama basınç dayanımları

Birinci grup deneylere ait polimer betonların ortalama basınç dayanımlarının artışı Şekil 5.11’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre;

- Referans numuneye oranla; %0,1 cam lifi takviyeli beton %1,29 oranında artış göstermiştir.
- Referans numuneye oranla; %0,5 cam lifi takviyeli beton %12,92 oranında artış göstermiştir.
- Referans numuneye oranla; %1 cam lifi takviyeli beton %22,76 oranında artış göstermiştir.

### 5.5.3. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Sertleşerek kürünü tamamlamış polimer beton numunelerinin birim hacim ağırlıkları Denklem 2'deki formül yardımıyla hesaplanmıştır. Birim hacim ağırlık miktarları Tablo 5.13' de gösterilmiştir.

$\Delta$  = Birim Hacim Ağırlık

$P_0$  = Numunenin Kuru Ağırlığı

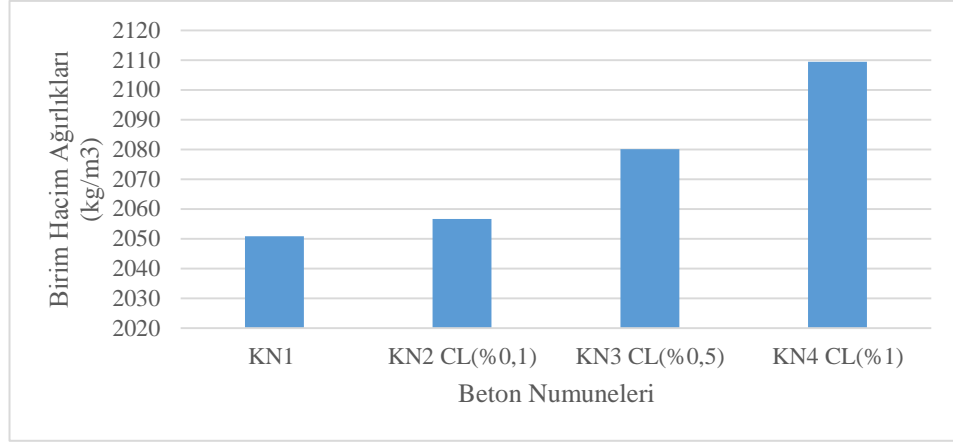
$V_t$  = Numunenin Hacmi

$$\Delta = \frac{P_0}{V_t}$$

Denklem 2. Birim Hacim Ağırlık Miktarının Hesabı

Tablo 5.13 Üretilen polimer betonların birim hacim ağırlıkları

Beton Numuneleri	Birim Hacim Ağırlıkları(kg/m <sup>3</sup> )
KN1	2050,781
KN1 CL(%0,1)	2056,641
KN1 CL(%0,5)	2080,078
KN1 CL(%1)	2109,375



Şekil 5.12 Polimer Betonların Birim Hacim Ağırlıkları

- Referans numuneye oranla; %0,1 cam lifli takviyeli betonun birim hacim ağırlığı, %0,002 oranında artış göstermiştir.
- Referans numuneye oranla; %0,5 cam lifli takviyeli betonun birim hacim ağırlığı, %1,46 oranında artış göstermiştir.
- Referans numuneye oranla; %1 cam lifli takviyeli betonun birim hacim ağırlığı, %2,83 oranında artış göstermiştir.

#### 5.5.4. Su Emme Miktarı

Üretilen beton numuneleri 24 saat suda bekletilerek kuru ağırlıkları ve ıslak ağırlıkları bulunarak numunelerin su emme miktarı Denklem 3'deki formülle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.14'de gösterilmiştir.

$P_1$  = Kuru Ağırlık

$P_2$  = Su emmiş Ağırlık

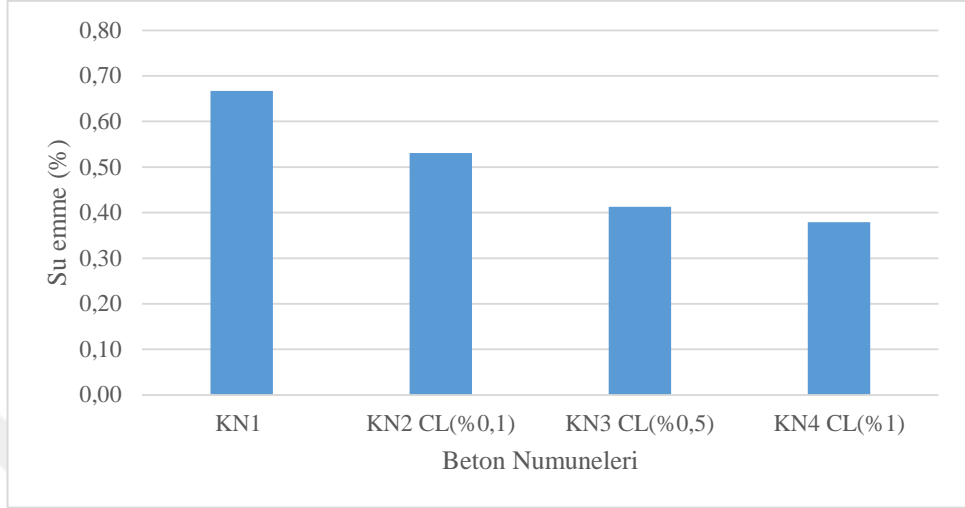
$$S_a = \frac{P_2 - P_1}{P_1} * 100$$

Denklem 3. Su Emme Miktarının Hesabı

Tablo 5.14 Üretilen polimer betonların su emme miktarları

Beton Numuneleri	Su Emme Miktarı (%)
------------------	---------------------

KN1	0,667
KN1 CL(%0,1)	0,531
KN1 CL(%0,5)	0,413
KN1 CL(%1)	0,379



Şekil 5.13 Üretilen polimer betonların su emme miktarları

Birinci grup deneylerde kullanılan lif miktarı arttıkça numunelerin su emme miktarları %0,75'azalmıştır (Şekil 5.13).

### 5.5.5. Porozite

Üretilen beton numuneleri 24 saat suda bekletilerek kuru ağırlıkları ve ıslak ağırlıkları bulunarak numunelerin porozite miktarları Denklem 4'deki formülle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.14'de gösterilmiştir.

$P_0$  = Porozite

$P_1$  = Kuru Ağırlık

$P_2$  = Su emmiş Ağırlık

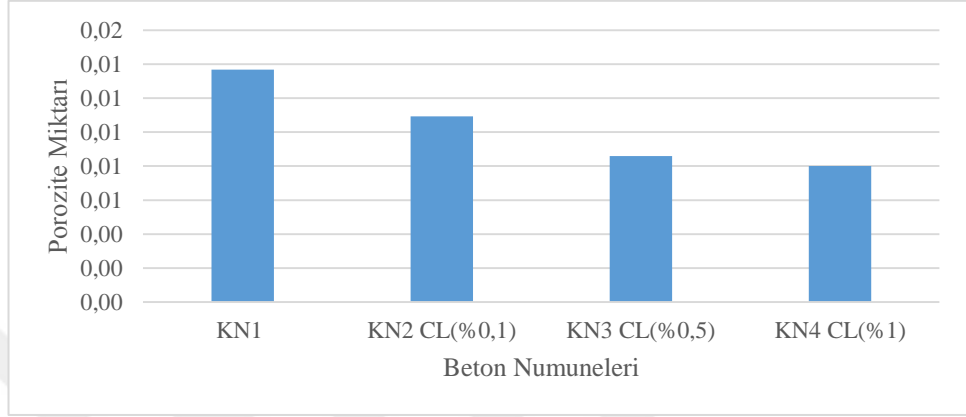
$V_t$  = Numune Hacmi

$$P_0 = \frac{P_2 - P_1}{V_t} * 100$$

Denklem 4. Porozite miktarının hesaplanması

Tablo 5.15 Üretilen polimer betonların porozite miktarları

Beton Numuneleri	Porozite
KN1	%1,36
KN2 CL(%0,1)	%1,03
KN3 CL(%0,5)	%0,86
KN4 CL(%1)	%0,08



Şekil 5.14 Üretilen polimer betonların porozite miktarları

Lif miktarı arttıkça polimer beton numunelerinin porozite miktarlarında düşme görülmektedir (Şekil 5.14).

### 5.5.6. Komposite

Malzemenin birim hacimdeki işgal ettiği gerçek hacimdir. Aynı zamanda dolu kısımların hacmidir. Komposite oranı daima birden küçüktür. Üretilen beton numuneleri 24 saat suda bekletilerek kuru ağırlıkları, ıslak ağırlıkları ve porozite miktarları bulunan numunelerin komposite miktarları Denklem 5'deki formülle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.16'da gösterilmiştir.

$t$  = Komposite oranı

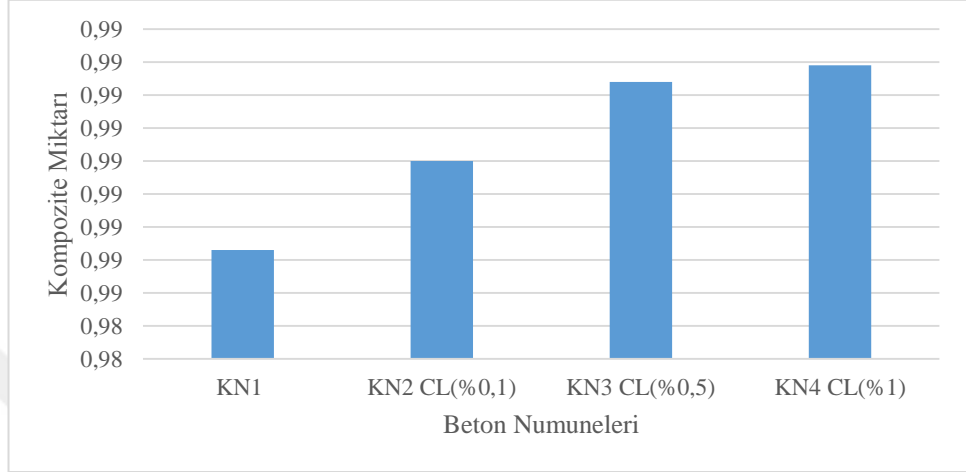
$P_0$  = Porozite oranı

$$t = 1 - P_0$$

Denklem 5. Komposite miktarının hesaplanması

Tablo 5.16 Üretilen polimer betonların kompasite miktarları

Beton Numuneleri	Kompasite
KN1	%98,63
KN2 CL(%0,1)	%98,90
KN3 CL(%0,5)	%99,14
KN4 CL(%1)	%99,19



Şekil 5.15 Üretilen polimer betonların kompasite miktarları

Lif miktarı arttıkça polimer beton numunelerinin kompasite miktarlarında artış görülmektedir (Şekil 5.15).

### 5.5.7. Maliyet Analizleri

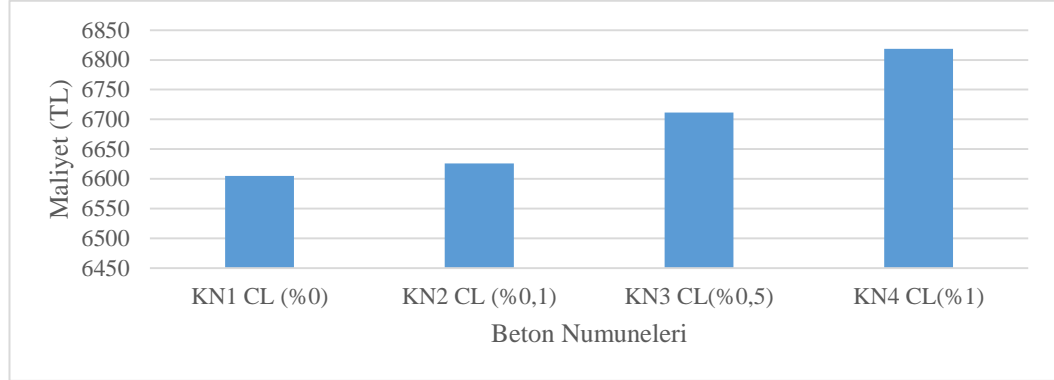
Üretilen beton numuneleri birinci deneyler maliyetleri açısından incelendi. Yapılan deney numunelerine göre maliyet analizleri fayda/maliyet açısından incelenmiş ve Tablo 5.17’de gösterilmiştir.

Tablo 5.17. Birinci grup deneylerde 1 m<sup>3</sup> beton için gereken maliyetler

KARIŞIM KODU	Karışım Oranlarına Göre Maliyetler (TL)							Toplam Maliyet
	Polyester Reçine	Kobalt	Sertleştirici	0-1 mm Kuvars	1-3 mm Kuvars	3-5 mm Kuvars	Cam Lifi	
KN1 CL (%0)	5.280,00	46,20	181,50	493,72 "	383,86 "	219,43 "	0,00 "	6.604,70
KN1 CL (%0,1)	5.280,00	46,20	181,50	492,62 "	383,86 "	219,43 "	22,50 "	6.626,11



KN1 CL(%0,5)	5.280,00	46,20 □	181,50 □	488,23 "	383,86 "	219,43 "	112,50	6.711,72
KN1 CL(%1)	5.280,00	46,20 □	181,50 □	482,74 "	383,86 "	219,43 "	225,00	6.818,73



Şekil 5.16. Birinci grup deneylerin maliyet analizleri

Birinci grup deney numunelerinde görülen maliyet artışı Şekil 5.16'da gösterilmiştir. Cam lifi miktarı arttıkça numunelerin maliyetlerinde artış gerçekleşmiştir.

## 5.6. İkinci Grup Deneylere Ait Karışım Kodları ve İçeriği

- KN1 : Reçine miktarı sabit (%40/ m<sup>3</sup>). Cam tozu ikamesi (%0)
- KN2 CT(%0,1) : Reçine miktarı sabit (%40/ m<sup>3</sup>). Cam tozu ikamesi (%0,1)
- KN2 CT(%0,5) : Reçine miktarı sabit (%40/ m<sup>3</sup>). Cam tozu ikamesi (%0,5)
- KN2 CT(%1) : Reçine miktarı sabit (%40/ m<sup>3</sup>). Cam tozu ikamesi (%1)

1 m<sup>3</sup> polimer betonda kullanılan kuvars agregası ve cam tozunun kendi aralarındaki hacimce dağılım oranları Tablo 5.18'de verilmiştir. 1 m<sup>3</sup> polimer betonda gerekli karışım ağırlıkları Tablo 5.19'da gösterilmiştir.

Tablo 5.18. 1 m<sup>3</sup> Polimer betonunda kullanılan kuvars agregası ve cam tozunun kendi aralarındaki dağılımları

KARIŞIM KODU	0-1 mm Kuvars	1-3 mm Kuvars (%)	3-5 mm Kuvars	Cam Tozu
KN1	45	35	20	0
KN2 CT(%0,1)	44,9	35	20	0,1
KN3 CT(%0,5)	44,5	35	20	0,5
KN4 CT(%1)	44	35	20	1

Tablo 5.19. 1 m<sup>3</sup> Polimer betonu için gerekli karışım ağırlıkları

Karışım Oranları (Ağırlıkça Kg/M3)							
KARIŞIM	Polyester	Kobalt	Sertleştirici	0-1 mm	1-3 mm	3-5 mm	Cam
KN1 CT1	440	1,32	7,26	705,3075	548,5725	313,47	0

KN2 CT2	440	1,32	7,26	703,74015	548,37	313,47	1,5
KN3 CT3	440	1,32	7,26	697,47075	548,37	313,47	7,5
KN4 CT4	440	1,32	7,26	689,634	548,37	313,47	15

## 5.7. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Sertleşerek kürünü tamamlandıktan sonra mekanik deneylerde eğilme ve basınç deneyi

Tablo 5.20. Kuvars agregası ve cam tozu ile üretilen betonların eğilme dayanımı

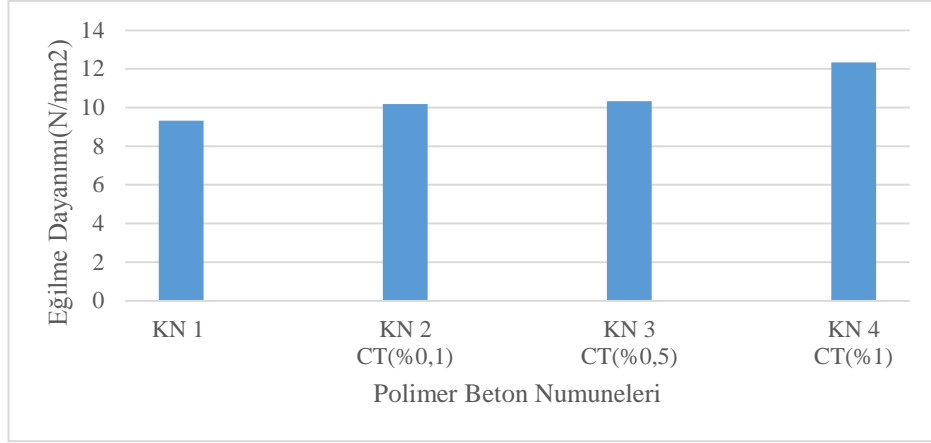
Deney No	Eğilme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )						Ortalama
	1	2	3	4	5	6	
KN1 CT1	10,27	9,37	8,95	8,84	9,39	9,18	9,33
KN2 CT(%0,1)	10,14	9,32	10,98	10,32	10,08	10,34	10,19
KN3 CT3 (%0,5)	9,78	10,42	10,33	10,18	10,67	10,7	10,34
KN4 CT4 (%1)	11,45	12,42	12,27	12,38	12,95	12,57	12,34

yapabilmek amacıyla 4\*4\*16 cm boyutunda prizmatik numune kalıpları kullanıldı. Polimer beton kalıba yerleştikten sonra vibrasyon uygulanmıştır. Standart deney koşullarında polimer betonlara kür ve bakım işlemleri yapılmıştır. Elde edilen numuneler 7 gün sonunda eğilme, basınç deneylerine tabi tutulmuş ayrıca fiziksel özellikler açısından birim hacim ağırlık, porozite, kompasite, su emme değerleri ve maliyet analizleri tespit edilmiştir.

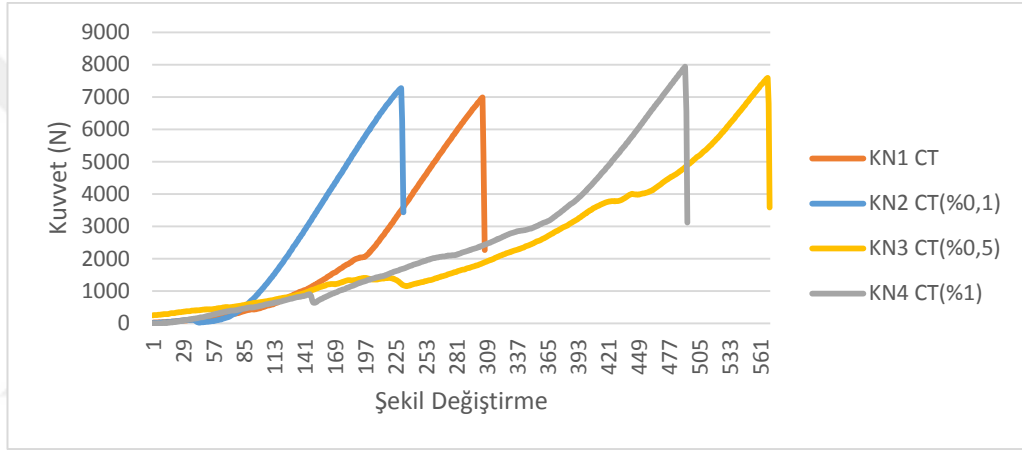
### 5.7.1. Eğilme deneyi

Priz olarak kürünü tamamlayan numuneler üzerinde eğilme deneyi yapılmıştır. Mesten aralığı 120 mm alınmış, ortadan tekil yükleme yapılmıştır. Polyester reçine oranı sabit, cam tozu ikamesi yapılan ikinci deney grubuna ait sonuçlar Tablo 5.20'de verilmiştir.

Cam tozu miktarının artmasıyla deney numunelerinin eğilme dayanımlarında artış görülmüştür. Bunun nedeni olarak cam tozunun, kuvars agregasına kıyasla daha ince bir malzeme olması nedeniyle betondaki aderansın artmasından kaynaklandığı söylenebilir. İkinci grup deneylerin ortalama eğilme dayanımlarını gösteren sonuçlar Şekil 5.17'de gösterilmiştir.



Şekil 5.17. İkinci grup deneylerin ortalama eğilme dayanımları



Şekil 5.18. İkinci grup deneylerin eğilme grafikleri

İkinci grup deney numunelerinin eğilme grafikleri Şekil 5.18’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre;

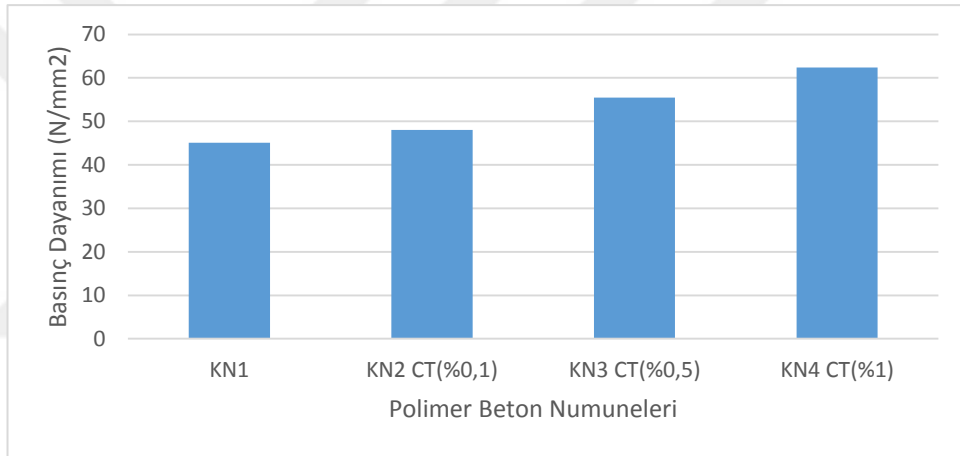
- Referans numunesine oranla, %0,1 cam tozu ikameli beton numunesi %9,21 oranında artış göstermiştir.
- Referans numunesine oranla, %0,5 cam tozu ikameli beton numunesi %10,81 oranında artış göstermiştir.
- Referans numunesine oranla, %1 cam tozu ikameli beton numunesi %32,26 oranında artış göstermiştir.

### 5.7.2. Basınç deneyi

Polimer betonlarının basınç dayanımı, eğilme deneyi sonunda ikiye ayrılan numunelere 4\*4 cm ebadında başlık yerleştirilerek yapılmıştır. İkinci grup deneylere ait basınç sonuçları Tablo 5.21’ de gösterilmiştir.

Deney No.	Basınç Dayanımı (Mpa)						Ortalama
	1	2	3	4	5	6	
KN1 CT	47,87	53,88	46,53	43,54	38,55	42,74	45,08
KN2 CT(0,1)	47,93	52,18	48,45	44,65	45,55	49,55	48,05
KN3 CT(%0,5)	54,31	56,75	54,93	55,05	54,25	57,56	55,46
KN4 CT(%1)	61,94	62,16	63,35	62,08	61,57	63,37	62,39

Tablo 5.21. Kuvars agregası ve cam tozu ile birlikte üretilen betonların basınç dayanımları



Şekil 5.19. İkinci grup deneylerin ortalama basınç dayanımları

İkinci grup deney numunelerinin basınç dayanımlarındaki artış Şekil 5.19’da gösterilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre;

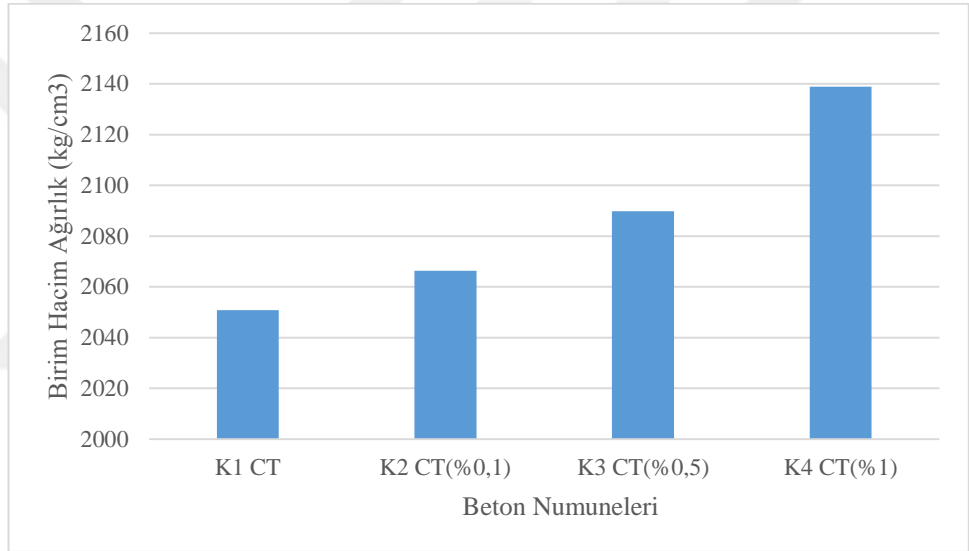
- Referans numuneye oranla; %0,1 cam tozu ikameli beton %6,58 oranında artış göstermiştir.
- Referans numuneye oranla; %0,5 cam tozu ikameli beton %23,02 oranında artış göstermiştir.
- Referans numuneye oranla; %1 cam tozu ikameli beton %38,39 oranında artış göstermiştir.

### 5.7.3. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Sertleşerek kürünü tamamlamış polimer beton numunelerinin birim hacim ağırlıkları Denklem 2'deki formül yardımıyla hesaplanmıştır. Birim hacim ağırlık miktarları Tablo 5.22' de gösterilmiştir.

Tablo 5.22. İkinci grup deneyde üretilen polimer betonların birim hacim ağırlıkları

Beton Numuneleri	Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )
K1 CT	2050,781
K2 CT(%0,1)	2066,406
K3 CT(%0,5)	2089,844
K4 CT(%1)	2138,906



Şekil 5.20. İkinci grup deneyde üretilen polimer betonların birim hacim ağırlıkları

İkinci grup deneylerde üretilen polimer betonların birim hacim ağırlıkları Şekil 5.20'de görüldüğü üzere artış göstermiştir.

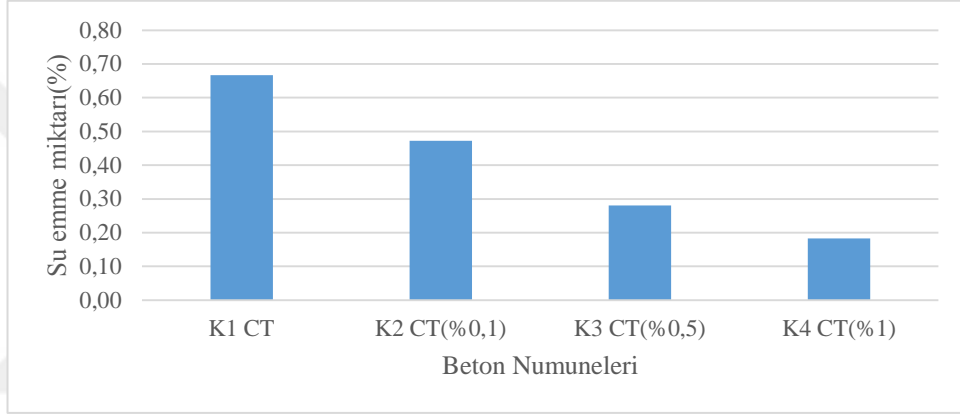
- Referans numuneye oranla; %0,1 cam tozu ikameli beton %0,07 oranında artış göstermiştir.
- Referans numuneye oranla; %0,5 cam tozu ikameli beton %1,90 oranında artış göstermiştir.
- Referans numuneye oranla; %1 cam tozu ikameli beton %4,29 oranında artış göstermiştir.

#### 5.7.4. Su Emme Miktarı

Üretilen beton numuneleri 24 saat suda bekletilerek kuru ağırlıkları ve ıslak ağırlıkları bulunarak numunelerin su emme miktarı Denklem 3'deki formülle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.25'da gösterilmiştir.

Tablo 5.23. İkinci grup numunelerin su emme miktarları

Beton Numuneleri	Su emme miktarı(%)
K1 CT	0,6667
K2 CT(%0,1)	0,4726
K3 CT(%0,5)	0,2803
K4 CT(%1)	0,1826



Şekil 5.21 İkinci grup numunelerin su emme miktarları

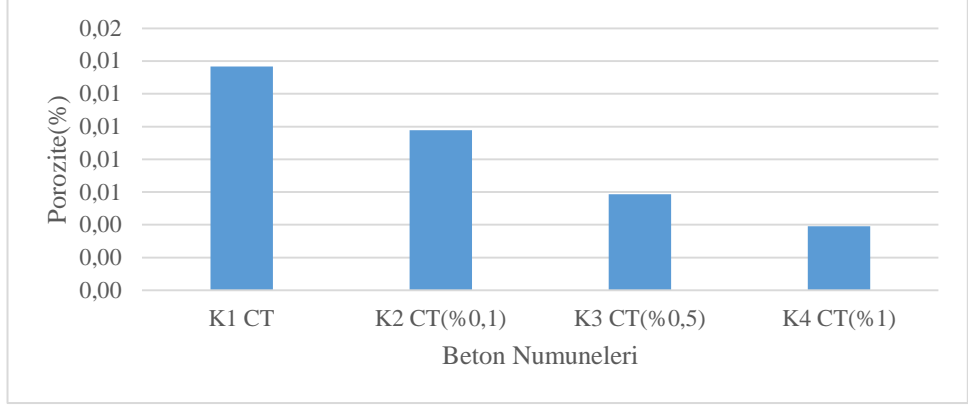
Üretilen ikinci grup deneylerde cam tozu miktarı arttıkça su emme miktarları azalmıştır (Şekil 5.21).

### 5.7.5. Porozite

Üretilen beton numuneleri 24 saat suda bekletilerek kuru ağırlıkları ve ıslak ağırlıkları bulunarak numunelerin porozite miktarları Denklem 4'deki formülle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.24'de gösterilmiştir.

Tablo 5.24. İkinci grup numunelerin porozite miktarları

Beton Numuneleri	Porozite
K1 CT	% 1,36
K2 CT(%0,1)	%0,97
K3 CT(%0,5)	%0,58
K4 CT(%1)	%0,39



Şekil 5.22. İkinci grup numunelerin porozite miktarları

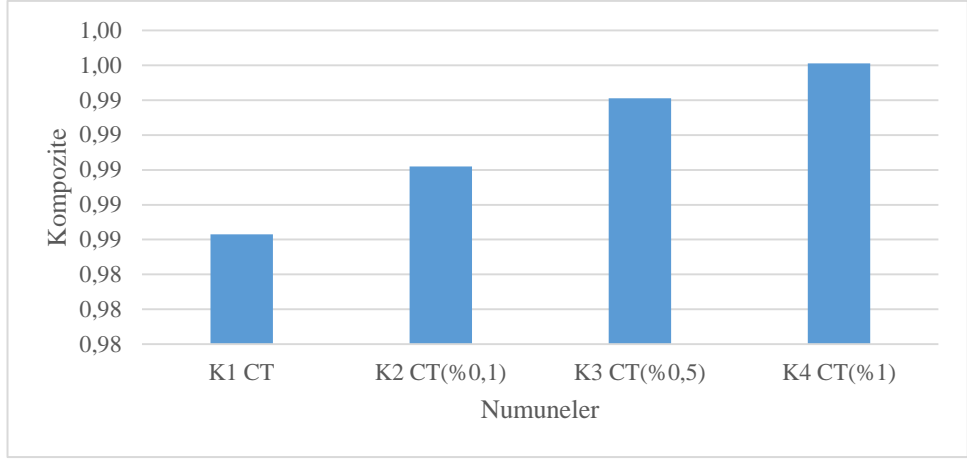
İkinci grup numunelerin porozite miktarları cam tozu ikamesiyle azalmıştır (Şekil 5.22). Bunun nedeni olarak cam tozunun daha iyi aderans sağlaması gösterilebilir.

#### 5.7.6. Kompozite

Üretilen beton numuneleri 24 saat suda bekletilerek kuru ağırlıkları, ıslak ağırlıkları ve porozite miktarları bulunan numunelerin kompozite miktarları Denklem 5'deki formülle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.25'de gösterilmiştir.

Tablo 5.25. Üretilen polimer betonların kompozite miktarları

Beton Numuneleri	Kompozite
KN1	%98,63
KN2 CL(%0,1)	%99,02
KN3 CL(%0,5)	%99,41
KN4 CL(%1)	%99,61



Şekil 5.23 İkinci grup numunelerin porozite miktarları

İkinci grup numunelerin kompozite miktarları cam tozu ikamesiyle artmıştır (Şekil 5.23). Bunun nedeni olarak cam tozunun daha iyi aderans sağlaması söylenebilir.

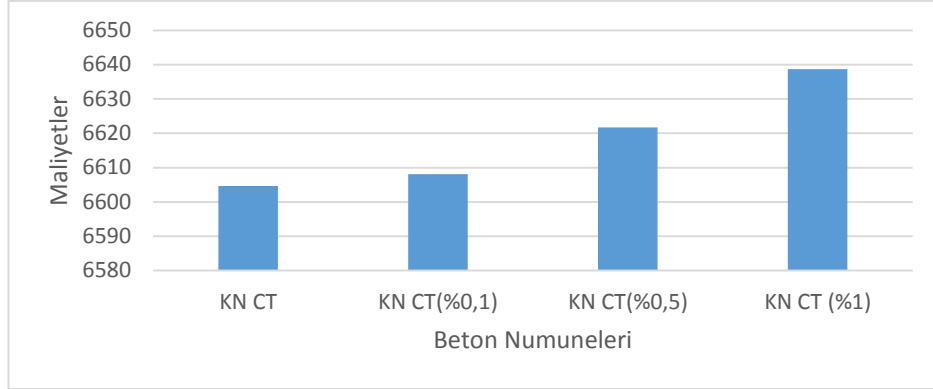
#### 5.7.7. Maliyet Analizleri

İkinci gruba ait üretilen beton numunelerinin maliyet analizleri Tablo 5.26'da verilmiştir.

KARIŞIM KODU	Polyester Recine	Kobalt	Sertleştirici	0-1 mm Kuvars	1-3 mm Kuvars	3-5 mm Kuvars	Cam Tozu	Toplam Maliyet
KN1 CT	5.280,00	46,20	181,50	493,72 "	383,86 "	219,43 "	0,00 "	6.604,70 "
KN2 CT(%0,1)	5.280,00	46,20	181,50	492,62 "	383,86 "	219,43 "	4,50 "	6.608,11 "
KN3 CT(%0,5)	5.280,00	46,20	181,50	488,23 "	383,86 "	219,43 "	22,50	6.621,72 "
KN4 CT (%1)	5.280,00	46,20	181,50	482,74 "	383,86 "	219,43 "	45,00	6.638,73 "

Tablo 5.26 İkinci grup deneylerde 1 m3 beton için gereken maliyetler





Şekil 5.24 İkinci Grup Deneylerin Maliyet Analizleri

İkinci grup deneylere ait maliyetlerin artışı 5.24’ de gösterilmiştir. Cam tozu miktarı arttıkça üretilen numunelerin maliyetleri artmıştır.

### 5.8. Üçüncü Grup Deneylere Ait Karışım Kodları ve İçeriği

Birinci ve ikinci grup deney sonuçları incelenerek maksimum elde edilen sonuçlar doğrultusunda üçüncü grup deney olan %1 cam tozu ve %1 cam lifi ikameli beton numunesi üretilmiştir. 1 m<sup>3</sup> polimer beton için kullanılan kuvars agregasının, cam lifinin ve cam tozunun kendi aralarındaki hacimce dağılımları Tablo 5.27’de gösterilmiştir. 1 m<sup>3</sup> beton için gereken ağırlıklar Tablo 5.28’de gösterilmiştir.

- KN1 CLT : Reçine miktarı sabit (%40/ m<sup>3</sup>). Cam tozu ikamesi (%1). Cam Lifi ikamesi (%1)

Tablo 5.27 1 m<sup>3</sup> Polimer betonda kullanılan kuvars agregası, cam lifi ve cam tozunun kendi aralarındaki dağılımları

KARIŞIM KODU	0-1 mm Kuvars (%)	1-3 mm Kuvars (%)	3-5 mm Kuvars (%)	Cam Lifi	Cam Tozu
KN1 CLT1	43	35	20	1	1

Tablo 5.28 1 m<sup>3</sup> polimer beton için gereken ağırlıkça karışım oranları

KARIŞIM ORANLARI (AĞIRLIKÇA kg/m <sup>3</sup> )								
KARIŞIM KODU	Polyester Reçine	Kobalt Sertleştirici	0-1 mm Kuvars	1-3 mm Kuvars	3-5 mm Kuvars	Cam Lifi	Cam Tozu	
KN1 CLT	440	1,32	7,26	702,3075	548,5725	313,47	15	15

## 5.9. Sertleşmiş Beton Deneyleri

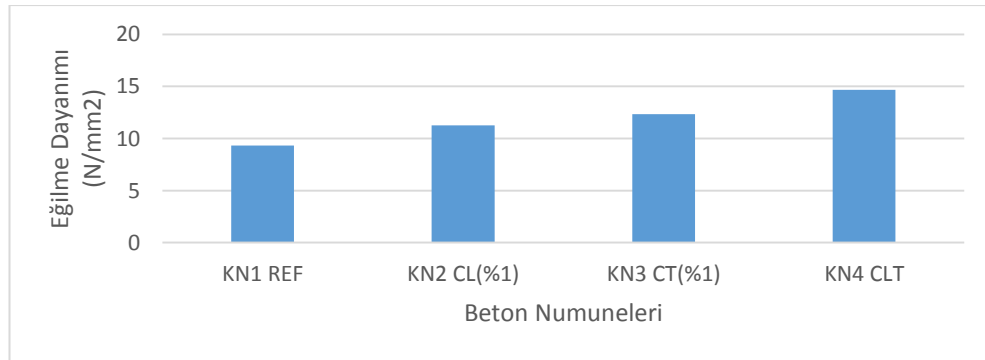
Sertleşerek kürünü tamandıktan sonra mekanik deneylerde eğilme ve basınç deneyi yapabilmek amacıyla 4\*4\*16 cm boyutunda prizmatik numune kalıpları kullanıldı. Polimer beton kalıba yerleştikten sonra vibrasyon uygulanmıştır. Standart deney koşullarında polimer betonlara kür ve bakım işlemleri yapılmıştır. Elde edilen numuneler 7 gün sonunda eğilme, basınç deneylerine tabi tutulmuş ayrıca fiziksel özellikler açısından birim hacim ağırlık, porozite, kompasite, su emme değerleri ve maliyet analizleri tespit edilmiştir.

### 5.9.1. Eğilme Deneyi

Priz alarak kürünü tamamlayan numuneler üzerinde eğilme deneyi yapılmıştır. Mesnet aralığı 120 mm alınmış, ortadan tekil yükleme yapılmıştır. Polyester reçine oranı sabit, cam tozu ve cam lifi ikamesi yapılan üçüncü deney grubuna ait sonuçlar Tablo 5.29'da verilmiştir.

Deney No	Eğilme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )						Ortalama
	1	2	3	4	5	6	
KN1 REF	10,27	9,37	8,95	8,84	9,39	9,18	9,33
KN2 CL(%1)	11,39	10,96	11,25	10,85	11,75	11,45	11,27
KN3 CT(%1)	11,45	12,42	12,27	12,38	12,95	12,57	12,34
KN2 CLT	13,95	14,97	14,77	14,93	14,55	14,87	14,67

Tablo 5.29 Üçüncü grup deneylere ait eğilme miktarları



Şekil 5.25. Üçüncü gruba ait numunenin eğilme dayanımının referans numunesiyle karşılaştırılması

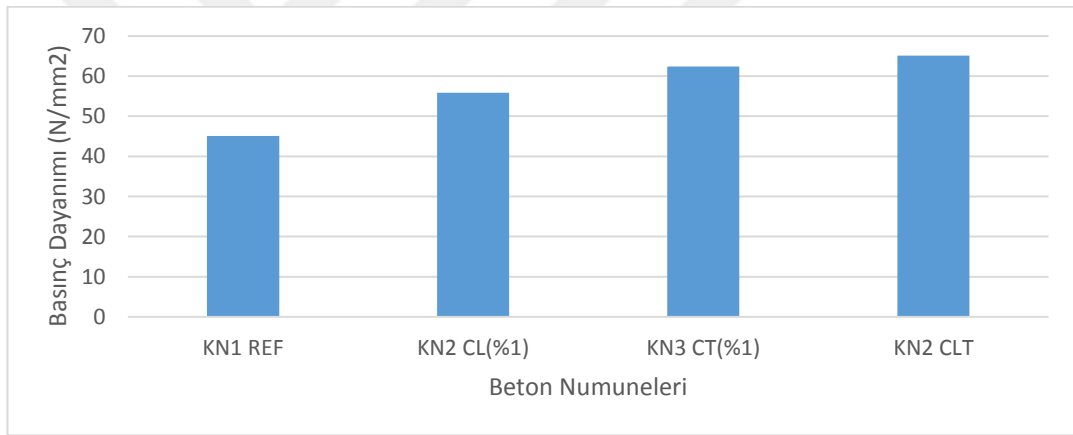
Üçüncü gruba ait eğilme sonuçları Şekil 5.25'de gösterilmiştir. Bu grafikten de görüldüğü üzere eğilme dayanımı %57,23 oranında artış göstermiştir.

### 5.9.2. Basınç Deneyi

Priz alarak kürünü tamamlayan numuneler üzerinde basınç deneyi yapılmıştır. Polyester reçine oranı sabit, cam tozu ve cam lifi ikamesi yapılan üçüncü deney grubuna ait sonuçlar Tablo 5.30’da verilmiştir.

Deney No	Basınç dayanımı (MPa)						Ortalama
	1	2	3	4	5	6	
KN1 REF	47,87	53,88	46,53	43,54	38,55	42,74	45,08
KN2 CL(%1)	55,69	56,25	55,25	56,31	54,25	57,35	55,87
KN3 CT(%1)	61,94	62,16	63,35	62,08	61,57	63,37	62,39
KN4 CLT	67,06	62,29	64,55	66,78	65,87	64,25	65,13

Tablo 5.30 Üçüncü grup deneylere ait basınç miktarları



Şekil 5.26. Üçüncü gruba ait numunenin basınç dayanımının referans numunesiyle karşılaştırılması

Üçüncü gruba ait eğilme sonuçları Şekil 5.26’da gösterilmiştir. Bu grafikten de anlaşılacağı üzere basınç dayanımı %44,47 oranında artış göstermiştir.

### 5.9.3. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Sertleşerek kürünü tamamlamış polimer beton numunelerinin birim hacim ağırlıkları Denklem 2’deki formül yardımıyla hesaplanmıştır. Birim hacim ağırlık miktarları Tablo 5.31’de gösterilmiştir.

Tablo 5.31 Üçüncü gruba ait numunenin birim hacim ağırlık sonucu

Beton Numuneleri	Birim Hacim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )
K1 CLT	2150,68

#### 5.9.4. Su Emme Miktarı

Üretilen beton numuneleri 24 saat suda bekletilerek kuru ağırlıkları ve ıslak ağırlıkları bulunarak numunelerin su emme miktarı Denklem 3'deki formülle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.32'de gösterilmiştir.

Tablo 5.32. Üçüncü grup numunelerin su emme miktarları

Beton Numuneleri	Su emme miktarı (%)
K1 CLT	% 0,127854

#### 5.9.5. Porozite

Üretilen beton numuneleri 24 saat suda bekletilerek kuru ağırlıkları ve ıslak ağırlıkları bulunarak numunelerin porozite miktarları Denklem 4'deki formülle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.33'de gösterilmiştir.

Tablo 5.33 İkinci grup numunelerin porozite miktarları

Beton Numuneleri	Porozite
K1 CLT	%0,2734

#### 5.9.6. Kompasite

Üretilen beton numuneleri 24 saat suda bekletilerek kuru ağırlıkları, ıslak ağırlıkları ve porozite miktarları bulunan numunelerin kompasite miktarları Denklem 5'deki formülle hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.34'de gösterilmiştir.

Tablo 5.34 Üretilen polimer betonların kompasite miktarları

Beton Numuneleri	Kompozite
KN1 CLT	%99,73

### 5.9.7.Maliyet Analizleri

Üretilen üçüncü grup deneylerin maliyet analizleri Tablo 5.35' de gösterilmiştir.

KARIŞIM KODU	Polyester Reçine	Kobalt	Sertleştirici	0-1 mm Kuvars	1-3 mm Kuvars	3-5 mm Kuvars	Cam Tozu	Cam Lifi	Toplam Maliyet
KN1 CLT	5.280,00 □	46,20 □	181,50 □	482,74 "	383,86 "	219,43 "	45,00 "	225,00 "	6.863,73 "

Tablo 5.35 Üçüncü grup numunelere ait maliyet analizi

## BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Polimer beton üretiminde kullanılan polyester reçineler tek başına kullanılmazlar. Maliyeti düşürmek, mukavemeti arttırmak, viskoziteyi değiştirmek amacıyla filler veya dolgu malzemeleri ile birlikte kullanılırlar. Kullanılan filler veya dolgu malzemeleriyle üretilen polimer betonların mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilemektedir.

Bu çalışmada polimer betonda dolgu malzemesi olarak kuvars agregasının yerine birinci grup deneylerde cam lifi, ikinci grup deneylerde ise cam tozu ikame edilmiş; basınç, eğilme, maliyet analizleri, birim hacim ağırlıkları, su emme oranı, porozite, kompozite oranları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre optimum sonuçları veren numuneler incelenerek üçüncü grup deneylerde cam lifi ve cam tozu birlikte kullanılmıştır. Üretilen numuneler 4x4x16 cm ebatlarında prizmatik numuneler halinde üretilmiştir. Üretilen numunelerde beton dökümünden hemen sonra 1 saat boyunca 80°C sıcaklıkta kür uygulanmıştır ve dayanımını kazanması için 7 gün boyunca laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Bu deneyler sonucunda elde edilen bulgular şunlardır:

1. Üretilen polimer betona ikameli olarak katılan cam lifi ve cam tozunun betonun basınç dayanımına etkileri karşılaştırıldığında, referans numuneye oranla;
  - a-) %0,1 cam lifi takviyeli betonun basınç dayanımı %1,29, %0,1 cam tozu ikameli beton %6,58 oranında artış göstermiştir.
  - b-) %0,5 cam lifi takviyeli betonun basınç dayanımı %12,92, %0,5 cam tozu ikameli beton %23,02 oranında artış göstermiştir.

c-) %1 cam lifi takviyeli betonun basınç dayanımı %22,76, %1 cam tozu ikameli beton %38,39 oranında artış göstermiştir.

d-) %1 cam tozu ve %1 cam lifi ikameli polimer betonun basınç dayanımı %44,45 oranında artış göstermiştir.

2. Üretilen polimer betona ikameli olarak katılan cam lifi ve cam tozunun betonun eğilme dayanımına etkileri karşılaştırıldığında, referans numuneye oranla;

a-) %0,1 cam lifi ikameli beton numunesinin eğilme dayanımı %3,05, %0,1 cam tozu ikameli beton numunesi %9,21 oranında artış göstermiştir.

b-) %0,5 cam lifi ikameli beton numunesinin eğilme dayanımı %14,75, %0,5 cam tozu ikameli beton numunesi %10,81 oranında artış göstermiştir.

c-) %1 cam lifi ikameli beton numunesinin eğilme dayanımı %22,23, %1 cam tozu ikameli beton numunesi %32,26 oranında artış göstermiştir.

d-) %1 cam lifi ikameli, %1 cam tozu ikameli beton numunesi %57,23 oranında artış göstermiştir.

4. Referans numuneye oranla, birim hacim ağırlıklarının karşılaştırılması; referans numuneye oranla;

a-) %0,1 cam lifi takviyeli betonun birim hacim ağırlığı, %0,002, %0,1 cam tozu ikameli beton %0,07 oranında artış göstermiştir.

b-) %0,5 cam lifi takviyeli betonun birim hacim ağırlığı, %1,46, %0,5 cam tozu ikameli beton %1,90 oranında artış göstermiştir.

c-) %1 cam lifi takviyeli betonun birim hacim ağırlığı, %2,83, %1 cam tozu ikameli beton %4,29 oranında artış göstermiştir.

d-) %1 cam lifi, %1 cam tozu ikameli beton %4,87 oranında artış göstermiştir.

5. Polimer reçineleri kendi başlarına su geçirmeyen malzemeler olup kuvars ile birleştiğinde su emme oranını düşürmüştür. Üretilen polimer betonlar için su emme oranı %0,09 civarındadır. Bu nedenle su emmeyen malzemeler olarak nitelendirilebilir.

6. Üretilen numunelerin porozite miktarları incelendiğinde; porozite değerlerinin düşük bir seviyede olduğu görülmektedir. Porozite değerleri ele alındığında bütün

polimer betonların çok düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Üretilen polimer betonların porozite oranları %0,05 civarındadır. Bunun nedeni, polimer beton üretirken kullandığımız polyester reçinesi ile agrega ve filler malzeme arasında boşluğun çok az miktarda kalmasından kaynaklanmaktadır. Bu değerler ihmal edilebilecek düzeydedir.

7. Üretilen numunelerin kompozite miktarları incelendiğinde; kompozite oranı polimer betonun, kuvars agregası ile birleşerek çok yüksek değerlerde olduğunu görmekteyiz. Filler malzeme ve kuvars agregasıyla birleşen polyester reçine çok iyi bir biçimde yerleşerek numunenin içerisinde boşluk kalmamıştır. Üretilen polimer betonların porozite oranları %99,95 civarındadır. Kompozite değerleri cam lifi ve cam tozunun ikame edilmesiyle %0,1 oranında artış göstermiştir.

8. Üretilen numunelerin maliyetlerinin karşılaştırılması, referans numuneye oranla;  
a-) %0,1 cam lifi takviyeli betonun maliyeti, %0,003, %0,1 cam tozu ikameli beton %0,007 oranında artış göstermiştir.

b-) %0,5 cam lifi takviyeli betonun maliyeti, %1,62, %0,5 cam tozu ikameli beton %0,02 oranında artış göstermiştir.

c-) %1 cam lifi takviyeli maliyeti %3,24, %1 cam tozu ikameli beton %0,05 oranında artış göstermiştir.

d-) %1 cam lifi, %1 cam tozu ikameli betonun maliyeti %3,92 oranında artış göstermiştir.

9. Üretilen numunelerin dayanımlarının maliyetlerinin karşılaştırılması, referans numuneye oranla;

a-) %1 cam lifi takviyeli numunenin basınç dayanımı %22,76, eğilme dayanımı %22,23 oranında artmasına rağmen maliyeti %3,24 oranında artmıştır.

b-) %1 cam tozu takviyeli betonun basınç dayanımı %32,26, eğilme dayanımı %57,23 oranında artış göstermesine rağmen, maliyeti %0,05 oranında artış göstermiştir

c-) %1 cam lifi, %1 cam tozu ikameli betonun basınç dayanımı %44,45, eğilme dayanımı %57,23 oranına artmasına rağmen maliyeti %3,29 oranında artmıştır.



10. Tüm üretilen polimer beton sonuçlarına incelendiğinde cam lifi ve cam tozunun kullanılmasıyla yüksek eğilme ve basınç dayanımlarının arttığı görülmüştür. Polimer beton içerisinde kullandığımız polyester reçinesi sebebiyle su emme ve porozite değerlerinin çok düşük olduğunu kompozite değerlerinin ise polimer beton içerisinde agregaların iyi yerleşmesi ve boşluğun neredeyse hiç kalmamasından dolayı çok yüksek olduğu tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] HAZER B., (1993); Polimer Teknolojisi, Fen Edebiyat Fakültesi, fakülte yayın no: 46, Genel Yayın No: 161, KTÜ Basınevi, Trabzon.
- [2] WILLIAMS D.J., (1971); Polymer Science and Engineer. Prentice Hall Int. Series, New York.
- [3] AKKURT S., (1991); Plastik Malzeme Bilgisi, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [4] AKAR A., (1991); Polimer Kimyasına Giriş, İstanbul.
- [5] WILLIAMS D.F., (1999); The Williams Dictionary of Biomaterials. Liverpool University Press. 343 p. Liverpool.
- [6] AKMAN S., (1987); Yapı Malzemesi Bilimi İ.T.Ü. İstanbul.
- [7] BAYSAL B., (1981); Polimer Kimyası Cilt 1 Polimerizasyon Reaksiyonu, ODTÜ, Ankara.
- [8] AKKOVALI D., (1993); Polimer Ders Notları. O.D.T.Ü, Ankara.
- [9] AKMAN M.S., (1990); Yapı Malzemeleri, 2.Baskı, İTÜ, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [10] VLACK L.H. VAN., (1972); Malzeme Bilimine Giriş, (Çeviren R.A Safoğlu), Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- [11] PİŞKİN A., (2010); Polimer Beton Üretiminde Cam Tozu Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

- [12] SHACKELFORD J.F., (1990); Introduction to Materials Science for Engineering, 2. Edition, New York; Macmilian
- [13] HOLLAWAY L., (1993); Polymer and Polymer Composites for Civil and Structural Engineering, Blackie Acedemic and Professionel, Glasgow.
- [14] KAYA F., (1983); Plastik Katkı Maddeleri ve İşleme Metodları, Yarımcı.
- [15] OHAMA Y., (1995); New Developments and Environmental Issues in Concrete-Polymers Composites, 8th ICPIIC Ooestende-Belgium, pp 27 July 3-5.
- [16] ACI Manual of Concrete Practice, Part-5 (1993).
- [17] YOUNG R.J., Introduction to Polymers, Chapman & Hall, London,(1981).
- [18] DIKEO JAMES T., and DAVID W. FOWLER, (1990); Polymer Concrete for Overlays and Precast Components; Cannel/ACI International Workshop on Advabces in Concrete Technology.
- [19] D.W., FOWLER, (1995); Applications of Polymer Concrete, Department of Civil Engineering, The University of Texas at Austin, USA,8th. Congress ICPIIC Oostende(Belgium),pp 13 July 3-5.
- [20] BAYRAM, Y., (2015); Polimer Betonların Bazı Termomekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [21] EKİNCİOĞLU, Ö., (2003); Karma lif içeren çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı bir optimum tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22] TOPSAKAL, A., (2013); Polimer Betonların Bazı Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [23] HOLLAWAY, L., (2012); Polymer and Polymer Composites for Civil and Structural, Engineering, Springer, 259p, Netherlands.
- [24] CZARNECKI, L., (1985); The Status of Polymer Concrete. Concrete International Design and Construction, 7, 47-53.
- [25] REBEIZ, K.S., FOWLER, D.W., (1991); Recycling Plastics in Polymer Concrete Systems for Engineering Applications. Polymer Plastics Technology Engineering, 30, 809-825.
- [26] ÖZTÜRK, M., (2013); Polimerle Modifiye Edilmiş Hafif Betonun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 67s, Trabzon.

- [27] ODIAN, G., (2004); Principles of Polymerization. A John Wiley & Sons, Inc., Publication, Fourth Edition, 812p, Canada.
- [28] AKMAN, M.S., (2000); Yapı Hasarları ve Onarım İlkeler, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Livane Matbaacılık ve Yayıncılık,177s, İstanbul.
- [29] ONARAN, K., (2003); Malzeme Bilimi. Bilim Teknik Yayınevi, 377s, İstanbul.
- [30] Türk Standardı Enstitüsü (TSE), (2010); Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, TS EN 12390-3, Ankara.
- [31] Türk Standardı Enstitüsü (TSE), (2002); Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, TS EN 12390-6, Ankara.
- [31] Boytek Reçine Tic. A.Ş., (2019); ‘’<https://www.boytek.com.tr/> -E.T. 29.08.2019’’
- [32] Eysim Madencilik Tic. A.Ş., (2019); ‘’ <http://eysim.com.tr/>- E.T. 29.08.2019’’
- [33] KA Madencilik Tic. A.Ş., (2019); ‘’<http://kamadencilik.com/cam-tozu.html/> - E.T. 29.08.2019’’
- [34] Dost Kimya End. Tic. A.Ş., (2019); ‘’ <https://www.kompozitshop.com/cam-fiber-kirpilmis-6mm> - E.T. 29.08.2019’’

## ÖZGEÇMİŞ

Yüksel Furkan Yıldırım, 06.03.1994' de Muğla'da doğdu. İlköğretim, ortaöğretim ve lise eğitimini Sakarya'da tamamladı. 2012 yılında başladığı Bayburt Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2016 yılında mezun oldu. 2017-2019 yılları arasında teknik ofis mühendisi olarak çalıştı. 2017 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Malzemesi alanında yüksek lisansa başladı. Halen Sakarya Üniversitesinde yüksek lisans ile eğitimine devam etmektedir.