

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER BETON ÜRETİMİNDE CAM TOZU
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah PIŞKIN

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK

Haziran 2010

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

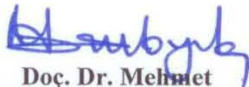
**POLİMER BETON ÜRETİMİNDE CAM TOZU
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

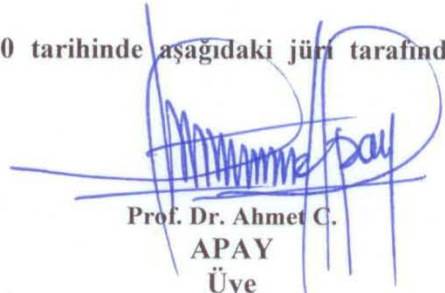
YÜKSEK LİSANS TEZİ


Abdullah Pişkin

Enstitü Anabilim Dalı : **YAPI EĞİTİMİ**

Bu tez 17/06/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Mehmet
SARIBIYIK
Jüri Başkanı


Prof. Dr. Ahmet C.
APAY
Üye


Prof. Dr. Kemalettin
YILMAZ
Üye

ÖNSÖZ

Teknolojik gelişmelerin temelinde, malzeme alanındaki ilerlemeler ve yeni buluşları yatmaktadır. Kompozit malzemeler bu gruplar içerisinde en önemlilerinden biri olarak çok geniş bir uygulama sahası bulmuştur. İki veya daha fazla malzemenin, üstün özelliklerini tek bir malzemede toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmeleri ile oluşturulan malzemeler, kompozit malzeme olarak adlandırılır. Polimer beton ise, sürekli polimer matrisi içinde reçine ve sertleştiriciden oluşan, kimyasal reaksiyon ile sertleşen ve çeşitli dolgu malzemeleri ile desteklenen, yüksek yapışma ve çok erken yüksek dayanım kazanabilme özelliğine sahip bir malzemedir.

Tez çalışmamda her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK' a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca deneysel çalışmalar esnasında ve yardıma ihtiyaç duyduğum daha pek çok konuda bana yardımcı olan İnş. Müh Recep TEK, deneylerin yapımı sırasında laboratuvar deney düzeneklerinin kullanımında yardımlarından dolayı Özyapı Hazır Beton Tesisi yöneticilerine ve laboratuvar teknisyeni Mehmet Tefik AKTÜRK, Ümit KESKİN' e teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezde sunulan araştırmalar, Sakarya Üniversitesi BAPK tarafından “Polimer betonlarda reçine viskozitesinin beton özelliklerine etkisi” başlıklı ve 2009-50-01-071 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Sakarya Üniversitesi tarafından verilen destek için teşekkür ederim.

Abdullah PİŞKİN

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
POLİMERLER	7
2.1. Polimer.....	8
2.2. Polimerlerin Sınıflandırılması.....	9
2.2.1. Termoplastikler.....	9
2.2.2. Termoset plastikler.....	11
2.2.2.1. Epoksi.....	12
2.2.2.2. Polyester.....	12
2.2.2.3. Fonefik.....	13
2.2.2.4. Slikon.....	13
2.2.2.5. Polymide.....	13
2.2.2.6. Bismaleimide.....	14
2.2.2.7. Amino reçineler.....	14
2.3. Polimer Malzemelerin Bileşenleri.....	14
2.3.1. Solvent'ler.....	14
2.3.2. Plastifiyanlar.....	15
2.3.3. Stabilizanlar.....	15

2.3.4. Dolgu maddeleri.....	15
2.3.5. Pigmentler.....	16
2.3.6. Katkı maddeleri.....	16
2.4. Polimerizasyon.....	16
2.5. Polimerlerin Özellikleri.....	17
2.5.1. Yüksek sıcaklığa dayanım ve ısıl denge.....	18
2.5.2. Kimyasal dayanıklılık.....	19
2.5.3. Oksidasyon direnci.....	19
2.5.4. Geçirgenlik.....	19
2.5.5. Yanıcılık	20

BÖLÜM 3.

POLİMER BETON.....	22
3.1. Polimer Beton Ürünlerinin İmalat Teknolojisi.....	22
3.1.1. Kalıplar.....	23
3.1.2. Polimer betonun yoğunlaştırılması.....	23
3.2. Polimer Beton Türleri.....	23
3.2.1. Polimer portland çimento betonları (PPCC).....	25
3.2.1.1. Latexler.....	26
3.2.1.2. Styren-butadien.....	27
3.2.1.3. Akrilik polimerler.....	27
3.2.1.4. Epoksi reçineleri.....	27
3.2.2. Polimer emdirme betonları (PIC).....	27
3.2.3. Polimer beton ve harçları (PC).....	29
3.3. Epoksi Reçineleri ve Epoksi Reçine Betonları.....	32
3.4. Furan Reçineleri ve Furan Reçine Betonları.....	34
3.5. Polyester Reçineleri ve Polyester Reçine Betonları.....	35
3.6. Polimer Betonun Yaygın Olarak Kullanım Alanları.....	35
3.6.1. Onarım.....	35
3.6.2. Prekast polimer betonlar.....	36
3.6.3. Yollar.....	36

BÖLÜM 4.	
POLİMER BETONUN İŞLENEBİLİRLİĞİ.....	38
4.1. Viskoz Davranış.....	39
4.2. Polimer Harç ve Betonlarının İşlenebilirlik Özellikleri.....	40
BÖLÜM 5.	
DENEY ÇALIŞMASI.....	42
5.1. Reçine Seçimi.....	43
5.2. Dolgu Malzemesi.....	44
5.3. Malzemeler ve Özellikleri.....	45
5.3.1. Polyester reçinesi.....	45
5.3.2. Agregalar.....	47
5.4. Karışım Hesapları.....	49
5.4.1. Karışım kodları ve açıklamaları.....	49
5.4.1.1. Birinci grup deneylere ait karışım kodları ve içeriği.....	50
5.5. Taze Harcın İşlenebilirlik Deneyleri.....	52
5.6. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	53
5.6.1. Brimi ağırlık deneyleri.....	53
5.6.2. Eğilme deneyi.....	54
5.6.3. Basınç deneyi.....	56
5.7. İkinci Grup Deneylere Ait Karışım Kodları ve İçeriği.....	58
5.8. Taze Harcın İşlenebilirlik Deneyleri.....	63
5.9. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	65
5.9.1. Birim ağırlık deneyi.....	65
5.9.2. Eğilme deneyi.....	67
5.9.3. Basınç deneyi.....	69
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71

KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	76

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

C	: Karbon
H	: Hidrojen
OH	: Hidroksil
COOH	: Karboksil
N ₂	: Azot
T _a	: Kristal erime noktası
T _g	: 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
η	: Viskozluk
ϕ	: Akıcılık
SV-6	: Polivaks
P	: Her elekten % geçen
d	: Elek göz açıklığı
D	: En büyük tane iriliği

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Polimerlerin yapısı.....	8
Şekil 2.2.	Termoplastik polimer zinciri.....	11
Şekil 2.3.	Termoset plastik polimer zinciri.....	11
Şekil 2.4.	Etilenin polimerizasyon başlangıcı.....	16
Şekil 2.5.	Etilen polimerizasyonunun sona ermesi.....	17
Şekil 3.1.	Polimerlerin betonda üç ayrı kullanımı.....	25
Şekil 4.1.	Taze harcın işlenebilirlik deneyi.....	38
Şekil 4.2.	Reçinenin viskozitesi.....	40
Şekil 4.3.	Reçine betonunun işlenebilirliğini etkileyen faktörler.....	41
Şekil 5.1.	Polimer beton numuneleri.....	42
Şekil 5.2.	Prizmatik numune kalıpları.....	43
Şekil 5.3.	Polyester reçinesi.....	44
Şekil 5.4.	Kuvars agregası.....	44
Şekil 5.5.	Kalıp ayırıcı (Polivaks SV6).....	46
Şekil 5.6.	Fuller eğrisi.....	49
Şekil 5.7.	Birinci grup deneylerinin karışım granülometrisi.....	50
Şekil 5.8.	Çökme (slump) deneyi.....	52
Şekil 5.9.	Birinci grup deneylerin çökme değerleri.....	53
Şekil 5.10.	Birinci grup deneylere ait birim ağırlık- reçine miktarı ilişkisi.....	54
Şekil 5.11.	Eğilme deneyi.....	55
Şekil 5.12.	Birinci grup deneylerin eğilme dayanımları.....	55
Şekil 5.13.	Birinci grup deneylerin ortalama eğilme dayanımları.....	56
Şekil 5.14.	Birinci grup deneylerin ortalama eğilme dayanımları.....	56
Şekil 5.15.	Birinci grup deneylerin basınç dayanımları.....	57
Şekil 5.16.	Birinci grup deneylerin ortalama basınç dayanımları.....	57
Şekil 5.17.	Birinci grup deneylerin ortalama basınç dayanımları.....	58
Şekil 5.18.	İkinci grup deney numunelerinin karışım granülmetrileri.....	60

Şekil 5.19.	Kuvars tozunun yerine %10 oranında cam tozu ikamesi.....	61
Şekil 5.20.	Kuvars tozunun yerine %20 oranında cam tozu ikamesi.....	61
Şekil 5.21.	Kuvars tozunun yerine %30 oranında cam tozu ikamesi.....	62
Şekil 5.22.	Kuvars tozunun yerine %40 oranında cam tozu ikamesi.....	62
Şekil 5.23.	Kuvars tozunun yerine %40 oranında cam tozu ikamesi.....	63
Şekil 5.24.	İkinci grup deneylerin çökme değerleri.....	64
Şekil 5.25.	KN2 ve KN2 CT1'e ait çökme deneyleri.....	64
Şekil 5.26.	KN2 CT2 ve KN2 CT3'e ait çökme deneyleri.....	64
Şekil 5.27.	KN2 CT4 ve KN2 CT5'e ait çökme deneyleri.....	65
Şekil 5.28.	İkinci grup deneylere ait birim ağırlıkla.....	66
Şekil 5.29.	Birinci ve ikinci grup deneylere ait birim hacim ağırlıklar.....	66
Şekil 5.30.	İkinci grup deneylerin ortalama eğilme dayanımları.....	67
Şekil 5.31.	İkinci grup deneylerin ortalama eğilme dayanımları.....	68
Şekil 5.32.	İkinci grup deneylerin ortalama eğilme dayanımları.....	68
Şekil 5.33.	İkinci gruba ait deneylerin basınç dayanımları.....	69
Şekil 5.34.	İkinci grup deneylerin ortalama basınç dayanımları.....	70
Şekil 5.35.	İkinci grup deneylerin ortalama basınç dayanımları.....	70

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Polimerlerin yanıcılık bakımından sınıflandırılması.....	20
Tablo 5.1.	Polyester reçinesine ait özellikler.....	45
Tablo 5.2.	Sertleştirici özellikleri.....	46
Tablo 5.3.	Kalıp ayırıcının özellikleri.....	47
Tablo 5.4.	Kuars agregası ve cam tozuna ait elek analizi.....	47
Tablo 5.5.	Agrega ve cam tozuna ait özellikler.....	48
Tablo 5.6.	Cam tozu kimyasal bileşenleri.....	48
Tablo 5.7.	1 m ³ Polimer betonunda kullanılan kuars agregası ve cam tozunun kendi aralarındaki dağılımları.....	51
Tablo 5.8.	1 m ³ Polimer betonu için gerekli karışım oranları.....	51
Tablo 5.9.	1 m ³ Polimer betonu için gerekli malzeme ağırlıklar.....	51
Tablo 5.10.	Deney numunelerinin granülmetrileri.....	52
Tablo 5.11.	Kuars agregası ile üretilen betonların eğilme dayanımı.....	55
Tablo 5.12.	Kuars agregası ile üretilen betonların basınç dayanımları.....	57
Tablo 5.13.	1 m ³ Polimer betonunda kullanılan kuars agregası ve cam tozunun kendi aralarındaki dağılımları.....	59
Tablo 5.14.	1 m ³ Polimer betonu için gerekli karışım oranları.....	59
Tablo 5.15.	1 m ³ Polimer betonu için gerekli karışım ağırlıkları.....	59
Tablo 5.16.	Deney numunelerinin granülmetrileri.....	60
Tablo 5.17.	Kuars agregası ve cam tozu ile birlikte üretilen betonların eğilme dayanımları.....	67
Tablo 5.18.	Kuars agregası ve cam tozu ile birlikte üretilen betonların basınç dayanımları.....	68

ÖZET

Anahtar Sözcükler: Polimer, polyester reçine, cam tozu, kuvars agrega, Fuller eğrisi

Yapılarda kullanılan malzemeler, sağlamlık ve mukavemetlik gibi iki temel özelliğe sahip olmalıdır. Bu yüzden yapıda yüksek mukavemetli malzemeler tercih edilmelidir. İki veya daha fazla malzemenin, üstün özelliklerini tek bir malzemede toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmeleri ile oluşturulan malzemeler, kompozit malzeme olarak adlandırılır. Polimer beton, sürekli polimer matrisi içinde, reçine ve sertleştiriciden oluşan, kimyasal reaksiyon ile sertleşen dolgu malzemesi olarakta kuvars kumu ile desteklenen bir kompozit malzemedir. Bu çalışmada polimer betonu üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılan kuvars agregası tozunun yerine %10- %20- %30- %40- %47 oranlarında cam tozu ikamesi yapılmış, üretilen betonun işlenebilirliği, basınç ve eğilme dayanımlarındaki değişimler araştırılmıştır.

USABILITY OF GLASS POWDER IN POLYMER CONCRETE

SUMMARY

Key Words: Polymer, polyester resin, glass powder, quartz aggregate, Fuller's curve

The materials that are used in construction have two basic characteristics which are stability and strength. That's why high strength materials must be used in constructions. To collect the excellent characteristics of two or more materials in one material or to discover a new characteristic, the materials which are composed in macro level combination designated as composite materials. The polymer concrete is a composite material which consists of resin and hardener in continuous polymer matrix and composes hardening filling materials with quartz sand in a chemical reaction. In this study for producing polymer concrete %10, %20, %30, %40, %47 percentage of glass powder was used instead of quartz aggregate powder and the exchange of concrete workability, compressive strength and bending strength results were compared.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yapılarda kullanılan malzemeler, sağlamlık ve mukavemetlik gibi iki temel özelliğe sahip olmalıdır. Günümüz binalarında kullanılacak malzemelerde olması istenen sağlamlık, malzemenin kendi atalet kuvveti ve dış kuvvetlere karşı direnç gösterebilecek düzeyde olmasıdır. İkinci özellik ise mukavemet özelliğidir. Malzemeye çeşitli yükler uygulandığında malzeme mutlaka karşı direnç göstermeli ve deformasyona izin vermemeli ya da deformasyon oluyorsa bile çok küçük boyutlarda kalmalıdır. Malzemenin mukavemet değeri, yük ile deformasyon arasındaki orantı ile belirlenir. Bu yüzden yapıda yüksek mukavemetli malzemeler tercih edilmelidir. İki veya daha fazla malzemenin, üstün özelliklerini tek bir malzemede toplamak ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmeleri ile oluşturulan malzemeler, kompozit malzeme olarak adlandırılır. Kompozitler yapay ve çok fazlı malzemelerdir. Yapıyı oluşturan bileşenler, kimyasal olarak farklıdır ve fazları birbirinden ayıran belirgin bir ara yüzey bulunmaktadır.

Kompozit malzemelerin çeşitlerine göre geleneksel malzemedeki avantajı, bileşenlerinin en iyi özelliklerini bir araya getirmesidir. Mukavemet, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, korozyon dayanımı, kırılma tokluğu, yüksek sıcaklık özellikleri, ısı iletkenlik, rijitlik, ağırlık, fiyat ve estetik görünüm gibi özelliklerinden biri veya birkaçı, kompozit malzeme üretimiyle iyileştirilebilmektedir.

Bir malzemenin kompozit malzeme olarak adlandırılabilmesi için;

- İnsan yapısı olması, dolayısıyla doğal bir malzeme olmaması,
- Kimyasal bileşenleri birbirinden farklı ve belirli ara yüzleri ayrılmaz en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması,
- 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.

Kompozit malzemeler iki ana başlık altında toplanırlar;

1. Takviye edilme şekillerine göre;
 - a) Parçacık takviyeli kompozitler,
 - b) Elyaf (lif)takviyeli kompozitler,
 - c) Lamine (levha) kompozitler,
2. Matris elemanlarına göre;
 - a) Metal matrisli kompozit,
 - b) Seramik matrisli kompozit,
 - c) Polimer matrisli kompozit,

Polimerler, monomer denilen kimyasal ünitelerden meydana gelen, zincirler şeklinde bir yapıya sahip olan sentetik malzemelerdir. Doğada 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.)

Plastiklerin (yapay polimerler) yapısı amorf haldedir. Bu yüzden, uzun ve karışık zincirlerin birbirleri ile uyum sağlayıp düzenli bir yapı oluşturmaları oldukça zordur. Bir lineer polimer yapısı pişmiş makarnayı andırır ve polimer zincirleri birbirlerine

dolanmış halde bulunur. Amorf, ana yapı içerisinde bulunan küçük yapılı bölgeler, kristalitler olarak adlandırılır ve oluşan kristaller rastgele yönlendirilir. Kristalleşme soğuma hızı ile ters, mekanik özellikler ile doğru orantılıdır. Plastik ana maddesi olan polimerlerin çoğu su renginde, yani renksizdir. Bu yüzden plastik ham maddelerinin üretiminde renk verici katkı maddeleri kullanılarak istenilen renk elde edilir [2].

Kimyasal maddeler (pigmentler) ile renkli görünüş elde edilebildiği gibi çözünür boyalar ile şeffaf bir görünüş elde etmek de mümkündür. Plastik malzemelerin yumuşaklığı ve çizilmeye karşı direncin az olması, onların olumsuz yönlerinden biridir. Cam, seramik ve metallere göre plastiklerin sertliği çok azdır. Renklendirilmiş plastikler, üzeri boya ile kaplanmış plastiklere göre daha serttir. Burada çizilmeye karşı direnç malzemenin tümündedir, oysa boya ile kaplı olan plastiğin çizilmeye karşı gösterdiği direnç ince bir boya filminden ibarettir. Plastikler içinde özellikle termoplastiklerin sertliği, sıcaklığın ve üretimine katılan ilave maddelerin artmasıyla düşer. Termosetler gerekli ve özel dolgu maddeleriyle sert bir şekil alır. Termosetlerde sıcaklığın artmasıyla sertliğin azalması, yok denecek kadar azdır.

Plastik maddeler için yoğunluk $0,9-2,0 \text{ gr/cm}^3$ arasındadır. Bu yüzden ağırlığın birinci planda olduğu yerlerde plastiklerin kullanımı düşünülmemelidir. Plastiklerin hafif olmalarının diğer bir özelliği ise ağırlık esasına göre satılmalarıdır. Oysa plastiklerin uygulanması pratikte hacim hesabına göredir. Plastikler kırılma, yumuşaklık ve sertlik gibi mekanik özellik gösteren maddelerdir. Metal, seramik gibi malzemelere göre dış etkenlere karşı daha duyarlıdır. Plastik maddelerin mekanik özellikleri arasında yer alan çekme, uzama ve kopma dirençleri en önemli özellikleridir. Sıcaklık plastiklerin mekanik özelliklerine en çok etki yapan faktörlerden biridir [3]. Diğer malzemelerde sıcaklıktan etkilenirler, ancak plastiklerin etkilendikleri sıcaklık değerleri diğer Malzemelere göre daha düşüktür. Genellikle sıcaklığın artmasıyla esneme noktasında, kopma ve esneklik sınırlarında hızlı bir düşme görülür ve uzama artar. Sıcaklık düşüncü kırılma artar. Bu yüzden plastik seçilirken düşük sıcaklıktaki mekanik özellikleri dikkate alınmalıdır. Termoset plastiklerde sıcaklıktan etkilenme bu derecede fazla olmaz.

Plastiklerin genleşme katsayısı, ısı iletkenliği, özgül ısı, ısıyla bozulma sıcaklığı, ısı direnciye yancılığı en önemli ısı özellikleridir. Plastiklerin düşük ısı iletkenlikleri, onlara bazı üstünlükler sağlar. Bu yüzden plastikler ısı yalıtıcı maddeler arasında yer alırlar. Düşük ısı iletkenliği, büyük sıcaklık aralıkları meydana getirir. Bu nedenle plastikler yalıtım maddesi olarak kullanılırken, plastiğin bozulmasını neden olacak yüksek sıcaklıklarda kullanılmaması gereği vardır. Isı iletkenliğinin düşük olması, kütle halinde istenen sıcaklığa düzgün bir şekilde çıkarılmasını zorlaştırır. Plastiklerin ısıya karşı dirençleri çok düşüktür. Bazı plastikler oda sıcaklığında bile bozulurlar ve bu türler kendi ağırlıklardan başka bir yük altında tutulmamalıdır.

Polimer ürünleri, yapılarında gözenek olmadığından seramiğe göre düzensizliklerden dolayı, daha az iletkenlerdir. Elyafimsı dolgu maddeleri içerenler bu genellemenin dışındadır. Bu nedenle sıcaklıkta bu özellikleri azalır ve bu şartlarda seramik daha üstün yalıtıcıdır. Genel olarak, organik yüksek polimerlerin hacimsel direnci kimyasal karışıma, dolgu maddelerine, sıcaklığa ve rutubete bağlı olarak değişir. Plastikler kolay şekillendirilmeleri ile gösterdikleri mekanik ve fizikî özelliklerden dolayı, cam, seramik ve metallerin yerine kullanılmaktadır. Plastiklerin kullanışları ve kullanıldıkları alanlar, gösterdikleri mekanik özelliklere bağlıdır, plastik malzeme metaller gibi makinelerde işlenebilir ve kaynak edilebilirler. Kaynak ederek ve yapıştırarak birleştirme, metallerin kaynakla birleştirilmelerine benzemektedir. Plastikler kalıplama, enjeksiyon gibi işlemlerle şekillendirilebilirler. Plastiklerin, gösterdikleri mekanik, fizikî ve kimyasal özelliklere göre beş ana grupta kullanım alanları vardır.

- Kaplama ve film
- Kalıplanmış ve dökme malzemeler
- Standart şekiller
- Yapıştırıcı
- Elyaf ve lif

Kalıp ve döküm ile plastiklere istenilen biçim verilebilir. Piyasada bulunan çok çeşitli dökme tipi polimerlerin içerisine dolgu malzemesi olarak kullanılan değişik

agrega ve filler tipleriyle çok küçük parçadan çok büyük parçaya kadar sayısız şekil ve boyutta polimerlerden yapılmış parça elde etmek mümkündür.

Polimer beton, sürekli polimer matriksi içinde, reçine ve sertleştiriciden oluşan, kimyasal reaksiyon ile sertleşen dolgu malzemesi olarakta kuvars kumu ile desteklenen bir malzemedir. Kuvars kumu reçineye veya sertleştiriciye önceden katılmış olabileceği gibi üçüncü bir komponent olarakta ayrıca katılabilir.

Granülmetrik bileşim iyi ayarlanmalıdır ki, agregalar arasında boşluk çok az olsun. Dolayısıyla bu boşlukları dolduracak polimer miktarı da az olsun. Polimer betonun kimyasal yapısı, emici olmamasından dolayı su sızdırmaz ve yer altı inşaatı için de ideal bir hammadde karışımıdır. Çimento bağlayıcı harçlar klor esaslı, asidik çözeltilere, sülfat etkilerine dayanmazken, polimer esaslı harçlar gerek tamir harcı, gerekse kaplama olarak dayanıklılık gösterirler. Polyester esaslı malzemeler yangın sıcaklığında çözünerek bağlayıcı ve taşıyıcı özelliklerini kaybedebilirler. Bu yüzden kritik uygulamalarda bu durum göz önünde bulundurularak, yangına karşı kaplama ile korunmalıdır ve alevle direk olarak asla temas etmemelidirler. Polimer beton suya çok mukavim bir malzeme olmakla beraber pürüzsüzlüğü sayesinde yüksek hidrolik kapasiteye sahiptir.

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

- Portland çimentolu betonlara katkı malzemesi olarak,
- Beton yüzeyi üzerine aşınmaya ve kaplamanın kaymasına karşı,
- Yapısal ve dekoratif konstrüksiyon panellerinde,
- Kanalizasyon borularında, yer altı tünel ekipmanlarında, drenaj kanallarında,
- Jeotermal uygulamalarda karbon-çelik boruların astarlanmasında,
- Yüzme havuzlarında ve güvertelerde,

Buradan da anlaşıldığı gibi, polimer betonların çok çeşitli kullanım alanları vardır. Böylece polimer betonun asla tek bir üretim grubunun faaliyeti olmadığı açıkça görülmektedir. Uygulanabilirliği ve performansı agreganın şekli ve granülometrisine bağlıdır. Polimer tabakasının özellikleri ve kopolimerizasyon tekniklerine bağlı olarak farklı üretimler elde edilebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında polimer betonu üretiminde ince malzeme olarak kullanılan kuvars tozunun yerine %10-%20-%30-%40-%47 oranlarında cam tozu ikame edilerek, betonun işlenebilirlik ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesine çalışılmıştır. Yapılan 1. grup deneylerde polyester reçine miktarı hacimce %37,5-%40-%42,5 ve %45 kullanılıp kuvars agregasıyla karıştırılarak deney numuneleri yeterli dayanımı kazandıktan sonra polimer betonunun basınç, eğilme, taze haldeki işlenebilirliği ve son olarakta ekonomik özelliği dikkate alınarak ideal sonucu sağlayan reçine miktarı baz alınarak ikinci grup deneylere geçilecektir. 2. Grup deneylerde bu karışımda kullanılan kuvars tozunun yerine cam tozu ikame edilerek polimer betonunun basınç dayanımı, eğilme dayanımı, taze haldeki işlenebilirlikleri birbirileriyle karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 2. POLİMERLER

2.1. Polimer

Yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerin, yani makro moleküllerin varlığı ilk olarak 1920'li yıllarda Hermann Staudinger tarafından öne sürülmüş ve geçen 90 sene içinde polimerler günlük yaşamımızın hemen her safhasında kullanılır hale gelmiştir. Sahip oldukları üstün özellikleri nedeniyle polimerik malzemelerin kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır. Polimerlerin başlıca avantajları, hafif oluşları, korozyona karşı dayanıklı oluşları ve kolay işlenebilirlikleridir. Yapı malzemeleri olarak polimerlerin çok büyük bir önemi vardır. Bugün dünyada üretilen polimerlerin yaklaşık %30'u her sene yapı endüstrisinde kullanılmaktadır [4].

Polimerler monomer adı verilen küçük moleküllerin ardı ardına dizilmesi ile oluşan uzun zincirli yapılardır. Tek bir polimer zincirinde binlerce ya da milyonlarca monomer bulunur. Polimer zincirini oluşturan monomerlerin özellikleri ve zincirlerin birbirleri ile olan etkileşimleri polimer malzeme özelliklerinde belirleyici olmaktadır. Genelde polimer denince ilk akla organik polimerler gelmesine rağmen inorganik polimerler de oldukça yaygındır. Polimer zincirleri doğrusal yani lineer olabildiği gibi dallanmış yapıda da olabilir, bu durumda ana zincirden yan dallar ayrılmaktadır. Yan dallar başka ana zincirlere bağlanıyorsa oluşan polimerlere çapraz bağlı polimerler denir ki, günümüzde kullanılan polimerlerin yarıya yakını çapraz bağlı yapıdadır. Çapraz bağlı polimerler hiç bir solventte çözünmezler ancak sıvıları emerek şişerler ve bir jel oluştururlar [5].

Genelde polimerlerde kristal ve amorf bölgeler bir arada bulunmaktadır. Kristal bölgeler malzemeye sertlik ve kırılgenlik, buna karşılık amorf bölgeler malzemeye tokluk verir. Dolayısıyla malzemenin kristalinite derecesi mekanik özelliklerinde çok

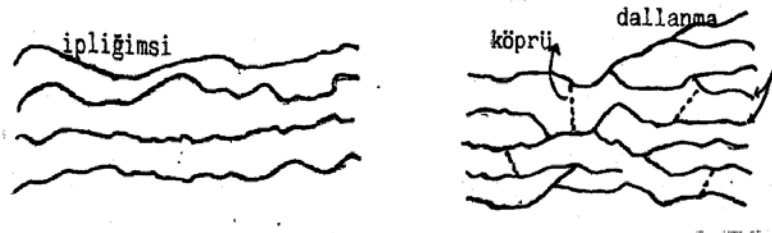
önemlidir. Düzenli yapılar ya da lineer zincirler kristal oluşumunu kolaylaştırır. Moleküller arası çekim kuvvetleri de kristaliniteyi arttırmaktadır. Polimerlerin termal özellikleri onların erime ve camsı geçiş sıcaklıkları ile tanımlanır. Polimer zincirler camsı geçiş sıcaklığı T_g 'nin altında donmuş bir yapıda T_g 'nin üzerinde ise kauçuksu durumdadır. Bu sıcaklıkları yan gruplar ya da zincirin sertliği belirlemektedir. Polimerlerin mekanik özellikleri ise çekme-uzama testleri ile belirlenir [6].

Mekanik özelliklerine göre polimerler:

1. Elyaf ve sert plastikler
2. Yumuşak plastikler
3. Elastomerler olarak gruplandırıyoruz.

Polimerleri oluşum mekanizmalarına göre 2 gruba ayırıyoruz:

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



Şekil 2.1. Polimerlerin yapısı

2.2. Polimerlerin Sınıflandırılması

Doğada var olan bu malzemelerin başlıcaları; kömür, ham petrol, su, hava ve kireçtir. Yapay olarak da elde edilebilen organik polimerik malzemeler ise plastikler, elastomerler ve fiberlerdir. Polimerler; yapay polimerler ve doğal polimerler olarak iki gruba ayrılır [7].

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

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

Kristalleşme soğuma hızı ile ters, mekanik özellikler ile doğru orantılıdır. Kompozitlerde, matriks malzemesi olarak genellikle plastikler kullanılır. Plastikler de kendi içinde iki gruba ayrılırlar[8].

- “Termo” plastikler
- “Termoset” plastikler

2.2.1. Termoplastikler

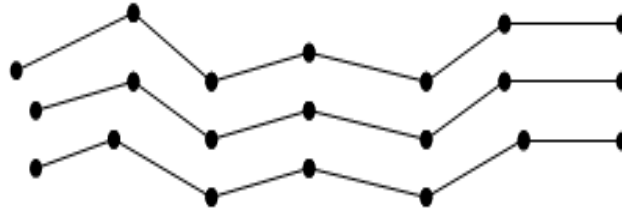
Termoplastiklerin molekülleri birbirlerine zayıf olan Van der Waals bağları ile bağlıdır. Bu özelliğinden dolayı termoplastikler, rijit bir yapıya sahip değildir. Isı ile şekil değiştirebilen ve şekil değiştirdiğinde yapısal değişikliğe uğramayan plastiklerdir. Bu tip plastikler, yüksek sıcaklıklarda yumuşarlar, eriyik haline gelirler ve tekrar soğutulduklarında sertleşirler. Sıvı halde bulunduğu sıcaklıklarda viskozitesi yüksektir. Bu nedenle ara yüzey bağı termosetlere göre daha zayıftır. Düşük sıcaklıklarda bile kolay şekil verilmesi, malzemeye ekonomik değer katar.

Termoplastikler çeşitli sıcaklıkta ve hallerde bulunur. Bunlar:

- a) Katı Hal: Malzeme, cam gibi sert ve tokluk arz eden sert bir haldedir.
- b) Termoelastik Hal: Bu, malzemenin yüksek elastikiyete sahip olduğu durumdur.
- c) Termoplastik Hal: Bu durumda, malzeme akışkan bir sıvı halindedir. Bu haldeyken malzeme, balmumuna benzer, ısıtıldığında yumuşar, erir ve şekil verilebilir. Bu grupta, akrilikler, selülozikler, naylonlar, polistirenler, polietilenler, karbonflorürler ve viniller vardır. Başlıca termoplastikler; asetal (POM), akrilik (PMMA), akronitril-butadiene-streyn (ABS), politetra flourethylene (PTFE), poliamids (PA), polyesterler (PET), polietilen (PE), polipropilene (PP), polivinil klorür (PVC) dir.

Termoplastikler, üretimlerindeki zorlukların yanı sıra yüksek maliyetlerinden dolayı kompozit malzemelerde matris olarak tercih edilmezler. Ayrıca, oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlar, buda onların üretimde zaman kaybına yol açmasına neden olur. Bazı termoplastikleri istenilen şekillere sokabilmek için çözücülere (solventlere) ihtiyaç duyulabilir. Termoplastikler, termosetlere kıyasla, hammaddesi daha pahalıdır. Diğer bir sebep ise, termoplastik bağlayıcı malzemelerin, termoset reçinelerden daha gevrek olmasıdır.

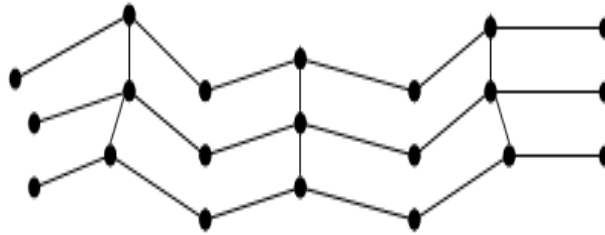
Fakat termoplastiklerin neme karşı dayanımları yüksektir. Ayrıca, yüksek süneklik özelliği sayesinde, ortalama elastik modülü, yüksek mukavemetli liflerin, kompozitin içinde tüm mukavemet potansiyellerini kullanmalarını sağlayabilen nadir bağlayıcılardır. Termoplastik reçineler, malzemenin çekme ve eğilme dayanımını arttırması için kullanılırlar. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan termoplastikler, uçak sanayisinde de yüksek performanslı malzeme çözümlerinde de kullanılmaktadırlar. Çoğunlukla enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplama yöntemleri ile üretilen termoplastikler, GMT (Glass Mat Reinforced Thermoplastics / Preslenebilir Takviyeli Termoplastik) olarak da üretilmektedir. Bu yöntemle hazırlanan takviyeli termoplastikler, soğuk plakaların preslenebilmesi ve geri dönüşüme uygun olduğundan dolayı, özellikle otomotiv sektöründe tercih edilmektedir. Bunların dışında plastik çanta, plastik boru gibi çeşitli malzemeler de üretilmektedir.



Şekil 2.2. Termoplastik polimer zinciri

2.2.2. Termoset plastikler

Termosetler, ısı işlem yardımıyla üretilen ve geri dönüşümü olmayan plastiklerdir. Yani, bir kez ısı ile şekil verildikten sonra, yapısal değişikliğe uğrayan ve tekrar şekillendirilemeyen plastiklerdir. Ayrıca, erime özelliğinin olmaması termoplastikler gibi akıcılık kazanmasını önler. Buna karşın, yangında kömürleşerek doğal bir ısı yalıtım tabakası oluştururlar.



Şekil 2.3. Termoset plastik polimer zinciri

Termosetler, polimerizasyonla iki kademedede elde edilirler. İlk olarak, malzemenin ihtiva ettiği monomerler, reaktörde lineer zincirler oluşturmaya başlar. İkinci polimerizasyon işlemi ise kalıplama esnasında, sıcaklık ve basınç altında önceden reaksiyona girmeyen kısımlar sıvılaşarak molekül zincirlerini üç boyutlu olarak rijitleştirirler [9]. Bu yüzden tekrar ısı işlem ile yumuşatılamazlar. En çok tercih edilen termosetler;

- Epoksiler,
- Polyesterler,

- Fenoliklerdir.
- Silikon
- Polymide
- Bismaleimide (BMI)
- Amino Reçineler

2.2.2.1. Epoksi

Epoksi reçineler, yüksek mukavemetli CTP kompozitlerinde sıkça kullanılan bir matrikstir. Epoksi reçineleri neme karşı hassas olsalar bile, polyesterlere karşı daha üstün özellik göstermektedirler. Isıl işlem görmemiş epoksiler, düşük polimerizasyon derecesine sahiptir. Bu yüzden, epoksinin moleküler ağırlığını ve çapraz bağı arttırmak için ısıl işlem uygulanır. Isıl-işlem görmüş epoksilerin dayanımı yüksek, ısı ve kimyasallara karşı dirençleri iyidir. Yüzey kaplamaları, endüstriyel döşemeler, yapıştırıcılar ve CTP' lerde matriks malzemesi olarak kullanılırlar. Ayrıca epoksinin yalıtım özellikleri nedeni ile çeşitli elektronik uygulamalarda, örneğin transistor ve baskı devre plakalarında da kullanılmaktadır.

2.2.2.2. Polyester

Polyester kelimesi birleşik bir kelime olup, çok anlamındaki “poly” ve organik tuzu ifade eden terim olan “ester” den oluşur. Polyester kelimesi çok sayıda organik tuz olarak ifade edilebilir. Ayrıca ester molekül zincirlerini de Polimer olarak tanımlayabiliriz. Doymamış polyester reçinelerin ilk pratik uygulama örneği, 2. Dünya savaşındadır. Fakat cam elyafı ile takviye edildiğinde, çok sağlam ve hafif bir malzeme olduğunun anlaşılması 1950'lerdedir. Günümüzde doymamış polyester reçineler, ilk hallerine göre çok daha üstün özelliklere sahiptirler.

Doymamış polyester reçine, Türkiye'de ve dünyada CTP üretiminde en yaygın olarak kullanılan ve takviyeli plastikler içinde ise termoset grubunda yer alan bir malzemedir. Basit kalıplama tekniklerden, en karmaşık makineleşmiş kalıplama tekniklerine kadar her tür kalıplama tekniğine hitap eder. Polyester reçineler, çok

geniş bir kimyasal aileyi kapsar ve genel olarak dibazik asitlerle polihidrik alkollerin kondensasyon reaksiyonu sonucunda elde edilirler. Kullanılan dibazik asit türüne bağlı olarak, doymamış polyester reçineler, kompozitin genel amaçlı veya kimyasal dayanımlı olmasını sağlayacak şekilde “ortoftalik” veya “izoftalik” olarak adlandırılır.

Bu reçineler, kimyasal etkilere dayanıklı boru ve reaktörlerde, tren vagonlarında, iş aletlerinde, duş kabinlerinde, otomotiv gövde, parça ve kapılarında kullanılmaktadır. Genel amaç, kimyasal etkilere karşı yalıtımın ve ısı geçirimsizliğinin sağlanmasıdır.

2.2.2.3. Fonelik

Ticari ismi bakalit olan fonelikler tahta ununun, selüloz elyafları ve kalıplama malzemesi olarak kullanılan minerallerin birleştirilmesinde kullanılır. Fenolikler, gevrek yapıya sahip olmalarına karşın kimyasal ve boyutsal kararlılığı iyidir. Bununla birlikte, malzemeye koyu renkler verilebilmekte fakat diğer renkler sınırlı olarak uygulanabilmektedir. Fonelikler toplam reçine kullanımının %10'unu kapsar. Bu reçineler genellikle ahşap yapıştırıcısı, baskı devre plakaları ve fren balatası yapımında bağlayıcı olarak kullanılmaktadır.

2.2.2.4. Silikon

Silikonlar, inorganik ve yarı-inorganik polimerlerin molekül yapılarında tekrarlanan siloxane bağının farklı şekillerde bağlanması ile üretilen bağlayıcı, elastomer ve termosetting gibi 3 çeşitte bulunurlar. Termoset silikonlar çapraz bağlara sahiptirler. Bu tip reçineler boyama, parlatma ve kaplama işlerinde kullanılırlar.

2.2.2.5. Polymide

Diğer reçinelerin aksine, polymide reçineler kür esnasında gaz açığa çıkaran bir yoğunlaşma reaksiyonu ile işlenmektedir. Bu esnada çıkan gaz, kompozitin içinde hava boşlukları oluşturduğundan mukavemet kaybına yol açmaktadır. Fakat bu

durum, polyimide reçinelerin, 260°C'lik sıcaklıklarda bile kullanımını mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, polyimide reçinelerin son kür esnasında gaz çıkarmayan birkaç cinsi de mevcuttur.

2.2.2.6. Bismaleimide

Bismaleimide reçineler, epoksi reçineleri gibi, iyi mekanik özelliklere sahiptirler ve nispeten işleme kolaylığı sağladığından matriks olarak aranan bir malzemedir. Epoksi reçinelere kıyasla ısı dayanımı yüksek olup, 205-220°C'ye kadar güvenle kullanımı mümkündür. Fakat bu tür reçinelerde çekme mukavemetinin düşük, çekme modüllerinin ise nispeten yüksek olması nedeniyle gevrek kırılma yaparlar.

2.2.2.7. Amino reçineler

Bu reçine cinsi, çok katı ve parçacıklı yapıya sahip plakalarda yapıştırıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Fakat fiyat olarak fenoliklerden pahalıdır.

2.3. Polimer Malzemelerin Bileşenleri

Teknikte kullanım amaçlarına uygun olarak birçok yan malzemelerle karıştırılırlar. Bu malzemeleri de gruplandırmak mümkündür.

2.3.1. Solvent'ler

İşlemede kolaylık sağlayan bu maddeler, depolanma sırasında kararlı, fizyolojik yönden aktif olmayan, renksiz ve berrak olmalıdırlar. Buharlaşma hızlarına göre hızlı, orta hızlı ve yavaş olmak üzere üçe ayrılırlar.

Bunlar;

- | | |
|---|----------|
| a) Hızlı buharlaşanlar; aseton, eter, benzin | 1-10 |
| b) Orta hızlı buharlaşanlar; xylene, butanol, cyclohexanone | 12-163 |
| c) Yavaş hızla buharlaşanlar; cyclohexanone, glycol | 460-3000 |

Burada eterin buharlaşma hızı 1 alınarak diğerlerinin buharlaşma hızları bağıl olarak gösterilmiştir.

2.3.2. Plastifiyanlar

Bunlar viskoz sıvı veya katı olan, plastiklere esneklik veren ve özellikle düşük sıcaklıklarda elastik kalmalarını sağlayan maddelerdir. İyi bir plastifiyan buharlaşmamalı ve karışımında homojen dağılmalıdır.

Sulandırıcılar da bu grup içinde sayılabilir. Bunlar solvent olmayıp, polimerin çökmesine yol açmadan solüsyonu sulandıran maddeleridir. Klorlanmış parafin bu tür malzemeye örnektir.

2.3.3. Stabilizanlar

Sıcaklık ve ultraviyole ışınlar altında plastiğin bozulmaması için yüzde veya binde oranında katılan maddelerdir. Bunlar metallerin organik tuzlarıdır. Genellikle kurşun, kalay, baryum, kadmiyum, strontium, stearat'lardır. Tabi bu tuzlar zehirlidir. İçme suyu tesislerinde, gıda sanayinde kullanılmayıp, onların yerine alkalın metal tuzlarından yararlanılır.

2.3.4. Dolgu maddeleri

Bu maddelerin kullanılmasındaki ana amaç, plastiğin yapım maliyetini düşürmektir. Ancak dolgu maddeleri sayesinde, sertlik, sıcaklık ve ışığa dayanıklılık, elektriksel direnç veya iletkenlik özellikleri iyileştirilebilir. Bunlardan mineral kökenliler, amiont, kuvars, kaolin, bentonit, metal tozları, metal oksitler, cam lifleridir. Organik kökenliler ise ahşap, mantar tozları, selüloz, pamuk, kenevir lifleri, naylon, orlon lifleri ve plastik madde atıklarıdır.

2.3.5. Pigmentler

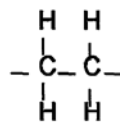
Renklendirme işleminde kullanılırlar. Pigmentler reçine ve solvent içinde erimemeli, kararlılığını korumalıdır. Yine sıcaklık ve ultraviyolede de etkilenmemelidir. Pigmentler mineral veya organik olurlar. Mineraller daha ağır ve kararlı olup örtme yetenekleri daha üstündür. Bunlar boya sanayinde kullanılan metaloksitler türündedir.

2.3.6. Katkı maddeleri

Katkı maddeleri tıpkı betonda olduğu gibi belirgin özellikler kazandırılmak üzere kullanılan maddelerdir. Fungicideler, yosun ve mantarlara karşı kullanılırlar, bakır ve civa organik tuzları. Ignifuganeler; alev yayılmasını önleyen maddelerdir, klorlanmış parafinler, antimuan tuzları. Antistatikler; elektrostatik olarak toz tutan plastiklerin bu özelliğini nispeten gidermek üzere katılırlar. Lübrifian(yağlayıcılar); kolay şekil verilebilmesi için katılırlar, mumlar, metal sabunlar, koloidal grafit. Kalıptan çıkmayı kolaylaştıran ve kalıba sürülen maddeler,;çinko stearat, teflon, silikon vernikleri vb.

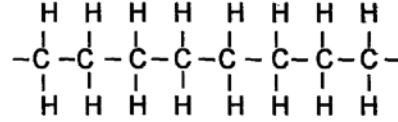
2.4. Polimerizasyon

Polimerizasyon polimer malzemenin oluşumuna imkan veren kimyasal bir reaksiyondur. Karbon atomları birbirleriyle, kararsız olarak nitelenen ikili, üçlü bağlarla da bağlı olabilirler. Bu bağları bir enerji vererek, ısıtarak, ışınlayarak, basınç uygulayarak kırmak ve teke indirmek mümkündür [10]. Bu işlem sonunda 4 valanslı karbon artık başka atomlarla, gruplarla birleşmeye hazır hale gelirler.



Şekil 2.4. Etilenin polimerizasyon başlangıcı

Bu birleşme ısı yayarak oluşur ve yayılan ısı kararsız bağı koparmak için gerekenden çok fazladır. Bu olayın en ilginç yönü reaksiyon bir kere başlayınca, yani ilk bağlar kırılınca, birleşmenin kendiliğinden ve çok hızlı bir biçimde gelişmesidir.



Şekil 2.5. Etilen polimerizasyonunun sona ermesi

Etilenin örnek olarak gösterildiği bu birleşme eklenme türü polimerizasyondur. Olay öylesine hızlı gelişir ki meydana gelen dev molekülün ucuna yeni CH₂ 'lerin kavuşması için gerekli diffüzyon hızı yetersiz kalır ve polimerizasyon durur. Tüm polimerizasyon süreçlerinde başlama, gelişme ve sona erme aşamaları vardır [10].

Birinci aşama bir aktivasyon enerjisi gerektirir (Isı, ışınlama, katalizör). Üretimde en önemli noktalardan biri gelişmenin denetim altına alınmasıdır. Aksi halde farklı boyda heterojen bir molekül yapı oluşur. Bu denetim, ısının, ışığın kontrolü ile sağlanır ve tamamen kimyasal teknolojinin sorunudur. Eklenme polimerizasyonunda ortamda tek bir mer yerine, iki mer var ise, bunların birleşiminden oluşan ve metallerdeki alaşıma benzeyen bir ürün elde edilmektedir. Buna Kopolimer, olaya da Kopolimerizasyon adı verilmektedir.

2.5. Polimerlerin Özellikleri

- Polimer malzeme ısı ve elektrik yalıtkanıdır. Bunda iç bağların kovalent oluşu etkindir.
- Polimer malzemeler makaslamaya duyarlıdır, kayma dirençleri düşüktür. Çoğunda yüksek basınç ve çekme dayanımları elde edilebilmektedir.
- Kimyasal etkilere dayanıklılıkları yüksektir. Çoğunlukla asitlere, bazlara iyi dayanırlar. Buna karşılık organik solventlere dayanıklılıkları iyi değildir. Bu solventler, aseton, eter, xylene, cycleohexanol, glycol vb. maddelerdir. Özellikle

kloroform plastiklerin çoğunluğu üzerinde etkin bir solventtir. Esasen bir polimeri tanımlamada muhtelif solventlerdeki davranış, belirli bir süreç içinde incelenir. Bu arada tanımlamada alev alma ve oluşan dumanın rengi, kokusu, alevin rengi, külün görünüşü de yararlı bilgiler verir. Piroliz de (bir deney tüpü içerisinde ve yüksek sıcaklıkta ısıtmak) bir tanımlama yöntemidir.

d) Yüksek sıcaklıklar polimerler için daima tehlikelidir. Bazı türleri 300-400°C'a kadar dayanmakla beraber (polifluoretilen, teflon, melamin vb.) çoğunluk 80°C'yi aşılması halinde zarar görürler.

e) Polimerlerin suya karşı dayanıklılıkları genellikle iyidir. Ancak bazıları, özellikle su buharına karşı duyarlı olurlar ve bozulabilirler.

Ayrıca bu özellikleride saymak gerekir;

- Polimerler genellikle düşük yoğunlukludurlar.
- Değişik renk ve türleri vardır. Renklendirme olanakları iyidir.
- Kullanımları, işlenebilmeleri iyidir ve kolaydır.

2.5.1. Yüksek sıcaklığa dayanım ve ısı denge

Aromatik polimerlerin ve inorganik polimer malzemelerin gelişmesiyle bu işlem başarıya ulaştı. Polimerlerin yapısındaki benzen halkaları ve bağ zincirleri onu sağlam ve deformasyonlara karşı dirençli bir yapıya dönüştürüyor. Çözülebilirlik, yük altında deformasyon sıcaklığa bağlı olarak azalır.

Yüksek sıcaklık dayanım elde etmek için diğer bir yol inorganik malzemeler kullanmaktır. Örneğin; silikon polimerleri gibi silikon oksijen bağlarının bulunmasından dolayı sıcaklık direnci oldukça yüksektir. Ancak kimyasal dirençleri plastıklere göre düşüktür.

2.5.2. Kimyasal dayanıklılık

Polimerlerin kimyasal dayanımı kimyasal yapısına ve monomerlerin moleküler dizilimine bağlıdır. Hidroksil(OH) ve karboksil(COOH) gibi polar gruplara sahip polimerler genellikle düz veya şişmiş olarak çözülür, su veya alkol gibi polar sıvılar tarafından. Fakat gazolin, benzen ve karbontetraklorid gibi polar olmayan solventlere dirençlidir. Polimerlerin molekül ağırlığı arttıkça çözünürlüğü veya şişme eğilimi düşmektedir. Yüksek molekül ağırlıklı polimerler genellikle yüksek viskozitelerde akar. Polimerler asitlere ve alkalilere karşı iyi kimyasal dayanım gösterir. Bununla birlikte kesin polar gruplar içerir ve onları kimyasal dayanıma hassas hale getirir.

2.5.3. Oksidasyon direnci

Birçok ticari polimerler ya üretim safhasında veya kullanım süresince atmosferik oksijen nedeniyle oksidasyona hassastır. Molekül ağırlığı zincir düzenine veya çapraz bağlanmaya göre değişmektedir, buna sebep fiziksel özelliğinin bozulmasıdır. Polyesterler, poliüretanlar, poliamidler, polikarbonatlar genellikle oksidasyon altında fiziksel özelliklerdeki küçük değişikliklerle birlikte solar ve rengini kaybeder. Bununla birlikte yüksek sıcaklıklarda veya U.V.'de fiziksel özellikleri hasar görebilir. Polimere ve reaksiyon tipine bağlı olarak polimer yıkılır, ergime akışında değişiklikler olur.

2.5.4. Geçirgenlik

Polimerlerin gazlara ve sıvılara karşı geçirgenliği polimerlerin kimyasal dayanımıyla ilgilidir. Gaz geçişi düzgün kanallarda katı molekül parçalarıyla birlikte meydana gelir. Kristalsi, camsı veya yüksek çapraz bağlı polimerler de geçiş difüzyonla olur ve viskoz malzemeler bu geçiş sırasında bir miktar tutunabilir. Difüzyon, polimer yapısında bulunan bazı komponentler içindeki gaz çözücüler tarafından artabilir. Yüksek kristallik derecesi, yüksek yoğunluk ve yüksek çapraz bağlanma derecesinin sonucudur. Polimer boyunca hem sıvı hem de gazlardaki difüzyon oranı azalması sonucu olarak kimyasal direnç artar. CO₂'in O₂ ne N₂ diğer gazlara göre geçirimsizlik

oranı daha yüksektir. Araştırmalara göre bu oran sırasıyla N₂, O₂, CO₂ için 1:4:14'tür [11].

Geçirimsizlik polimerlerin uygulandığı endüstri sektöründe önemli rol oynar. Örneğin; polimer filmleri, plastik kovalar, korozyona dirençli kaplamalar, elektrik uygulamaları, endüstriyel membranlar gibi uygulamalarda bu özelliğinden yararlanır.

2.5.5. Yanıcılık

Polimer yanması dönüşümlü olarak tekrarlanır. Yanma polimerin yüzeyine doğru geçer. Polimerler yanıcılık bakımından çok çeşitlidir. Ancak genelde üç grupta inceleyebiliriz (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Polimerlerin yanıcılık bakımından sınıflandırılması

1.SINIF	2. SINIF	3. SINIF
Politetrafloretillen	Silikonlar	Polistren
Aromatik Polietersülfon	Polikarbonatlar	Polyolefinler
Bütün aromatik polimidler	Naylon	Poliasetatlar
Bütün aromatik polyesterler		Akrilikler
Bütün aromatik polieterler		Poliüretanlar
Polivinilklorid		
Polivinilden klorid		

- 1. Sınıf alev geciktirici yapıları kapsar, bunlar ya halojen veya aromatik gruplardır, bu tip polimerler yanıcıdır veya yüksek ısı dayanım gösterirler. Bu tür polimerler bazı şartlar altında akar. Yüksek aromatik polimerler teknolojiye önemli olacaktır çünkü; çok düşük yanıcılığa sahiptir, çok az duman oluştururlar, korozyona sebep olan hasarlardan koruyacaktır. Yüksek aromatik polimerler çok yanıcı olmayan polimerlerdir.

- 2. Sınıf bileşimler yanarak kömürleşmezler, alev geciktirici yapılar da kullanılmaz, yanıcı veya kömürleştirici olabilirler.
- 3. Sınıf polimerler çok yanıcıdır ve yanarak kömürleşirler fakat, kolayca dekompozit olabilirler. Yangın sonucu polimerlerin patlayıcı hale gelmesi zehirli toxic gazı salgılaması ve koroziv gazları çıkartması olasıdır.

BÖLÜM 3. POLİMER BETON

Günümüzde pek çok plastik madde inşaat mühendisliği alanına girmiştir. Bunlardan bir kısmı detay malzemesidir. Yer döşeme malzemeleri, örtü malzemeleri, ısı izolasyon malzemeleri, boya ve badana katkı maddeleri, derz malzemeleri, yapıştırıcı ve tamir malzemeleri, mobilya kaplamaları, su iletim boruları (sert ve yumuşak PVC) gibi malzemeler. Plastik maddelerin inşaat mühendisliğindeki diğer uygulaması; doğrudan taşıyıcı malzeme olarak yer alması veya taşıyıcı malzemelerin dayanıklılığın arttırmak üzere kullanılmasıdır. Bu polimerin beton katkı maddesi olarak taşıyıcı elemanların dayanımı ve dayanıklılıklarının arttırılması amacına yöneliktir [11].

Polimerlerin beton teknolojisine girmesi 1950'li Yıllar da önem kazanmaya başlamıştır. Daha önceki Yıllarda da bitüm doğal kauçuk lateksi betona katılmaya başlanmış, ancak yapay polimerlerden yararlanma daha sonralar gerçekleşmiştir. 1955'den sonra ise büyük gelişmeler elde edilmiştir. Bu alan da ki araştırmalar günümüzde de güncelliğini korumaktadır.

3.1. Polimer Beton Ürünlerinin İmalat Teknolojisi

Polimer beton kütlesi hazırlanırken, verilen kompozisyonun uygun olması ve karışım sürecinde, üretilen harcın homojen olması önemlidir. Ayrıca bu homojenlik, üretim prosesinin sonuna kadar sürdürebilmelidir. Döküm makinesi kullanılması ile bu sağlanabilir. Polimer beton, üretilen parçaların boyutları, imalat teknolojisi gibi birçok değişkene bağlı olarak tipleri değişen döküm makineleri ile üretilir [12].

3.1.1. Kalıplar

Kalıplar, içlerine polimer beton harcının hızlı bir şekilde dolununun yapılabilmesini sağlayacak geometride olmalıdır. Ayrıca kalıp köşeleri ve kalıp malzemesinin yüzey özellikleri kalıp içindeki harcın hızlı bir şekilde akmasını sağlamalıdır. Kalıpta oluşan kuvvetler aynı zamanda polimer beton kütlelerinde de oluşacağından dolayı titreşim esnasında kalıplar önemli bir rol taşımaktadır. Kalıplar vibratörün üzerine doğru olarak yerleştirilmiş olmalı eğer mümkünse sabitlenmelidir.

3.1.2. Polimer betonun yoğunlaştırılması

Polimer beton, titreşim veya merkezkaç kuvvetleri ile yoğunlaştırılabilir. Seçilen yoğunlaştırma teknolojisi ile polimer beton kütlelerinin viskozitesinin uygunluğu önemlidir. Bununla beraber, pratikte, titreşimle yoğunlaştırma tercih edilir. Polimer betonun titreşimle yoğunlaştırılması esnasında göz önünde bulundurulması gereken kriterler şu şekilde sıralanabilir. Uzun süreli titreşimler olumsuz sonuçlar verir ve hem dolgu malzemesinin tane büyüklüğü bağlayıcının (reçinenin) homojen dağılımını bozar. Hem de Kütle içindeki homojen olmayan dağılıma eğri yüzeylerin ortaya çıkmasına neden olur.

Kalıp özellikle metal malzemedan yapıldığı zaman, eğer kalıplar masa üzerinde uygun bir şekilde bağlanmamışsa, şiddetli bir gürültü oluşur. Bir anahtar ile kontrol edilen basit bir mekanizmanın (pinomatik veya hidrolik) yardımı ile kalıp masaya sabitlenir. Böylece, polimer beton kütlelerine gelen ilave kuvvetler de gerekli şekilde yönlendirilmiş olur [9].

3.2. Polimer Beton Türleri

Yüksek basınç mukavemeti elde etmek için pek çok yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunlar çoğunlukla çimento hamuru fazındaki boşlukların minimuma indirme esasına dayanır. Günümüzdeki en büyük gelişme, su/çimento oranı düşük, buna karşılık işlenebilme özelliği yüksek, beton harcı yapabilmeye olanak sağlayan

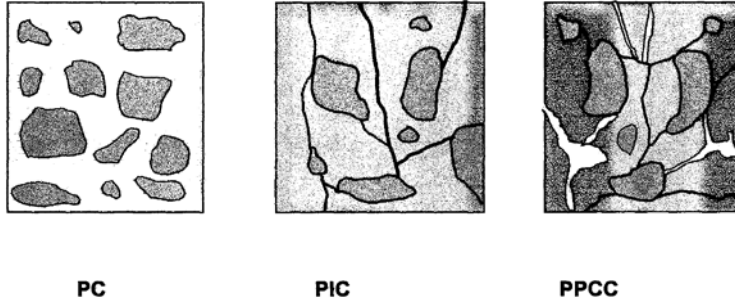
süper akışkanlaştırıcıların gelişmesidir. Bu katkılar ile su/çimento oranı %30'lar mertebesine çekilmiştir, böylece kılcal boşluklar ortadan kalkmaktadır. Çimento tanelerinden 25 defa daha ince silis dumanı kullanımı ile mukavemet de artmıştır. Silis dumanı kılcaldan ince boşlukları tıkayarak, agrega çimento bağlanmasını puzolonik etkileri ile iyileştirir, hamur fazının mükemmelleşmesini sağlamaktadır.

Beton sürekli çimento hamuru içinde agregalardan oluşan dağınık faza sahip bir kompozittir. Yüksek mukavemetli beton üretebilmek; çimento hamuru fazının mukavemetini arttırmak ve agregayla olan aderansını arttırmakla olur. Elastik sabitlerin hesabında yararı olan kompozit malzeme modelleri, mekanik dayanımları tahmininde yararlı olmamaktadır. Ancak kompozitin mukavemeti, matriksin veya dağınık fazı mukavemetleri ile sınırlıdır. Normal ağırlıkta bir betonda, doğal kayalardan elde edilen agregaların mukavemetleri çimento matrisinin mukavemetinden yüksektir [8].

Sonuç olarak kompozitin mukavemetini, daha düşük mukavemetli olan çimento hamuru belirleyecektir. Bu yaklaşımdaki hata, sonuca daha çok etkide bulunan agrega-çimento birleşimini dikkate almamış olmasıdır. Bu birleşimin mukavemeti çimento fazının mukavemetiyle paralellik göstermekle beraber onun altında kalır. Betondaki boşluk oranını azaltmak ve işlenebilirliği sağlamak amacı ile betona kimyasal ve mineral katkıları katılmaktadır. Ancak klasik betondan elde edebileceğimiz mertebe 150 Mpa' lar civarındadır. Beton kalitesini artırmak ve kimyasallara direnç kazandırmak maksadıyla polimer beton ve harçların kullanılmaya başlanmasıdır.

Beton-polimer kompozitleri, geleneksel harç ve betondaki suyla karıştırılmış çimento bağlayıcının bütünü veya bir kısmının polimerle yer değiştirmesiyle ve çimento hidrate bağlayıcının polimerle güçlendirilmesiyle elde edilen malzemelerdir. Polimerlerin beton teknolojisinde kullanımını üç grupta toplayabiliriz [8]. Ancak her üç grupta polimer betonlarının alt grubudur.

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



Şekil 3.1. Polimerlerin betonda üç ayrı kullanımı

PPCC'de agregalar çevresinde bir polimer filmi oluşmuştur, kılcal boşlukların bir bölümü de dolmuştur. PIC' de tüm kılcal boşluklarla birlikte jel boşluklarının bir kısmı polimerle dolmuştur. PC'de agregaların çeviren matris polimerdir, çimento yoktur [13].

3.2.1. Polimer portland çimento betonları (Ppcc)

Polimer Portland çimento betonlarında lateks veya emülsiyon dağılım şeklindeki polimer malzeme normal çimento harcı veya betonuna taze halinde karışım sırasında ilave edilir, betonun prizi sırasında polimerde polimerize olarak istenilen süneklikte ve geçirimsizlikte beton elde edilmektedir. PPCC 'de beton malzemenin tokluğu, sünekliği ve betonun aderansı artmaktadır.

Özellikle Japonya'da polimerle geliştirilmiş harçlar, bitirme ve tamir işleri için yapı malzemesi olarak kullanılır. Amerika'da polimerle geliştirilmiş beton köprü donatılarının kaplanmasında ve onarım işlerinde yaygın olarak kullanılır. Yapılan araştırmalara göre her yıl 1,2 milyon m² kadar köprü donatısı polimerle geliştirilmiş

betonla kaplanıyor. PPCC ve harç üretiminde polimer miktarı çimento ağırlığının %5-20 'si oranındadır [14].

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

3.2.1.1. Latexler

İlk olarak latex- hidrolik çimento sistemi 1923 yılında Cresson tarafından takdim ediliyor. Bu patent doğal kauçuk latexleri filler olarak çimentoda kullanılmasını kapsıyordu. Daha sonra 1920-30 yıllarında Lefebure ve Kirckpatrick gelişmiş bir şekilde polimer modifiyeli çimento betonlarını tanımlamışlardır. 1953 yılında Geistet polivinilasetat takviyeli harçlar ve latex takviyeli sistemler hakkındaki çalışmalarını ile önemli araştırma kaynakları sağlamıştır.

Yüksek molekül ağırlıklı polimerlerin su içinde çözünmeyen, büyük küresel partiküller halinde ve çapı 0,05'den 1 mm olan polimerlerdir. Latex genellikle monomerin emülsiyon polimerizasyonu ile şekillendirilir ve ağırlıkça %50'sine tekabül eder. Latexler; plastikleştiriciler ve diğer takviye edici elemanlar ile en az iki veya daha çok monomere sahip kopolimer sistemlerdir. Bazı Latexler şöyledir; styrenbutadien, polivinil asetat, akrilikler ve doğal kauçuklardır. PPCC ile ilgili ilginç bir çalışma da Japon Moriyoshi tarafından yapıldı. Suda sertleşen esnek ve su geçirmez asfalt emülsiyonlu bu malzeme tüneller, baraj inşaatlarında kullanılmaktadır.

3.2.1.2. Styren-butadien

Bu polimer 20 yıldan beri kullanılmaktadır. Styren-Butadien tip polimer köprü güvertelerinde, zemin kaplamalarında, çelik kaplamalarda kullanılırlar. Aşınmaya karşı dirençli, antikorozyon ve yapışkandırlar.

3.2.1.3. Akrilik polimerler

Akrilik polimer latexleri uzun yıllardır Portland çimento betonlarında kullanılmaktadır. İlk önce yapışkan olarak zemin kaplamalarında ve onarım uygulamalarında kullanıldı. Polimer harç içinde iyi bir bağ kurarak dağılır ki çekme ve yarma özelliklerini oldukça artırır, Buna ek olarak rengin ve dış görünüşün önemli olduğu mekanlarda da kullanılabilir. Kesinlikle renkte bozulma olmaz.

3.2.1.4. Epoksi reçineleri

Epoksi reçineleri bir grup termoset reçinedir ve kimyasallara direnci yüksektir. Kuruyup matlaşınca ve betona karıştırıldığında, yüksek donma-erime direnci ve yüksek su geçirimsizliği sağlar. Epoksi reçineleri latexlerden çok daha pahalıdır. Bazı epoksiler güneş ışığından dolayı renk değişikliğine, bozulmaya maruz kalabilirler [14].

3.2.2 Polimer emdirme betonları (Pic)

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

Monomer beton içine atmosferik veya basma ile nüfuz eder. Beton boşluklarının %85'inin dolması gerekmektedir. Emdirme işleminden sonra, monomeri polimere dönüştürmek için polimer beton içine çekilir. Bu işleme polimerizasyon denir ve yüksek molekül ağırlığıyla kimyasal bağlar meydana getirerek uzun polimer zinciri oluşturur. Vakum, basınçla emdirme, termal katalizör, su altında saklama, radyasyon, kurutma gibi değişik emdirme yöntemleri vardır. PIC konusunda yapılan deneyler neticesinde PIC'nin betonun mukavemetini arttırdığı kanıtlanmıştır. Deney öncesi betonlar kurutulmuş, vakumla havası boşaltılmış, sonra 8 atmosfer basıncı altında polimetilmetakrilat enjeksiyonuna tabi tutulmuştur. Elde edilen PIC'lerde sünme sıfır, gerilme-deformasyon bağıntısı kırılmaya kadar doğrusal ve elastikiyet modülü çok yüksek çıkmıştır.

PIC'lerin üretim proseslerinde önemli konularından biriside kullanılan polimerlerin düşük viskoziteli olmaları gerekir (10 santipuzdan düşük viskozite) Reçinelerinin bu alanda kullanılmaları araştırılmaya açık bir konudur. Sertleşmiş betona monomerin penetrasyonu oranı ve derecesi yoğunluk ile betondaki boşluk miktarına bağlıdır.

Vakumla emdirme tekniğinde ise atmosfer basıncının yok edilmesi veya ona yakın olması gerekmektedir (760 mm. Hg sütunu). Polimerin yeterli suda emdirilmesi için basınç altında enjeksiyon zorunludur. Düşük basınçlarda emdirme süresi de artmaktadır. Emdirme işleminden sonra polimer kaybını önlemek için örtme, kılıflama yapılır. Ancak en güvenilir yöntem numunelerin su içinde tutulmalarıdır. Çünkü polimerizasyonda su içinde gerçekleşmektedir. Su altında Cobalt 60 izotopu ile radyasyon başarılı bir çözüm oluşturuyor. Polimerizasyonu tamamlanan elemanların kurutulması 150°C 'de etüvde yapılır. Polimer emdirme işleminde birçok komonomerler ve diğer katkıları monomere eklenebilir. Başlatıcılar, bazen hızlandırıcılar olarak da kullanılır. Gerekli ortam sıcaklıklarında polimerizasyon için gerekli serbest radikalleri üreterek bozulmayı önler [14].

Çapraz bağlayıcıların PIC'de sıkça kullanılmasının sebebi mukavemeti sağlaması ve agrega ile bağ oluşturarak betonu uzun zaman rutubetten korumasıdır. PIC tekniğinde kısmen emdirme (yüzey emdirme betonu) veya tamamen emdirme

şeklinde iki yöntem izlenir. Kısmen emdirme metodu geleneksel Portland çimento betonunu belli bir derinliğe kadar iyice ıslatarak emdirme metodudur. Böylece su geçirmezlik ve durabiliteyi sağlamak için bu derinlikte bir bölge oluşturulur. Tamamen emdirmeye ise beton üzerindeki rutubet tamamen kaldırılır ve sonuç olarak beton içindeki boşluklar tamamen polimerize olur.

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

- a) Kimyasal depo tanklar ve ulaşım boruları,
- b) Gaz temin edici borular,
- c) Orta seviyeli radyoaktif malzemelerde konteynır,
- d) Restorasyon işlerinde,
- e) Okyanus mühendisliğinde deniz yapılarında,
- f) Köprü tabliyelerinde,

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

- 1) Üretim teknolojileri karmaşıktır. Buna ek olarak hare ve betonun kurumasında ve polimerizasyonda büyük termal enerji tüketilir ve üretim fiyatları yüksektir.
- 2) Performansları ve fiyatlar arasında denge zayıftır.
- 3) Kalite kontrolleri zor ve stülüktürel uygulamalarda güvenilirlikleri zayıftır.

3.2.3. Polimer beton ve harçları (Pc)

Polimer beton; sürekli polimer matrisi içinde filler ve agregadan oluşan dağılı faza sahip bir kompozittir. Kompozitler hidrate çimento fazından oluşmazlar, buna rağmen agrega veya filler Portland çimentosu gibi kullanılabilir. Polimer betonlar ilk defa Çekoslovak Bilimler Akademisinin de 1960'lı yılların başında keşfedilmiştir. 1960

yılı ortalarında ise bu ürünü teknolojiye sürmek ve dünya çapında bir pazar oluşturmak insanların görüşüydü.

Beton ile ilgili, pratik ve deneysel çalışmalara ilk olarak Blue Circle Endüstri firması ticari olarak başlamıştır [15]. Yapı malzemelerinin değerini belirlemede en önemli faktör malzemenin kullanımı ve fiyatıdır. Bu nedenle, beton yüksek mukavemeti, hava ve suya direnci, ucuz maliyetinden dolayı inşaat mühendisliğinde vazgeçilmez bir malzemedir. Çimento bağlayıcı malzemeler yavaş küre sahiptir ve onarımı çok zordur. Burada amaç betona alternatif bir malzeme sunmak değil özel uygulamalar ile kalitesini yükseltmektir.

Polimer harç ve betonların başlıca özellikleri [14]:

- (-18) °C'dan 40 C' a kadar çevre şartlarında hızlı kür,
- 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.

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

Polimer betonlar için görünen önemli bir problem sıcaklıktır. Sıcaklığın yükselmesi basınç ve eğilme dirençlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu azalma epoksi

betonlarında %15, polyesterlerde %56, akrilik polimerlerde ise %20 oranlarındadır. Yapılan araştırmalara göre, epoksi betonlarında sıcaklığın artması sonucu mukavemetinde artış gözlenmektedir, Polyester betonlarında ise ısı arttıkça mukavemet önemli ölçüde azalmaktadır. Buna sebep 75°C'de depolimerize olmalarıdır. Akrilik numunelerin mekanik mukavemeti çok değişmemektedir. Epoksi reçineleri polyester ve fenolik reçinelerinden daha düşük maliyete sahip olmalarına karşı fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı tercih sebebi olmuşlardır [12].

Polimer betonlarında üç faz sistemi görülür;

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

PC' lerde geleneksel betonlarda görülen rötre çatlakları görülmez. Bunun sebebi polimer betonu üretiminde bağlayıcı olarak su ve çimento kullanılmamasıdır. Dona ve kimyasallara karşı dayanıklıdır, taşıma güçlerine göre ağırlıkları oldukça düşüktür. PC'lerin tipik özellikleri şöyle sıralanabilir [16]:

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

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

Yapı sektöründe bu malzemeler şu iki sebepten dolayı fazla gelişmedi;

1) Polimerler çok geniş malzeme grubundan oluşmaktadır. Sıcaklık, elastikiyet ve kimyasal özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Maliyetleri geleneksel betonun maliyetinin 5 ila 10 katıdır.

2) Polimer betonları için bir beton karışım hesap yöntemi yoktur. Yalnızca özel araştırmalarda 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,
- Lağım boruları, cam kemeri, drenaj kanalları,
- Jeotermal uygulamalar için karbon-çelik borular içinde astar olarak,
- Yüzme havuzu ve teraslarda, prekast elemanlarda,
- Köprü donatıları için katodlama yoluyla paslanmadan koruma sistemlerinde kullanılır.

3.3. Epoksi Reçineleri ve Epoksi Reçine Betonları

Epoksi reçinelerinin buluşunu, İsviçreli bir diş protez ustası yapmıştır. Bugün dünyada en tanınmış iki epoksi ürünü Araldit (İsviçre) ve Epon (ABD)'dur. Epoksilerin ana maddesi bir molekül aseton ve iki molekül fenol'den hazırlanan difenololpropan'dır. İkinci ana maddesi gliserin ve propilen'den elde edilen glikol epiklorhidrin'dir. Epoksi kökünü içeren bu maddedir. Bisfenol A ile glikol epiklorhidrin'in alkalın ortamda muamelesi sonunda epoksi reçinelerinin prepolimeri (yani ön polimeri) hazırlanır. Bu polimer düşük sayıda molekül içerdiğinden sıvıdır ve piyasada satılan ticari maddeler bu sıvı polimerlerden oluşurlar.

Epoksi reçineleri iki bileşenli (komponentli) satılırlar. Bunlardan biri yukarıda bahsedilen prepolimer'dir. İkincisi ise sertleştirici olarak adlandırılan çok fonksiyonlu bir üründür. Sertleştiriciler aşağıdaki maddelerden oluşmaktadır.

- a) Bir poliasit anedriti (yüksek sıcaklık gerektirir bu bakımdan pratik değildir)
- b) Bir alifatik poliamin (etilen di amin gibi, normal sıcaklıkta aktiftirler)
- c) Bir sıvı poliamid (normal sıcaklık ve biraz daha yüksek sıcaklıklarda aktiftirler, (80-100°C))

Görüldüğü gibi ikinci grup sertleştirici en çok kullanılan tür olmaktadır. Polimerlerle sertleştiricinin karıştırılması sonucunda polimerizasyon meydana gelmektedir.

Polimerizasyonda köprüleşme ve hacimsel molekül oluşur. İlginç yön bu işlemde yan ürün oluşmaması ve dolayısıyla rötrenin minimum düzeyde kalmasıdır. Ayrıca bu üretimde bir avantajdır. Polimerizasyonun başında köprüleşme tam olmadığından ürün termoplastik karakter gösterir, asetonda erir. Ancak giderek sertleşir ve termosete dönüşür.

Polimerizasyon ekzotermiktir. Bu bakımdan epoksi'leri büyük oranda üretmek olanaksızdır. Örneğin 250 cm³ epoksi üretiminde sıcaklık 100°C' yi bulduğu halde, 10cm³ epoksi için sıcaklık 20°C' yi pek aşmazlar. Pota ömrü önemli pratik bir sorundur. Prepolimer ve sertleştirici karıştırıldıktan sonra kullanılmaya imkan veren süreye pota ömrü denilir. Bu bir saatten birkaç güne kadar değişebilir. Pota ömrü sulandırıcı türdeki katkılarla değiştirilebilir. Reaktif türdeki küçük moleküllü poliepoksitler tercih edilen sulandırıcılar arasında girerler. Epoksi reçineleri içine pek çok dolgu maddesi katılır. Bunlar viskoziteyi değiştirmek, termik genişleme katsayısını düşürmek, elektriksel iletkenliği sağlamak, tiksotropi kazandırmak, sertliği artırmak gibi amaçlar taşırlar. Al, Cu, Fe, Ag, çelik, Al₂O₃, koloidal silis, kalker unu, alçı, mika, asbest, grafit gibi maddeler dolgu malzemesi olarak kullanılır.

Epoksi reçinelerinin inşaat mühendisliğinde kullanıldığı alanlar şöylece sıralanabilir:

- a) Yüksek hızlı mukavemet beklenen işlerde,
- b) Eski ve yeni betonun yapıştırılması, yüzey onarım işlerinde,
- c) Öngerilmeli prefabriğe elemanların yapıştırılmasında,
- d) Plaka beton tekniğinde,
- e) Enjeksiyonla çatlak onarımlarında,

Epoksi betonlarında mineral agregalar, (normal beton agregaları), epoksi reçinesiyle bağlanırlar. Yani epoksi reçinesi bu betonların bağlayıcı maddesidir. Agregalardan beklenen özellikler ise şunlardır:

- a) Çok temiz ve yeterli mukavemete sahip olmaları
- b) Reçine ve sertleştiricisi ile kimyasal bir reaksiyona yol açmayacak türden olmaları
- c) Çok kuru olmaları
- d) Kil içermemeleridir

Agrega yığın boşluğu minimum olmalıdır. Yığın boşluğunun minimum olması için genellikle orta tane içermeyen süreksiz granülmetriler tercih edilir, böylece reçine az kullanılır ve ekonomi sağlanır. Epoksi betonlarında filler kullanılması viskozite açısından yarar sağlamaktadır.

3.4. Furan Reçineleri ve Furan Reçine Betonları

Furan reçineleri fenoplast termosetlerinin bir örneğidir. Bu grubun örneği olarak bakalit gösterilebilir. Bu ürün sıvı veya parça halinde satışa çıkarılır. Formaldehit dışında ekonomik nedenlerle kullanılan hemen hemen tek aldehit 'furfural' dır. Furfural mısır ve arpa yapraklarının fermantasyon ürünüdür.

Reçine betonu olarak furfural genellikle 1. ve 3. türde sayılan polimerizasyon sürecine göre kullanılmaktadır. Furfural aseton %3 benzen sülfonik asitlerle

muamele edildiğinde ve agrega olarak andezit kullanıldığında 7 günde 1000N/mm² basınç mukavemeti sağlanabilmektedir. Furan reçine betonları siyah renkli ve estetik görünüşü olmayan maddelerdir. Kimyasal dayanıklılıkları özellikle asit ortama karşı iyidir. Bunlar daha çok aşınmaya dayanıklı beton elde edilmesinde kullanılır. Bu nedenle sıcaklığı fazla yükselmeyen, sülfürik, hidroklorik asit ve tuzların bulunduğu sanayi kimya bacalarının kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadırlar [4].

3.5. Polyester Reçineleri ve Polyester Reçine Betonları

Polyester sözcüğü ile farklı nitelikli pek çok polimer malzeme ifade edilmektedir. İnşaat mühendisliği alanında sentetik reçine betonu yapımında kullanılan polyesterler, çift bağ içeren bir dialkol ve diasit' in birleşmesiyle elde edilirler. Çift bağ bir diyenik hidrokarbür vasıtasıyla köprüleşmeye olanak sağlar ve böylece 3 boyutlu makromolekül meydana gelmektedir. Tekstilde kullanılan polyesterler ise lineer moleküllü termoplastik bir polimerdir.

Ticari ürün, doymamış polyester ve diyenik hidrokarbür karışımı olarak satılır. Kullanım anında katalizör ve hızlandırıcı madde katılır. Yalnız katalizör kullanılırsa ısıtmak gerekir. (Katalizör: benzol peroksit, metil etil keton, hızlandırıcı kobalt oktoat, loril merkaptan vb.) şantiyede 3 maddenin karıştırılması zor olabildiği gibi sakıncalı da olabilmektedir. Bileşimde yan ürün oluşmaması bir avantajdır. Bu betonlarda rötre olabilmekte, değeri ise %8-%14 'ü bulmaktadır

3.6. Polimer Betonun Yaygın Olarak Kullanım Alanları

3.6.1 Onarım

İlk olarak bilinen polimer kompozitler beton onarımı ve yol işlerinde kullanılmaktadır. Silis dumanı latexle karıştırılarak agregayla birlikte kullanılabilir [14]. Polimer betonları aynı zamanda farklı reçinelerle de kullanılabilir. Epoksiler, metakrilatlar, furkan, polyester-stren ve üretanlar. 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. İnce ve iri agrega kullanılarak üretilen betonun ise rötresi azalmakta, yangına dayanıklılığı artmakta, elastiklik modülü ve basınç dayanımı yükselmektedir [17].

Epoksi gibi çok viskoz reçinelerde önceden karışım yapılır. Epoksilerin hazırlanması üç farklı karışımdan meydana gelir; reçine, kür uygulayıcı ve agregadır. Epoksi reçine betonlarında agrega granülometrisine bağlı olarak: agrega/reçine oranı ağırlıkça 1:1' den 15:1' e kadar değişebilir. Birçok uygulamalarda üretimin sonunda fiziksel özellik kazandırmak amacıyla çapraz bağlanma ve plastikleştiriciler de katılır. Polimer betonların kuru genellikle ekzotermik reaksiyon kür şartlarına benzer şekildedir. P.C.'nin kullanma ömrü yani pot-life ve kür zamanı başlangıcı, konsantrasyon ve hızlandırıcıların miktarından etkilenir [14].

3.6.2. Prekast polimer betonlar

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

Prekast polimer betonlarında yaygın olarak polyester/styren kullanılır. Epoksi reçineleri düşük rötreye, yüksek mukavemete ve rijitliğe sahip olduğu için makine parçaları ve aletleri üretiminde kullanılır, Uygulamalarda korozyona ve aside direnç önemlidir, bu nedenle vinylester, furan ve sülfür betonları kullanılır.

3.6.3. 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. Polimer beton ve harçları köprü tabliyelerinde, fabrikalarda zemim kaplamalarında, stadyumlarda diğer suya ve aside dayanıklı yapılarda kullanılabilir. PC'ler kurduğu bağlar nedeniyle çekme ve ona yakın kayma mukavemetine sahiptir. Analitik çalışmalar ısının değişmesiyle yol yüzeyinin basınç ve kayma gerilmesinin değiştiğini göstermektedir.

BÖLÜM 4. POLİMER BETONUN İŞLENEBİLİRLİĞİ

Taze betonun “kolayca karılabilmesi, ayrışma yapmadan taşınabilmesi, yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin düzeltilebilmesi”, betonun ne ölçüde işlenebilir olduğunun bir göstergesidir. Bu nedenle, bu özelliklerin tümü “işlenebilme” adı altında tek bir özellik olarak ifade edilmektedir [18]. İşlenebilme, taze betonun en önemli özelliğidir. Yeterli işlenebilmeye sahip olmayan beton, sertleştiğinde yeterli dayanımı ve dayanıklılığı gösteremez [18].

İşlenebilme özelliği, beton içerisindeki her bileşenden ve üretim esnasındaki her türlü koşuldan etkilenir. Bunlar çimento özellikleri ve miktarı, su miktarı, agrega gradasyonu, ince ve kaba agreganın tane şekli ve yüzey yapısı, sürüklenmiş hava miktarı, kimyasal ve mineral katkıların tipi ve miktarları, ortam sıcaklığı ve beton karışımının sıcaklığı, karıştırma prosedürü ve betonun, karıldığı andan kıvamının ölçüleceği ana kadar geçen süre olarak sıralanabilir [19]. Basit ve kolayca uygulanabilir bir deney yöntemi olmasından dolayı, çökme deneyi taze betonun kıvamını belirlemek amacıyla kullanılan deney yöntemleri arasında en popüler olanıdır [18].



Şekil 4.1. Taze harcın işlenebilirlik deneyi

Çökme deneyi asıl olarak betonun tek bir reolojik parametresiyle (eşik kayma gerilmesi) korelasyon gösterir. Ancak çökme deneyi, beton için diğer önemli reolojik parametre olan plastik viskozite hakkında bir fikir vermez [19]. Tek parametreye bağlı olarak gerçekleştirilen bu deney “tek parametrelî” ya da “tek noktalı” deney olarak ifade edilmektedir. Tek noktalı deneyler gerçekleştirilirken dikkatli olunmalıdır, çünkü bu deneyler betonun akışkanlık özelliğini tam olarak yansıtmaz [20]. Çökme deneyi statik bir deneydir ve işlenebilmeyi ölçmez. Ancak bu deney yöntemiyle işlenebilme hakkında önemli bir fikir elde edilebilir [19]. Reometreler betonun akma davranışı hakkında daha iyi fikir vermektedir. Bunlar hem eşik kayma gerilmesi hem de plastik viskoziteyi ölçmede kullanıldıkları için “iki noktalı” ya da “iki parametrelî” deneyler olarak bilinir. Fakat reometreler genel olarak boyutlarının büyük olması ve ağırlıkları nedeniyle pratikte pek kullanılmazlar. Üstelik bu deneyler tek noktalı deneylere göre çok daha fazla vakit almaktadır. Bununla birlikte beton karışımlarının optimizasyonu için reometreler oldukça önemli bilgiler sağlar [20].

4.1. Viskoz Davranış

Viskozite akışkanlığa karşı gösterilen dirençtir. Akışkanların gösterdiği bu dirence viskozluk denir ve genellikle η ile simgelenir. Viskozlutsi olan niceliğe akıcılık denir ve genellikle ϕ ile simgelenir. Akıcılık ve viskozluk $\phi = 1/\eta$ eşitliğine göre ters orantılıdır. Viskozitesi yüksek olan sıvının akışkanlığı düşüktür. Normal şartlarda bal ve gliserin gibi akışkanlar su ve alkol gibi akışkanlara göre daha büyük bir direnç gösterirler. Sıvıların viskozluğu molekül yapıları ve moleküller arası etkileşmelerle yakından ilgilidir. Ayrıca, gazlar da akışkan olduklarından viskozluk gösterirler, sıvılara göre daha az bir viskoziteye sahiptirler.



Şekil 4.2. Reçinenin viskozitesi

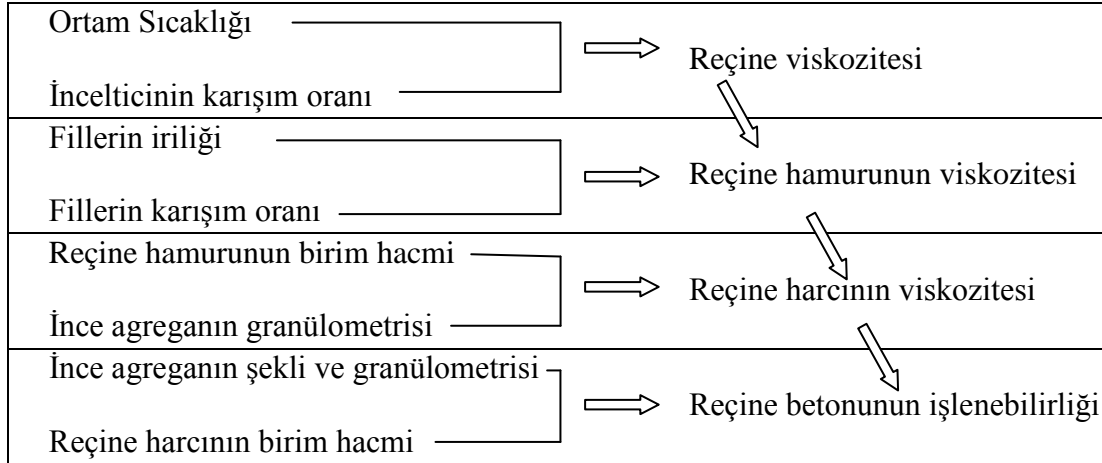
Polimerler elastik malzemenin bazı özellikleri ile birlikte sıvılarında bazı özelliklerini gösterdiğinden viskoelastik malzeme davranışı gösterirler. Davranışlar yükleme hızına ve süresine bağlı olan cisimlere viskoelastik cisimler denir. Özellikle lineer polimerler bu gruba girmektedirler. Yüksek sıcaklık ve yükleme hızı polimerlerin mekanik davranışını etkiler.

Yavaş artan yük altında önemli miktarda şekil değiştiren ve düşük gerilmede kırılan bir polimer hızlı artan yük etkisinde çok daha az şekil değiştirerek daha yüksek mukavemet gösterir. Yüksek sıcaklıkta viskoz davranış gösteren bir polimer düşük sıcaklıkta rijit ve gevrek olabilir, Sıcaklık arttıkça viskozite artar. Viskoelastik malzemelerde elastisite modülü zamana bağlıdır. Viskozite doğal hakiki sıvılarda sürtünmeyi belirleyen bir özelliktir, Sıvıya uygulanan kuvvet bir dirençle karşılaşır. Bu direnç yani sıvının tepkisi kuvvetin hızı ile değişmektedir. Bundan dolayı akışkanlığı yüksek malzemeler düşük viskozitelidirler.

4.2. Polimer Harç ve Betonlarının İşlenebilirlik Özellikleri

Geleneksel betonun işlenebilme özelliği en basit şekilde kalıba kolayca yerleşecek kıvamına sahip, gerek taşıma gerek yerleştirme sırasında ayrışmamasıdır. Betonun işlenebilme özelliği gibi betonun kıvamıyla ilgilidir. Kıvam betonun akıcılık veya ıslaklık derecesidir. Her akıcı beton işlenebilme özelliğine sahip olmayabilir.

PC'lerde işlenebilirlik, taze polimer harç ve betonlarda ayrışma ve kıvam özellikleri ile sınırlandırılmış bir özelliktir. Beton ve harçların işlenebilirliği polimer/agrega oranı, agrega granülometrisi, polimer/filler oranı, agrega şekli ve viskozitesine bağlıdır. Polimer harç ve betonlarında dispersif veya inceltici Styren, xelol, aseton gibi maddeler işlenebilirliği arttıran malzemelerdir.



Şekil 4.3. Reçine betonunun işlenebilirliğini etkileyen faktörler

Reçine betonunun işlenebilirliği, reçine harcının birim hacmine ve iri agregalarla arasındaki boşlukları doldurmasına bağlı olarak değişir. Reçine harcının viskozitesi reçine hamurunun birim hacmine ve ince kumun granülometrisine, reçine hamurunun viskozitesi filler oranına ve fillerin dane yarıçapına yani iriliğine göre değişir. Reçinenin viskozitesi, ortamdaki malzeme sıcaklığına ve ilave edilen inceltici oranına bağlı olarak değişir. Örneğin doymamış polyesterin viskozitesi molekül uzunluğuna bağlı olarak değişir [19].

Reçine betonunun karışım oranının dizayn etmek için temel yol, reçine oranını azaltmak, yüksek mukavemet elde etmek için, yapıya uygun kıvamı sağlayarak segregasyondan korumaktır. Bu yöntem çimento betonun karışım dizaynı gibidir, fakat şu sebeplerden dolayı farklılık gösterir; reçinenin maliyetinin yüksek olması, akma sınırının belli olmaması, segregasyon rötre deformasyonlarında ki farklılıklara sebep olmaktadır.

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Polimer beton üretiminde cam tozu kullanılabilirliğinin araştırılmasının amaçlandığı bu çalışmada deneyler iki ana guruba ayrılmıştır. Birinci grup deneylerde polyester yüzdesi ile mukavemet arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla polimer betonunun sırasıyla %37,5- %40- %42,5 ve %45 hacmi oranında reçine ve kuvars agregası karıştırılarak işlenebilirlik özellikleri, basınç dayanımı ve eğilme dayanımları incelenmiştir.



Şekil 5.1. Polimer beton numuneleri

İkinci grup deneylerde ise; ilk yapılan deney sonuçlarına göre ideal ve ekonomik özellikler sağlayan deney numunesi seçilerek bunun işlenebilirlik ve mekanik özellikleri cam tozu ikame ederek iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bunun için KN2 karışım kodlu deney numunesi seçilmiş ve hacimce %40 kullanılan reçine miktarı sabitlenerek (0,5-1mm) boyutundaki ince agreganın yerine %10-%20-%30-%40-%47 oranlarında cam tozu ikame edilmiş ve cam tozunun polimer betonunun özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan iki deney grubunda da öngörülen polyester içine polyesterin ağırlık olarak %1,65 oranında sertleştirici ve %0,35 oranında hızlandırıcı (kobalt) katılmıştır.

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. Bu deneylerin test edilebilmesi için 4x4x16 cm ebatlarında her bir grup için 6 adet prizmatik numune alınmış ve polyester reçinenin tamamen polimerize olması için 1 saat boyunca 80°C sıcaklıkta etüvde kür uygulanmıştır. Sonraki deneyler için 20 gün boyunca oda sıcaklığında bekletilmişlerdir.



Şekil 5.2. Prizmatik numune kalıpları

5.1. Reçine Seçimi

Reçine olarak polyester reçine seçilmiştir. Piyasada birçok polyester çeşidi bulunmaktadır. Bu polyester tiplerinden ticari adı izoftalik polyester olan doymamış polyester reçinesi seçilmiştir. İzofthalik 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 [21].



Şekil 5.3. Polyester reçinesi

5.2. Dolgu Malzemesi

Kuvars sertliğinin yüksek olması nedeniyle yapımında kullanıldığı polimer betona rijitlik ve yüksek mukavemet kazandırdığı için tercih edilmiştir. Çok değişik renkler olmakla birlikte, ekseriya beyaz renkte olan kuvarsın, Mohs sertlik derecesi 7'dir.



Şekil 5.4. Kuvars agregası

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

Tane büyüklüğüne göre üç gruba ayrılmıştır;

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

5.3. Malzemeler ve Özellikleri

5.3.1. Polyester reçinesi

Kullanılacak reçinenin modeli ve viskozite değeri sabit tutularak optimum değeri verecek polyester reçine araştırıldı. Sonuç olarak Polia firmasına ait olan Polipol 3455 polyester, ortoftalik esaslı, genel amaçlı doymamış polyester reçine temin edilmiştir. Kullanılan polyester; reçine, sertleştirici (Metil etil keton peroksit; dimetil fitalat içinde çözelti halinde bulunmakta) ve hızlandırıcı (kobalt)'dan oluşmaktadır.

İyi seviyedeki dolgu kabul ve düşük çekme özellikleriyle özellikle suni mermer gibi dolgulu döküm uygulamaları için tasarlanmış olmakla beraber, hızlı kürlenme ve yüksek ısıl dayanım gerektirmeyen uygulamalarda CTP uygulamalarında da kullanılabilir. Suni mermer uygulamalarında, dolguları daha iyi ıslattığı için daha fazla metraj alınmasına yardımcı olduğu gibi, temiz rengiyle daha naturel dökümler alınabilmesini de sağlaması en belirgin özellikleridir.

Tablo 5.1. Polyester reçinesine ait özellikler

Test	Metod	Değer
Renk	ISO 2211	Max. 100 Hazen
Yoğunluk	ISO 1675	1,125 gr/cm ³
Kırılma İndisi	ISO 0489	1,543
Asit Değeri	ISO 2114	22 mg KOH/gr
Viskozite	ISO 2555	700 cp
Tiksotropi		N/A
Jel Süresi	ISO 2535	7'
Monomer Oranı		38%
Parlama Noktası	Abel-Pernsky	34°C
Toplam Hacimsel Çekme	ISO 2114	7,85%

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

Tablo 5.2. Sertleştirici özellikleri

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

Sertleşen polimer betonunun kalıplardan ayrılabilmesi için Polia firmasına ait Polivaks SV-6 kullanılmıştır (Tablo 5.3). Bu malzeme polyester ve CTP malzemelerin üretiminde, ürünleri kalıptan ayırmak için tek başına kullanılan vaktır. Alışmış model ve kalıplarda, flanşlar dahil tüm kalıp yüzeyine, dairesel hareketlerle ince bir film elde edecek biçimde sürülür ve hemen temiz kuru penye bir bezle silinip parlatılır.



Şekil 5.5. Kalıp ayırıcı (Polivaks SV6)

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.

Tablo 5.3. Kalıp ayırıcının özellikleri

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

5.3.2. Agregalar

Çalışma boyunca yapılan birinci ve ikinci grup deneylerde kuvars agregası (Dmax: 5 mm), cam tozu (Dmax: 0,5mm) kullanılıp türü değiştirilmemiştir. Ancak agreganın granülometrisinde bazı değişiklikler yapılarak deney sonucuna etkisine bakılmıştır. Bu agregaya ve cam tozuna ait elek analizi sonuçları, özgül ağırlık, sıkışık ve gevşek birim ağırlık deneyleri Tablo 5.4 ve Tablo 5.5’de verilmiştir.

Tablo 5.4. Kuvars agregası ve cam tozuna ait elek analizi

Malzeme 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 5.5. Agrega ve cam tozuna ait özellikler

Malzeme türü	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Sıkışık B. Ağırlık (kg/m ³)	Gevşek B.Ağırlık (kg/m ³)	Su Absorb.(%)
0-1 mm Kuvars	2,6	1544	1352	0,32
1-3 mm Kuvars	2,64	1558	1411	0,27
3-5 mm Kuvars	2,65	1575	1428	0,24
Cam Tozu	2,48	1421	1293	0,24

Ka madencilik tarafından temin edilen cam tozu atık bir malzeme olup, belirli bir kırma işlemi uygulandıktan sonra 25 kg'lık paketlenmiş çuvallar halinde satılmaktadır.

Tablo 5.6. Cam tozu kimyasal bileşenleri

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

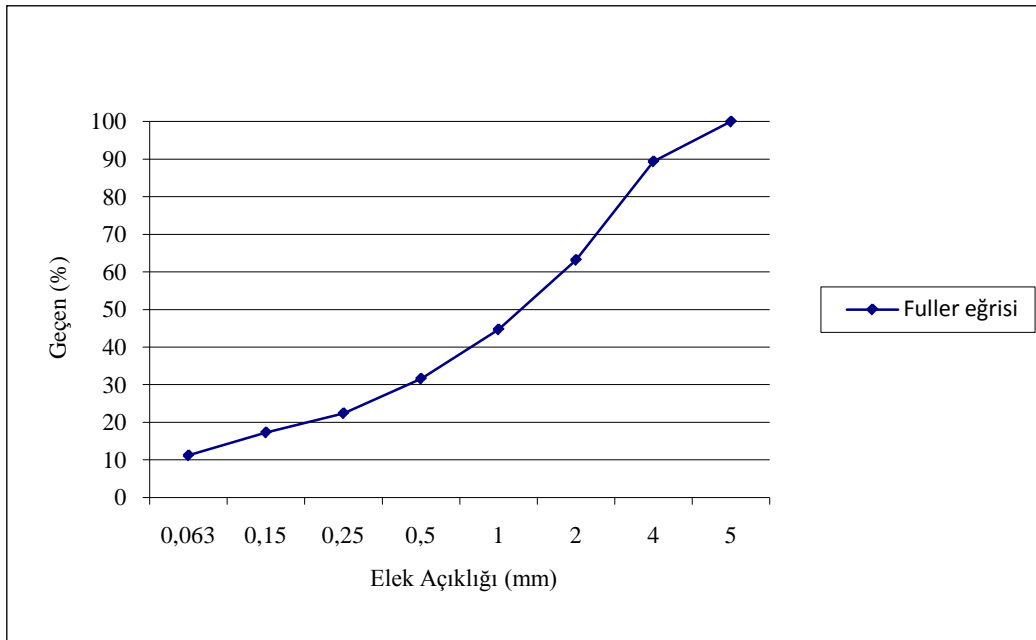
Polimer betonlarda agrega granülometrisi şekli ve çapı mukavemet açısından ve işlenebilirlik açısından önemlidir. Bu çalışmada Fuller metoduna uygun şekilde karışım oranı hesaplanmıştır. Fuller eğrisi aşağıdaki bağıntı kullanılarak çizilir.

$$P_i = \sqrt{d_i / D_{\max}}$$

P= Her elekten % geçen

d = Elek göz açıklığı

D= En büyük tane iriliği



Şekil 5.6. Fuller eğrisi

5.4. Karışım Hesapları

5.4.1. Karışım kodları ve açıklamaları

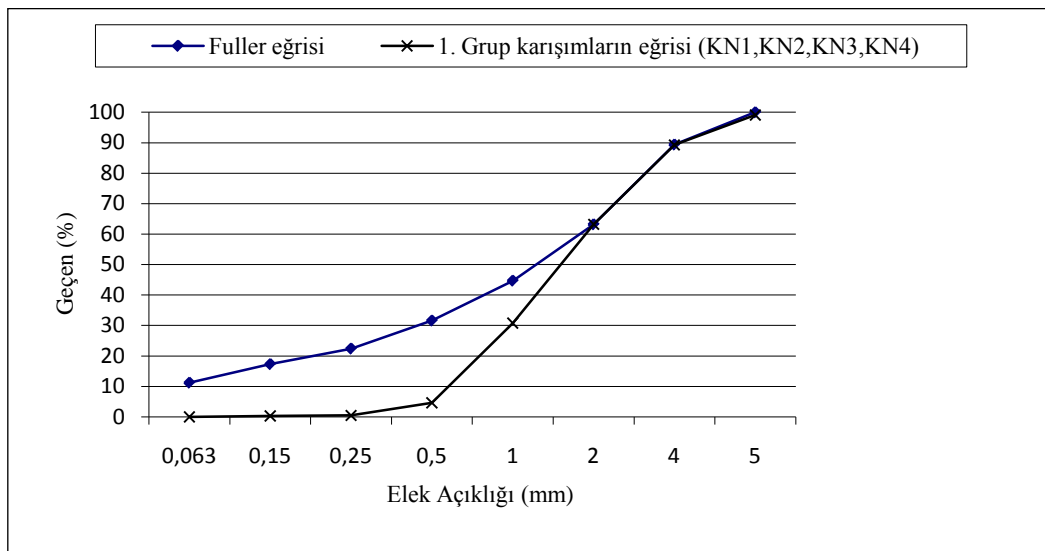
Birinci grup deneylerde agrega karışım yüzdesi sabit tutulup reçine miktarı önceden öngörüldüğü şekilde polimer betonunun hacmi oranında (%37,5-%40-%42,5 ve

%45) kullanıldı. Reçinenin kuvars agregası ile karıştırılması sonucunda işlenebilirlik özellikleri, basınç dayanımı ve eğilme dayanımları incelendi.

İkinci grup deneylerde ise; ilk yapılan deney sonuçlarına göre en ideal ve en ekonomik özellikleri sağlayan deney numunesi alınıp bunun işlenebilirlik ve mekanik özellikleri cam tozu ikame ederek iyileştirilmeye çalışıldı. Bunun için KN2 karışım kodlu deney numunesi seçildi ve hacimce %40 kullanılan reçine miktarı sabitlenerek (0,5-1mm) boyutundaki ince agreganın yerine %10, %20, %30, %40, %47 oranlarında cam tozu ikame edilmiştir.

5.4.1.1. Birinci grup deneylere ait karışım kodları ve içeriği

- KN1: Agregası karışım oranları sabit. Reçine miktarı %37,5/m³
- KN2: Agregası karışım oranları sabit. Reçine miktarı %40/m³
- KN3: Agregası karışım oranları sabit. Reçine miktarı %42,5/m³
- KN4: Agregası karışım oranları sabit. Reçine miktarı %45/ m³



Şekil 5.7. Birinci grup deneylerinin karışım granülometrisi

Şekil 5.7'de görüldüğü gibi birinci grup deneylerde (KN1, KN2, KN3, KN4) agregası karışım oranları sabit tutulduğu için karışımların granülometri eğrileride

değişmemektedir. Sadece karışımda kullanılan reçine miktarı sırasıyla %37,5 - %40- %42,5 -%45 olarak değiştirilmiştir.

Tablo 5.7. 1 m³ Polimer betonunda kullanılan kuvars agregası ve cam tozunun kendi aralarındaki dağılım oranları

Agrega ve Cam Tozu Karışım Oranları (Hacimce %)					
Karışım Kodu	0-1mm Kuvars (%)	1-3mm Kuvars (%)	3-5mm Kuvars (%)	Cam tozu (%)	Reçine Miktarı (%)
KN 1	47	32	21	0	37,5
KN 2	47	32	21	0	40
KN 3	47	32	21	0	42,5
KN 4	47	32	21	0	45

Tablo 5.8. 1 m³ Polimer betonu için gerekli karışım oranları

Karışım Oranları (Hacimce %)							
Karışım Kodu	Polyester Reçine	Kobalt	Sertleştirici	0-1mm Kuvars	1-3mm Kuvars	3-5 mm Kuvars	Cam tozu
KN 1	37,5	0,3	1,65	28,31	19,28	12,65	0
KN 2	40	0,3	1,65	27,28	18,57	12,19	0
KN 3	42,5	0,3	1,65	26,1	17,77	11,66	0
KN 4	45	0,3	1,65	24,93	16,97	11,14	0

Tablo 5.9. 1 m³ Polimer betonu için gerekli malzeme ağırlıkları

Karışım Kodu	Karışım Oranları (Ağırlıkça kg/m ³)						
	Polyester Reçine	Kobalt	Sertleştirici	0-1mm Kuvars	1-3mm Kuvars	3-5mm Kuvars	Cam tozu
KN 1	421,9	1,26	6,96	755	524	342	0
KN 2	450	1,35	7,42	724	502	328	0
KN 3	478,1	1,43	7,88	693	481	314	0
KN 4	506,3	1,51	8,35	661	459	300	0

1 m³ lük polimer betonu içerisindeki agreganın elek serilerinden geçen miktarları Tablo 5.10'da verilmektedir.

Tablo 5.10. Deney numunelerinin granülmetrileri

Karışım Kodu	Elek Açıklığı ve Geçen (%)							
	5mm	4mm	2mm	1mm	0,5mm	0,25mm	0,125mm	0,063mm
KN 1	99,1	89,3	63,2	30,8	4,6	0,5	0,3	0
KN 2	99,1	89,3	63,2	30,8	4,6	0,5	0,3	0
KN 3	99,1	89,3	63,2	30,8	4,6	0,5	0,3	0
KN 4	99,1	89,3	63,2	30,8	4,6	0,5	0,3	0

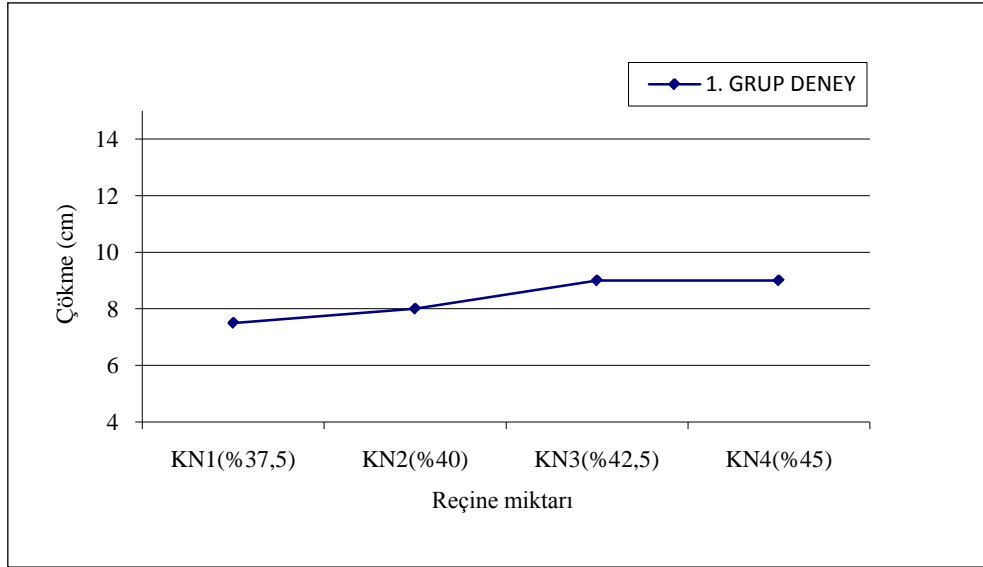
Tablo 5.7'deki agrega karışım oranlarından da görüldüğü gibi birinci grup deneylerdeki agrega yüzdeleri sabit tutulduğu için karışımın granülmetrisinde bir değişim olmamaktadır.

5.5. Taze Harcın İşlenebilirlik Deneyleri

Polimer betonunun işlenebilirliğini araştırmak üzere yapılacak olan çökme deneyi için 50 mm üst, 100 mm alt çapa sahip 150 mm yüksekliğinde kesik koni şeklinde slump hunisi yapılmıştır [22]. Polyesterler; reçine, sertleştirici ve hızlandırıcı olmak üzere üç komponentlidir. Hızlandırıcı reçine içerisine önceden katılmış olarak bekletilmektedir. Karışıma sertleştirici katılmadığı takdirde herhangi bir polimerizasyon başlamamaktadır. Önce reçine ve sertleştirici karıştırılmış kuvars agregası karışımına boşaltılmış ve 4 adet deney karışımının çökme değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 5.8. Çökme (slump) deneyi



Şekil 5.9. Birinci grup deneylerin çökme değerleri

Şekil 5.7’de görüldüğü gibi birinci grup deneylere ait olan granülmetri eğrisinin ideal fuller eğrisinden uzak olması sebebiyle, polimer betonu harcının akıcılık özelliklerinde, kullanılan reçine miktarının artması ile çok az bir artış gözlenmiştir. Bu artış sıvı haldeki reçinenin agrega yüzeylerini ıslatmasından dolayı olmuştur.

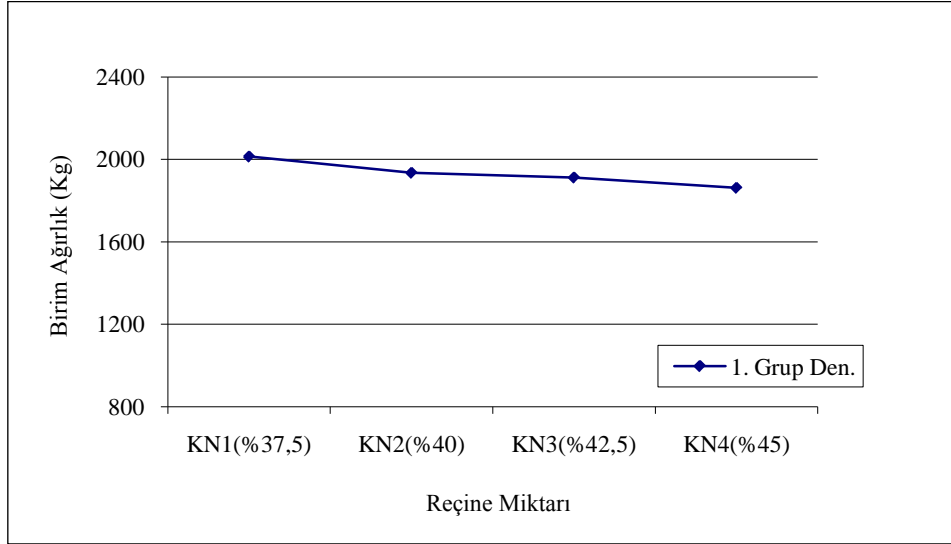
5.6. Sertleşmiş Beton Deneyleri

İşlenebilirlik deneyi tamamlandıktan sonra mekanik deneylerde eğilme ve basınç deneyi yapabilmek amacıyla 4*4*16 cm boyutunda prizmatik numune kalıpları kullanıldı. Polimer betonu kalıba yerleştikten sonra vibrasyon uygulanmıştır.

5.6.1. Birim ağırlık deneyi

Sertleşen polimer betonu numunelerinin basınç ve eğilme mukavemetleri ile ilgili testlerden önce birim ağırlıkları tespit edilmiştir. Polimer betonunun birim ağırlıkları Şekil 5.10’ da verilmiştir.

Birinci grup karışımlardaki reçine miktarının artmasıyla birlikte (Şekil 5.10), polyester reçinesinin özgül ağırlığının da agregalarınkinden az olması sebebiyle birim ağırlıklarında bir azalma görülmüştür.



Şekil 5.10. Birinci grup deneylere ait birim ağırlık- reçine miktarı ilişkisi

5.6.2. Eğilme deneyi

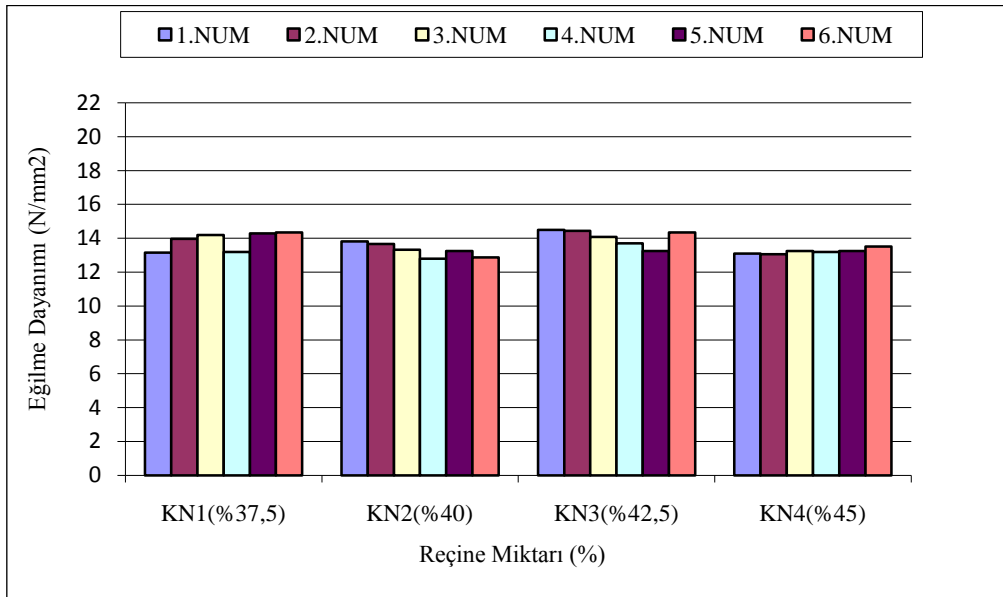
Sertleşerek kürünü tamamlayan polimer betonları üzerinde, eğilme deneyi yapılmıştır. Mesnet aralığı 12 cm alınarak, ortadan tekil yükleme yapılmıştır. Agregaya yüzdeleri sabit, bağlayıcı olarak kullanılan reçine miktarları farklı olan birinci deney grubuna ait sonuçlar Tablo 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Eğilme deneyi

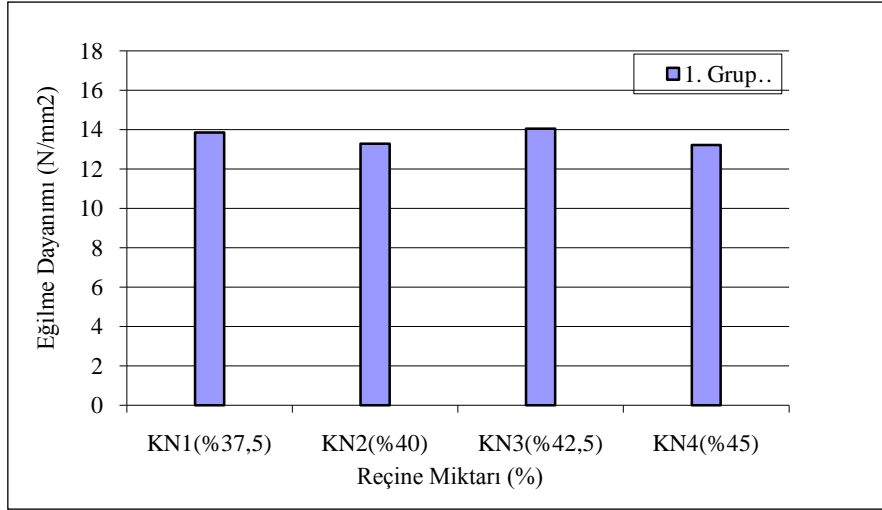
Tablo 5.11. Kuvars agregası ile üretilen betonların eğilme dayanımı

Eğilme Dayanımı (N/mm ²)							
Deney No	1	2	3	4	5	6	Ortalama
KN 1 (%37,5)	13,15	13,96	14,2	13,19	14,29	14,35	13,85
KN 2 (%40)	13,82	13,66	13,33	12,8	13,24	12,86	13,28
KN 3 (%42,5)	14,5	14,43	14,07	13,71	13,24	14,35	14,05
KN 4 (%45)	13,1	13,05	13,24	13,19	13,25	13,52	13,22

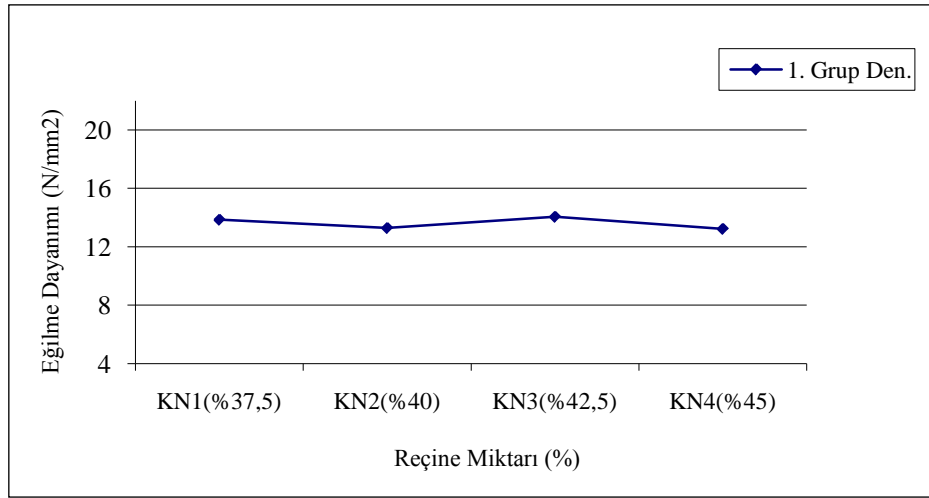


Şekil 5.12. Birinci grup deneylerin eğilme dayanımları

Reçine miktarı artışının deney numunelerinin (Şekil 5.12) eğilme dayanımları üzerinde çok fazla bir etkisi olmadığı gözlenmiştir. Birinci grup deneylerin ortalama eğilme dayanımlarını gösteren sonuçlar Şekil 5.13' de verilmiştir.



Şekil 5.13. Birinci grup deneylerin ortalama eğilme dayanımları



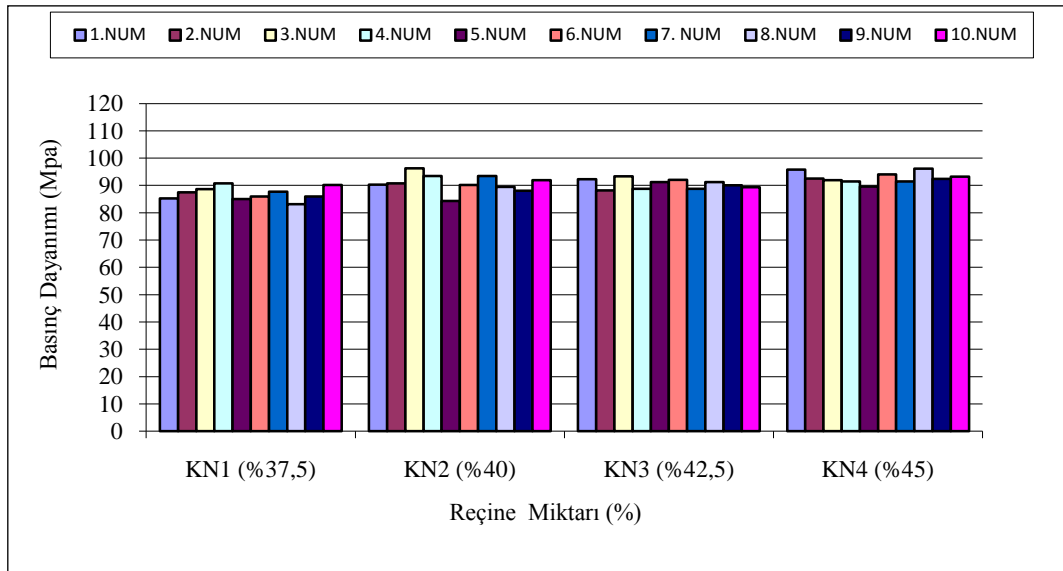
Şekil 5.14. Birinci grup deneylerin ortalama eğilme dayanımları

5.6.3. Basınç deneyi

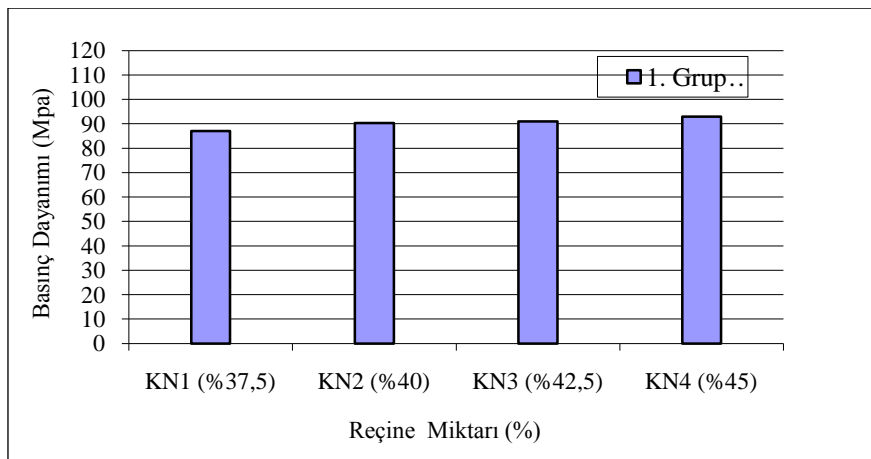
Polimer betonlarının basınç dayanımı, eğilme deneyi sonunda ikiye ayrılan numunelere 4*4 cm ebadında başlık yerleştirilerek yapılmıştır.

Tablo 5.12. Kuvars agregası ile üretilen betonların basınç dayanımları

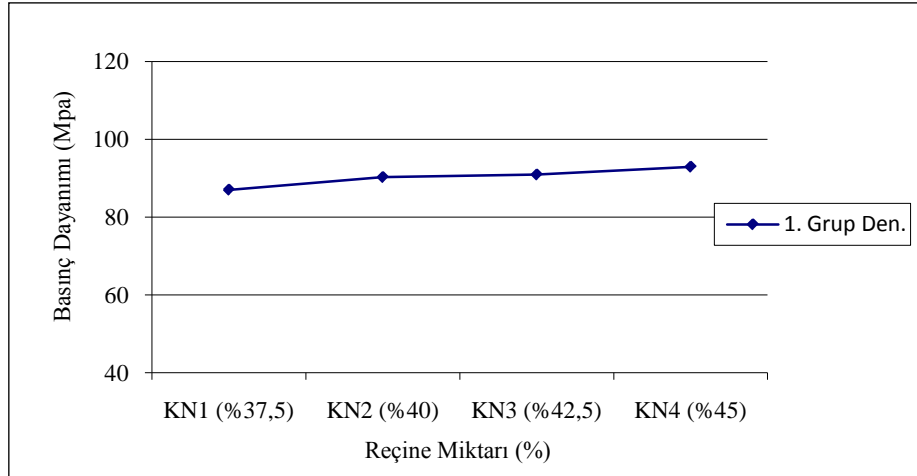
Basınç Dayanımı (MPa)											
Deney No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ortalama
KN1 (%37,5)	85,19	87,44	88,63	90,81	85	86	87,75	83,13	86	90,19	87,01
KN2 (%40)	90,25	90,81	96,31	93,4	84,25	90,13	93,4	89,5	88	91,88	90,24
KN3 (%42,5)	92,25	88,19	93,38	88,81	91,19	92	88,81	91,19	90,06	89,38	90,9
KN4 (%45)	95,81	92,56	91,94	91,44	89,56	94	91,44	96,13	92,38	93,25	92,9



Şekil 5.15. Birinci grup deneylerin basınç dayanımları



Şekil 5.16. Birinci grup deneylerin ortalama basınç dayanımları



Şekil 5.17. Birinci grup deneylerin ortalama basınç dayanımları

Birinci gruba ait deneylerin sonuçlarından anlaşıldığı gibi bağlayıcı malzeme olarak kullanılan polyester reçinesinin %20'lik artışıyla birlikte (Şekil 5.17) deney numunesinin basınç dayanımında %6,7'lik bir artış olmuştur.

İkinci grup deneylerde ilk yapılan deney sonuçlarına göre en ideal ve en ekonomik özellikleri sağlayan deney numunesi seçilerek bunun işlenebilirlik ve mekanik özelliklerini cam tozu ikame ederek iyileştirilmeye çalışılmıştır. İşlenebilirlik ve ekonomik özellikler dikkate alınarak, KN2 karışım kodlu deney numunesi seçilmiştir. Hacimce %40 kullanılan reçine miktarı sabitlenerek (0,5-1mm) boyutundaki ince agreganın yerine %10, %20, %30, %40, %47 oranlarında cam tozu ikame edilmiştir.

5.7. İkinci Grup Deneylere Ait Karışım Kodları ve içeriği

- KN2 CT ŞHT : Reçine miktarı sabit (%40/ m³), Agrega oranları sabit, ancak karışıma %10 oranında cam tozu katılmış ve şahit olarak alınmıştır
- KN2 CT1 : Reçine miktarı sabit (%40/ m³). Cam tozu ikamesi (%10)
- KN2 CT2 : Reçine miktarı sabit (%40/ m³). Cam tozu ikamesi (%20)
- KN2 CT3 : Reçine miktarı sabit (%40/ m³). Cam tozu ikamesi (%30)
- KN2 CT4 : Reçine miktarı sabit (%40/ m³). Cam tozu ikamesi (%40)
- KN2 CT5 : Reçine miktarı sabit (%40/ m³). Cam tozu ikamesi (%47)

Tablo 5.13. 1 m³ Polimer betonunda kullanılan kuvars agregası ve cam tozunun kendi aralarındaki dağılımları

Agrega ve Cam Tozu Karışım Oranları (Hacimce %)					
Karışım Kodu	0-1mm Kuvars (%)	1-3mm Kuvars (%)	3-5mm Kuvars (%)	Cam tozu (%)	Reçine Miktarı (%)
KN 2CT ŞHT	47	32	21	10	40
KN2 CT1	37	32	21	10	40
KN2 CT2	27	32	21	20	40
KN2 CT3	17	32	21	30	40
KN2 CT4	7	32	21	40	40
KN2 CT5	0	32	21	47	40

Tablo 5.14. 1 m³ Polimer betonu için gerekli karışım oranları

Karışım Oranları (Hacimce %)							
Karışım Kodu	Polyester Reçine	Kobalt	Sertleştirici	0-1mm Kuvars	1-3mm Kuvars	3-5 mm Kuvars	Cam tozu
KN 2CT ŞHT	40	0,3	1,65	22,58	15,37	10,09	10
KN2 CT1	40	0,3	1,65	21,47	18,57	12,19	5,8
KN2 CT2	40	0,3	1,65	15,67	18,57	12,19	11,61
KN2 CT3	40	0,3	1,65	9,86	18,57	12,19	17,41
KN2 CT4	40	0,3	1,65	4,06	18,57	12,19	23,21
KN2 CT5	40	0,3	1,65	0	18,57	12,19	27,27

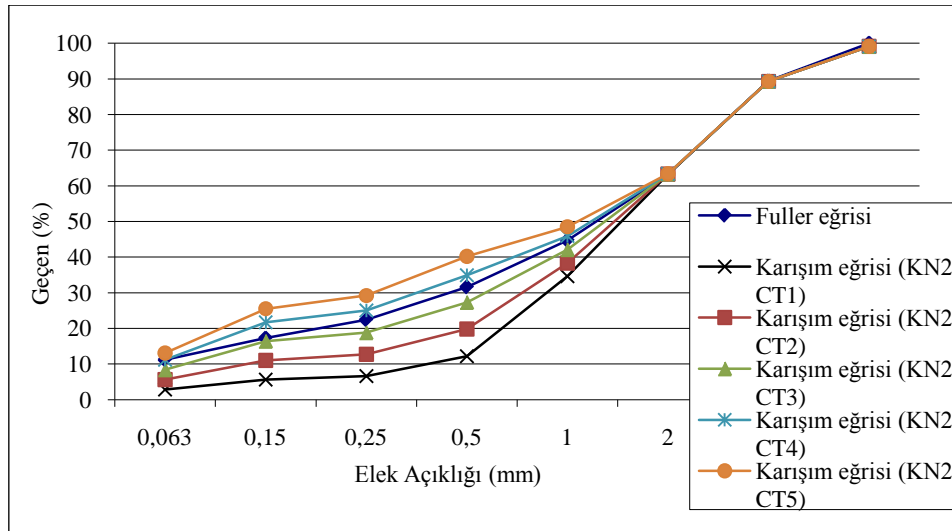
Tablo 5.15. 1 m³ Polimer betonu için gerekli karışım ağırlıklar

Karışım Oranları (Ağırlıkça kg/m ³)							
Karışım Kodu	Polyester Reçine	Kobalt	Sertleştirici	0-1mm Kuvars	1-3mm Kuvars	3-5mm Kuvars	Cam tozu
KN 2CT ŞHT	450	1,35	7,42	652	452	296	155
KN2 CT1	450	1,35	7,42	570	502	328	156
KN2 CT2	450	1,35	7,42	416	502	328	311
KN2 CT3	450	1,35	7,42	262	502	328	467
KN2 CT4	450	1,35	7,42	108	502	328	623
KN2 CT5	450	1,35	7,42	0	502	328	732

Tablo 5.16. Deney numunelerinin granülmetrileri

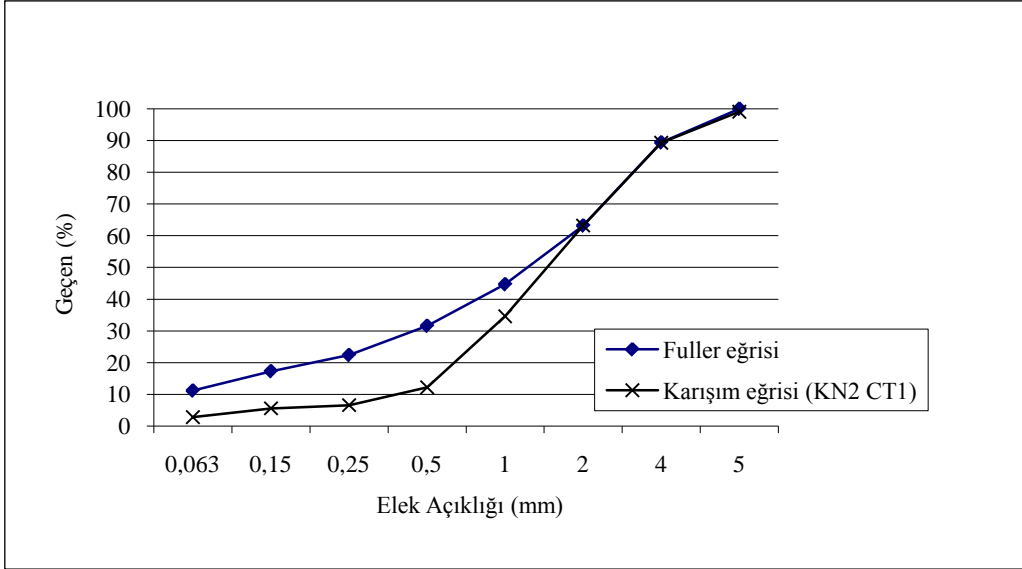
Karışım Kodu	Elek Açıklığı ve Geçen (%)							
	5mm	4mm	2mm	1mm	0,5mm	0,25mm	0,125mm	0,063mm
KN 2CT ŞHT	99,1	89,3	63,2	30,8	4,6	0,5	0,3	0
KN2 CT1	99,1	89,3	63,2	34,6	12,2	6,6	5,6	2,8
KN2 CT2	99,1	89,3	63,3	38,3	19,8	12,7	11	5,6
KN2 CT3	99,1	89,3	63,3	42,1	27,3	18,8	16,4	8,4
KN2 CT4	99,1	89,3	63,4	45,9	34,9	25	21,7	11,2
KN2 CT5	99,1	89,3	63,4	48,5	40,2	29,2	25,5	13,1

Tablo 5.7'deki agrega karışım oranlarından da görüldüğü gibi birinci grup deneylerdeki agrega yüzdeleri sabit tutulduğu için karışımın granülmetrisinde bir değişim olmamıştı. Ancak ikinci grup deneylere geçildiğinde, karışımlardaki reçine miktarı sabitlenmiş ince agreganın yerine sırasıyla %10, %20, %30, %40, %47 oranlarında cam tozu ikame edildiği için karışımların granülmetrisinde farklılıklar (Tablo 5.16) olmuştur. Şekil 5.18'de ikinci grup deneylerin cam tozu ikamesi neticesinde ideal Fuller eğrisinden ne kadar uzaklaştıkları görülmektedir.



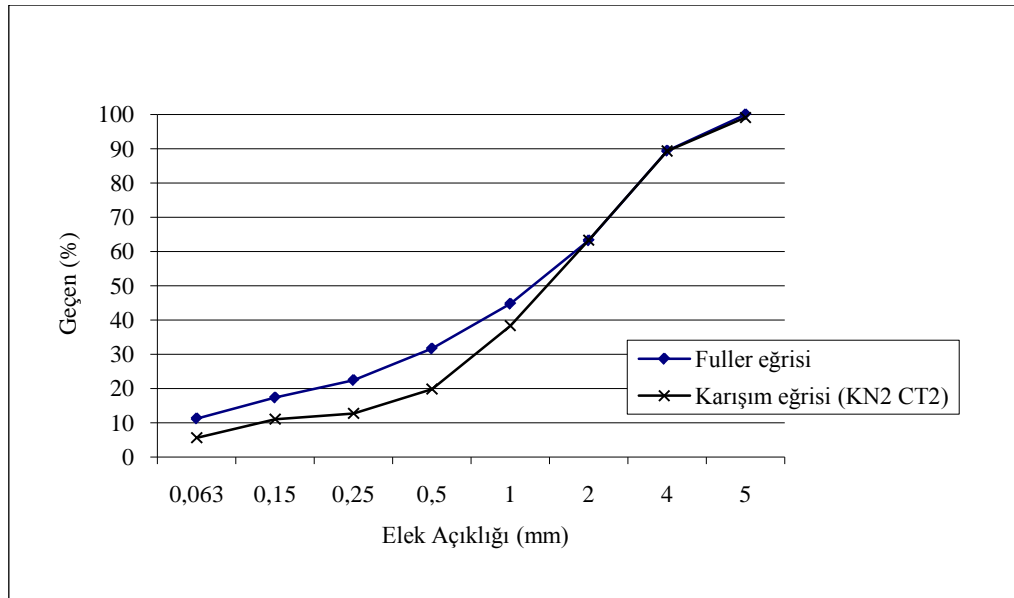
Şekil 5.18. İkinci grup deney numunelerinin karışım granülmetrileri

Şekil 5.19'de ince kuvars agregasının yerine %10 oranında cam tozu ikamesi sonucunda oluşan karışımın granülmetri eğrisi görülmektedir.



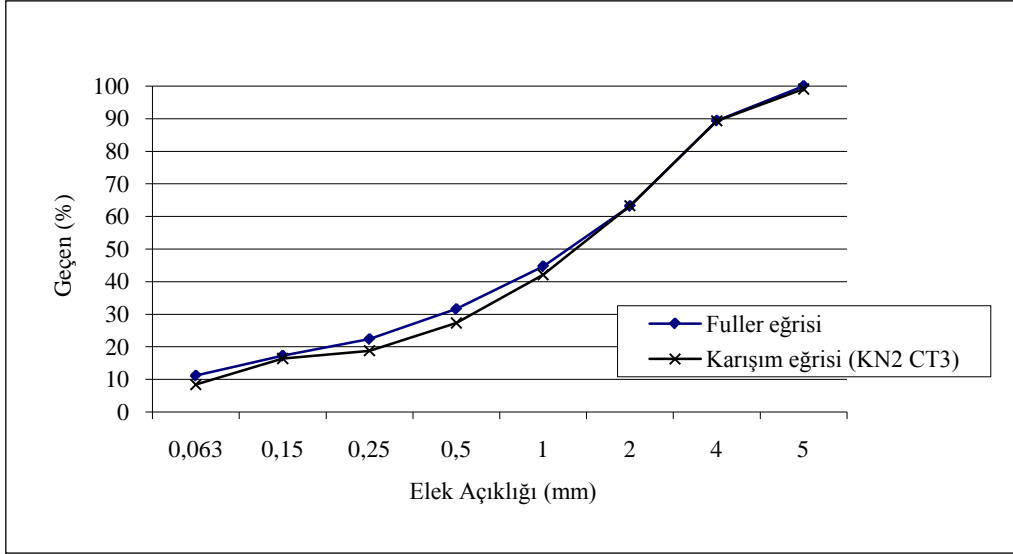
Şekil 5.19. Kuvars tozunun yerine %10 oranında cam tozu ikamesi

Şekil 5.20’de ince kuvars agregasının yerine %20 oranında cam tozu ikamesi sonucunda oluşan karışımın granülmetri eğrisi görülmektedir.



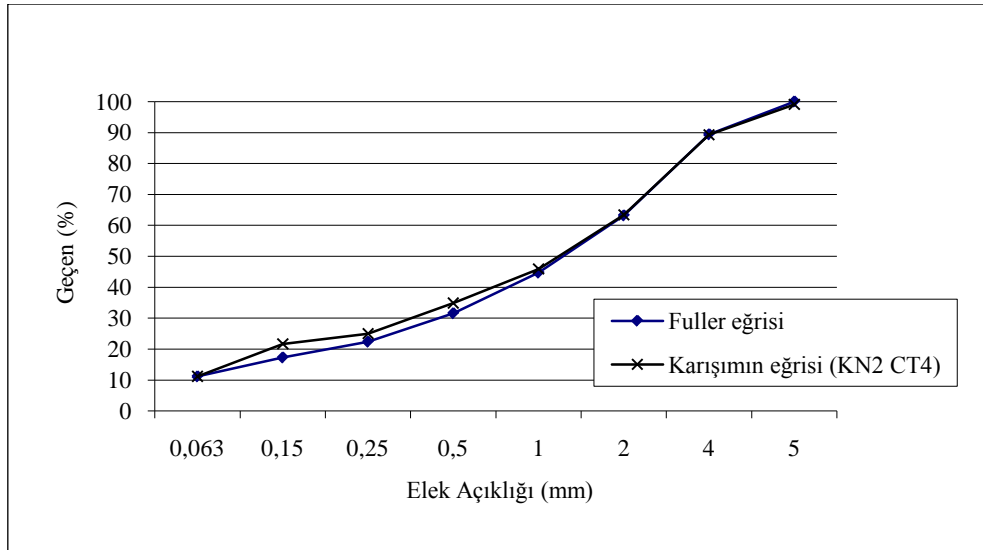
Şekil 5.20. Kuvars tozunun yerine %20 oranında cam tozu ikamesi

Şekil 5.21’de ince kuvars agregasının yerine %30 oranında cam tozu ikamesi sonucunda oluşan karışımın granülmetri eğrisi görülmektedir.



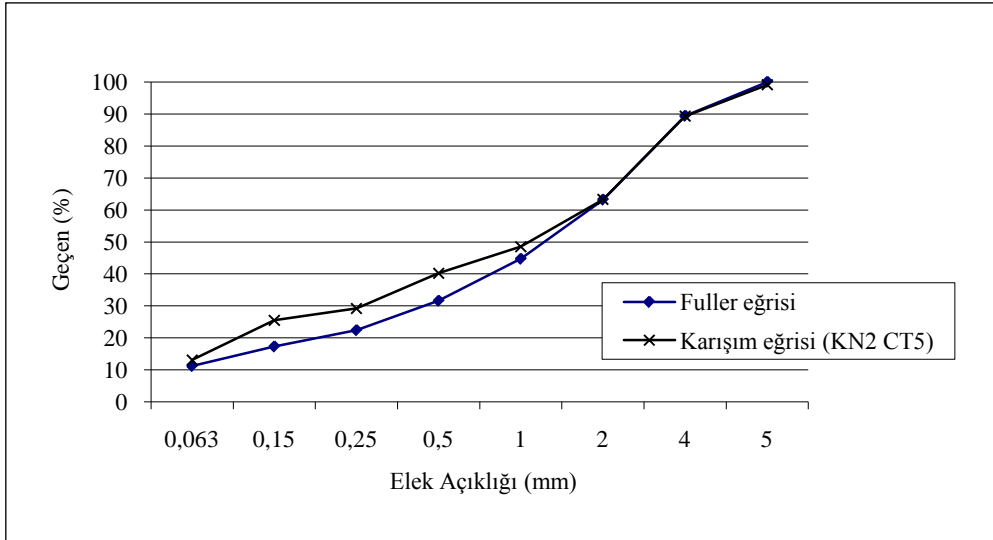
Şekil 5.21. Kuvars tozunun yerine %30 oranında cam tozu ikamesi

Şekil 5.22'da ince kuvars agregasının yerine %40 oranında cam tozu ikamesi sonucunda oluşan karışımın granülmetri eğrisi görülmektedir.



Şekil 5.22. Kuvars tozunun yerine %40 oranında cam tozu ikamesi

Şekil 5.23'de ince kuvars agregasının yerine %47 oranında cam tozu ikamesi sonucunda oluşan karışımın granülmetri eğrisi görülmektedir.

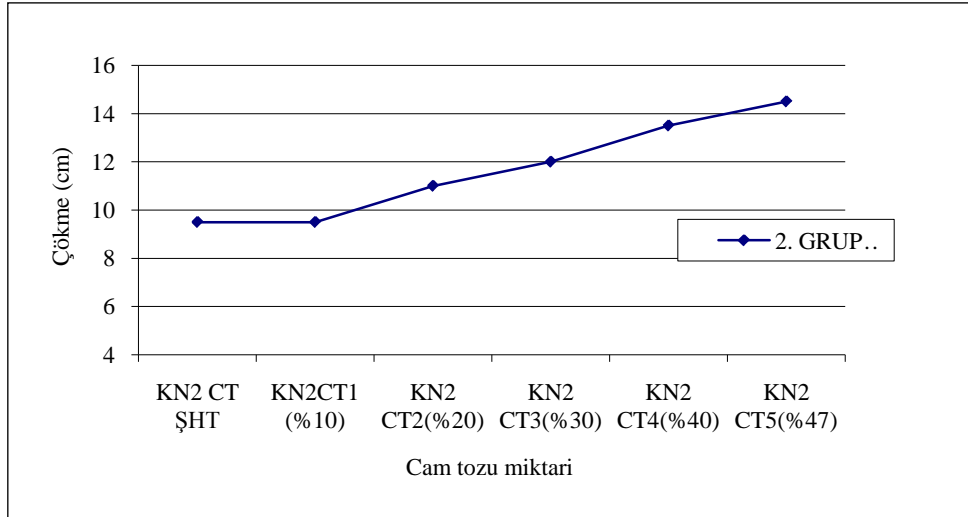


Şekil 5.23. Kuvars tozunun yerine %47 oranında cam tozu ikamesi

Kuvars tozunun yerine, cam tozu ikame edilen numunelerdeki granülmetri eğrilerinde açıkça görüldüğü gibi kullanılan cam tozu oranı arttıkça karışımın granülmetri eğrisi fuller eğrisine yaklaşmış ve ideal gradasyonu oluşturmuştur. Ancak cam tozu oranı %40 ve %47 olduğunda tozun kendi içerisindeki inceliğinden dolayı Fuller eğrisini aşmıştır.

5.8. Taze Harcın İşlenebilirlik Deneyleri

İkinci grup deneylerde kuvars tozunun yerine ikame edilen cam tozunun artması ile karışımın granülmetrisinin ideal fuller eğrisine yaklaştığı tespit edilmiştir. Şekil 5.24' da görüldüğü gibi cam tozu miktarının artması ile polimer betonu harcı daha akıcı hale gelmiş ve işlenebilirlik özelliğini de geliştirmiştir.



Şekil 5.24. İkinci grup deneylerin çökme değerleri



Şekil 5.25. KN2 (çökme:8 cm) ve KN2 CT1 (çökme:9,5cm) ait çökme değerleri



Şekil 5.26. KN2 CT2 (çökme:11 cm) ve KN2 CT3 (çökme:12cm) ait çökme değerleri

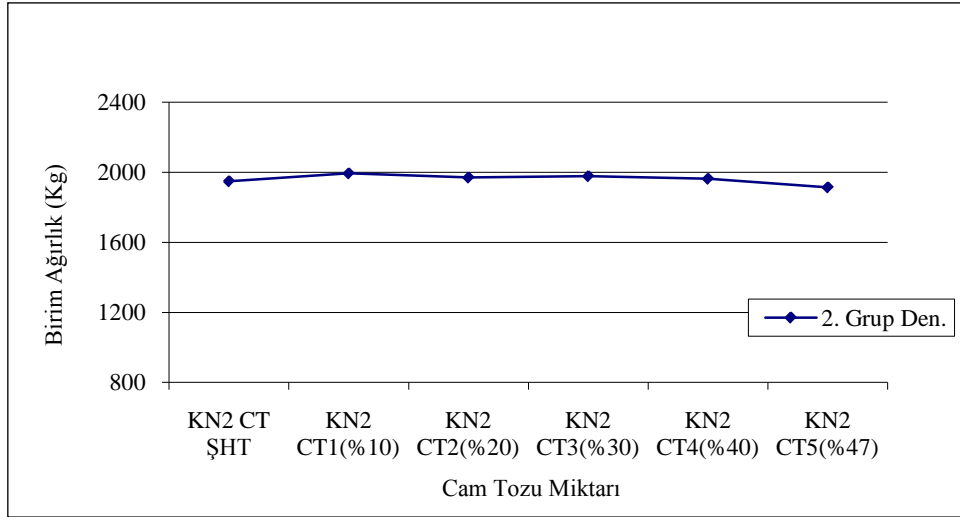


Şekil 5.27. KN2 CT4 (çökme:13,5 cm) ve KN2 CT5 (çökme:14,5cm) ait çökme değerleri

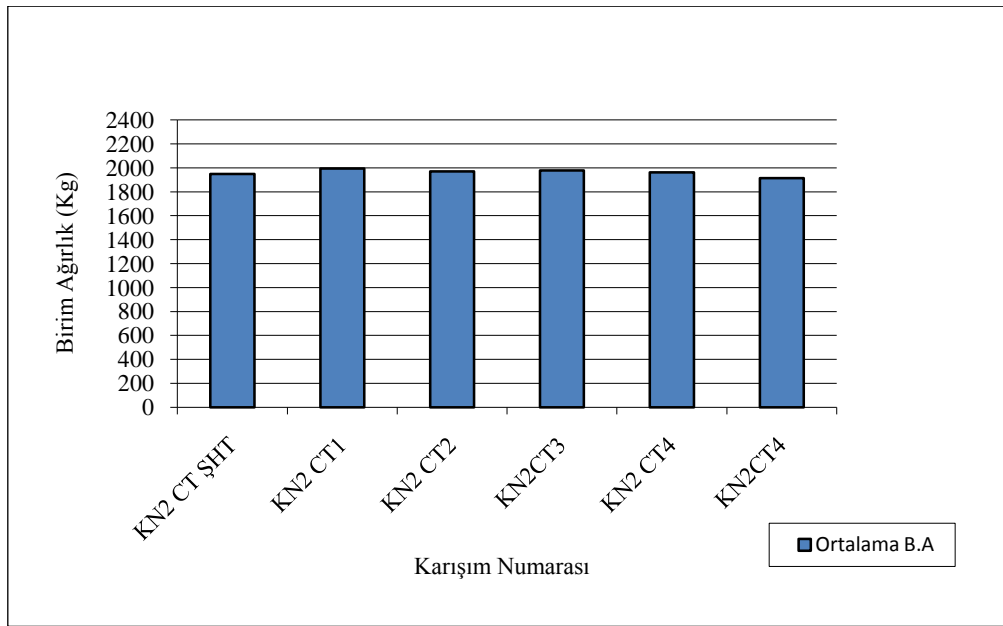
5.9. Sertleşmiş Beton Deneyleri

5.9.1. Birim ağırlık deneyi

İkinci grup karışımlardaki reçine miktarının sabit tutulmasıyla birlikte, kuvars tozunun yerine ikame edilen cam tozunun özgül ağırlığının agregalarınkinden çok farklı olmaması sebebiyle birim ağırlıklarında önemli bir değişiklik görülmemiştir.



Şekil 5.28. İkinci grup deneylere ait birim ağırlıklar



Şekil 5.29. Birinci ve ikinci grup deneylere ait birim hacim ağırlıklar

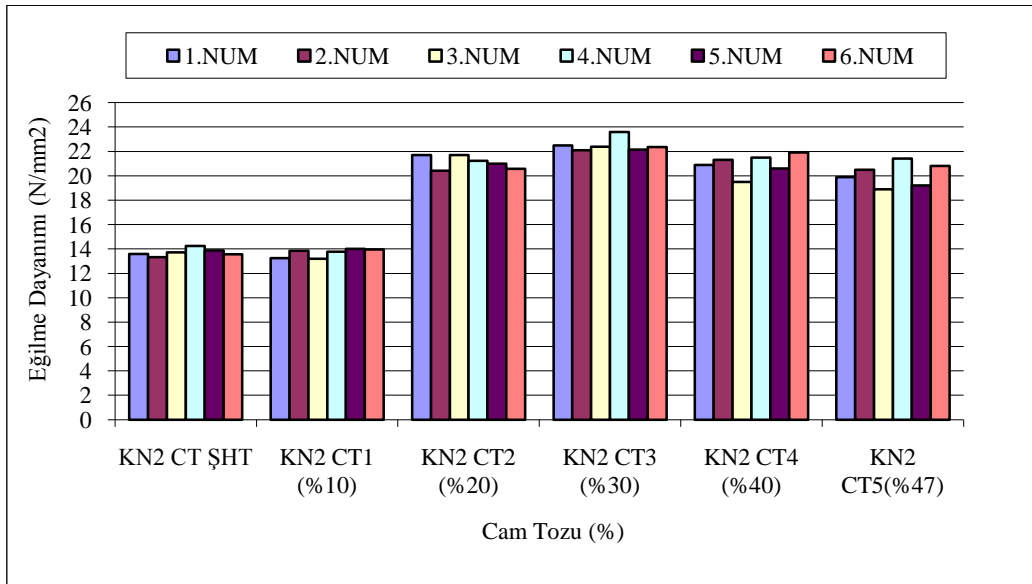
Reçine miktarı sabit tutularak (hacimce %40) her bir karışımdaki cam tozu miktarı yaklaşık olarak %10 oranında arttırılmış ve ince kuvars agregası yerine ikame edilmiştir. Karışımlardaki reçine miktarları sabit tutulduğu için ve kullanılan cam tozunun birim ağırlığının kuvars agregasının birim ağırlığına yakın olduğundan dolayı deney numunelerinin birim hacim ağırlıklarında (Şekil 5.28) çok az değişiklik olduğu görülmüştür.

5.9.2. Eğilme deneyi

Sertleşerek kürünü tamamlayan numuneler üzerinde eğilme deneyi yapılmıştır. Mesnet aralığı 12 cm alınmış, ortadan tekil yükleme yapılmıştır. Polyester yüzdesi sabit, kuvars tozunun yerine belirli oranlarda cam tozu ikamesi yapılan ikinci deney grubuna ait sonuçlar Tablo 5.17’de verilmiştir.

Tablo 5.17. Kuvars agregası ve cam tozu ile üretilen betonların eğilme dayanımı

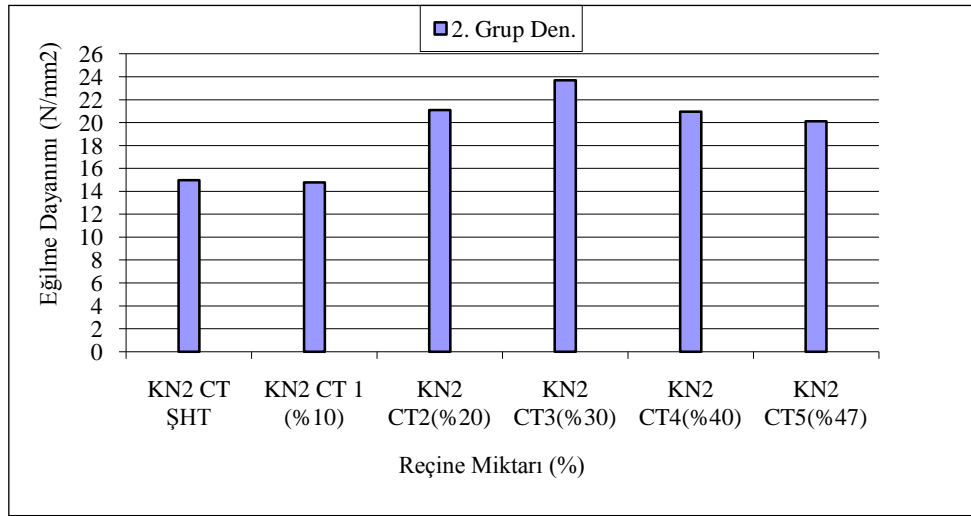
Eğilme Dayanımı (N/mm ²)							
Deney No	1	2	3	4	5	6	Ortalama
KN2CT ŞHT	13,6	13,33	13,71	14,24	13,88	13,57	14,96
KN2 CT1 (%10)	13,24	13,85	13,19	13,77	14,01	13,96	14,77
KN2 CT2(%20)	21,71	20,42	21,71	21,24	21	20,56	21,1
KN2 CT3 (%30)	22,5	22,1	22,38	23,59	22,16	22,35	23,69
KN2 CT4(%40)	20,9	21,3	19,5	21,5	20,6	21,9	20,95
KN2 CT5 (%47)	19,9	20,5	18,9	21,4	19,2	20,8	20,11



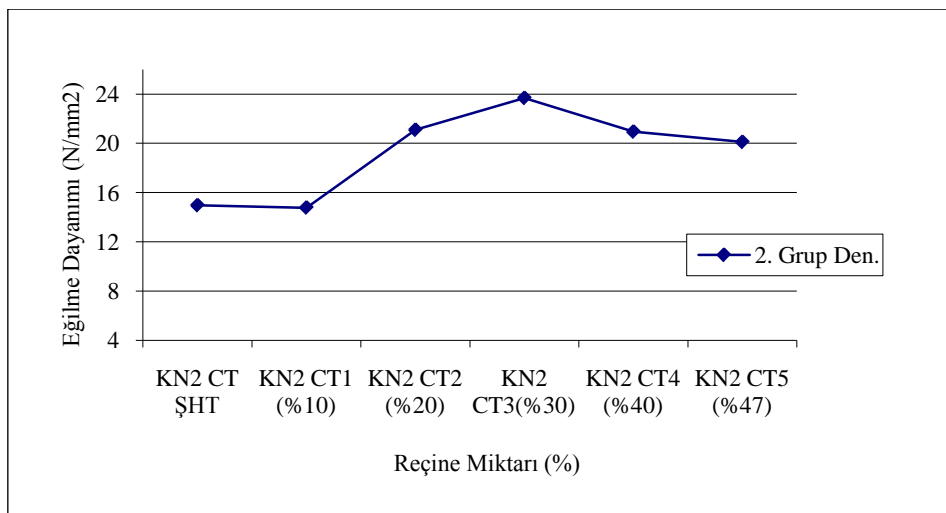
Şekil 5.30. İkinci grup deneylerin eğilme dayanımları

Cam tozunun miktarının artmasıyla deney numunelerinin eğilme dayanımlarında belirli bir artış olmuştur (Şekil 5.30). Bunun nedeni olarak cam tozunun, kuvars

tozuna kıyasla bağlayıcı malzeme olarak kullanılan polyester reçinesini daha az absorbe etmesidir. Aynı zamanda cam tozu, ikame edilen numunelerin karışım granülmetrilerini Fuller eğrisine daha çok yaklaştırmıştır. Daha ideal bir eğri oluşmuş ve betonun doluluk oranının da artmasına yardımcı olmuştur. KN2 CT ŞHT kodlu şahit olarak alınan numunenin eğilme dayanımı ile KN2 CT1 kodlu numunenin eğilme dayanımı birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu da kullanılan cam tozunun deney numunelerinin eğilme dayanımlarına ne kadar etki ettiğini göstermiştir.



Şekil 5.31. İkinci grup deneylerin ortalama eğilme dayanımları



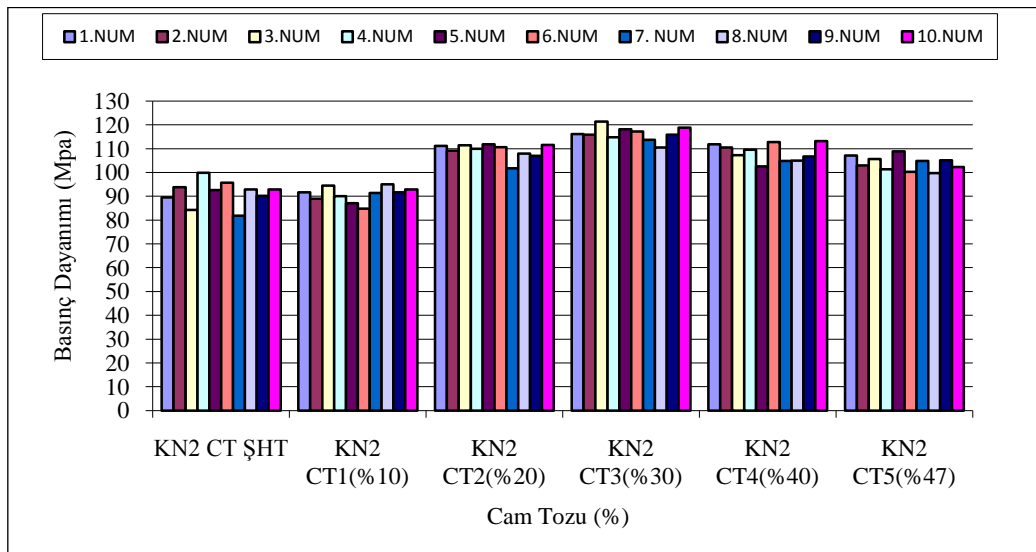
Şekil 5.32. İkinci grup deneylerin ortalama eğilme dayanımları

5.9.3. Basınç deneyi

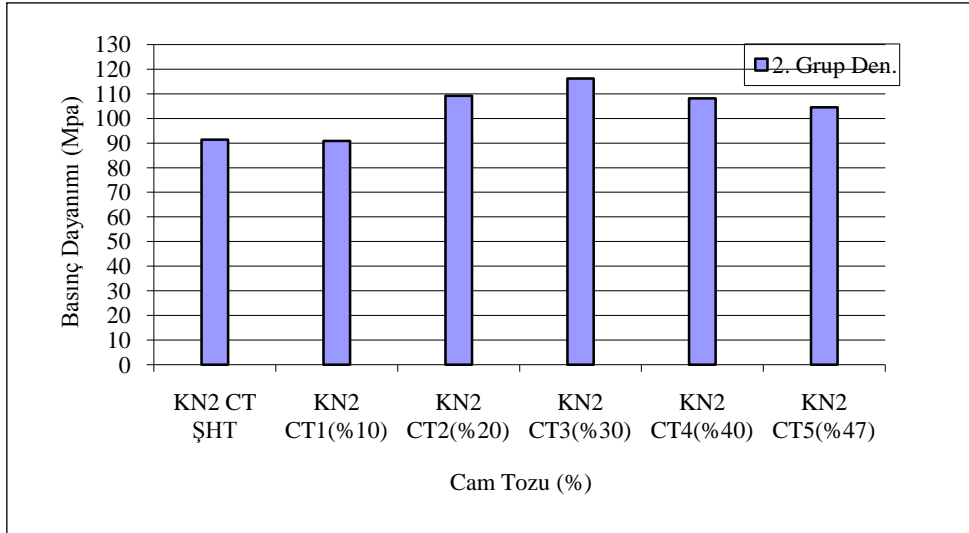
Polimer betonlarının basınç dayanımı, eğilme deneyi sonunda ikiye ayrılan numunelere 4*4 cm ebadında başlık yerleştirilerek yapılmıştır.

Tablo 5.18. Kuvars agregası ve cam tozu ile birlikte üretilen betonların basınç dayanımları

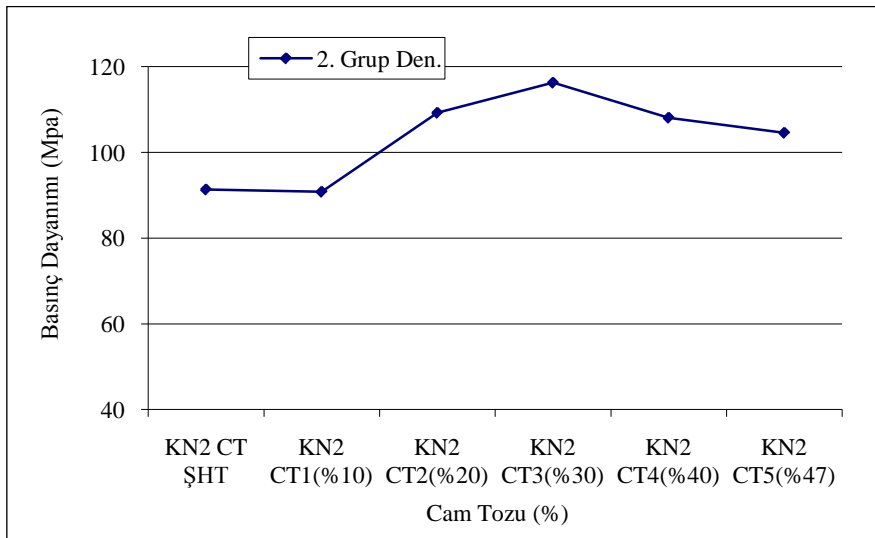
Basınç Dayanımı (MPa)											
Deney No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ortalama
KN2CT ŞHT	89,5	93,8	84,3	99,9	92,6	95,7	81,9	92,8	90,1	92,9	91,3
KN2 CT1 (%10)	91,7	88,9	94,4	90,1	87,1	84,8	91,4	95,0	91,6	92,9	90,8
KN2 CT2(%20)	111,1	109,1	111,5	109,9	111,9	110,7	101,6	107,9	107,1	111,6	109,2
KN2 CT3 (%30)	116,2	115,9	121,4	114,8	118,1	117,3	113,7	110,5	115,9	118,9	116,3
KN2 CT4 (%40)	109,7	111,9	110,5	107,3	109,6	102,6	112,8	104,8	105,0	106,7	108,1
KN2 CT5 (%47)	109,6	107,1	103,0	105,6	101,4	108,9	100,3	104,9	99,8	105,1	104,6



Şekil 5.33. İkinci gruba ait deneylerin basınç dayanımları



Şekil 5.34. İkinci grup deneylerin ortalama basınç dayanımları



Şekil 5.35. İkinci grup deneylerin ortalama basınç dayanımları

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Polyester reçineler genelde tek başlarına kullanılmayan polimer malzemelerdir. Viskoziteyi değiştirmek, sertliğini arttırmak ve maliyeti düşürmek gibi nedenlerden dolayı polyester reçineler filler veya agrega gibi dolgu malzemeleri ile birlikte kullanılmaktadır. Polimer betonların işlenebilirliği reçinenin viskozitesine, incelik ve tane şekli ile agrega konsantrasyonuna bağlıdır. Kullanılan agreganın granülometrisi ve agreganın yapısı polimer betonunun işlenebilirliğinin yanında basınç mukavemetlerini de etkilemektedir.

Bu çalışma kapsamında polimer betonunda dolgu malzemesi olarak kullanılan kuvars tozunun yerine belirli oranlarda cam tozu ikame ederek polimer betonun işlenebilirliği ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Dört farklı oranlardaki polyester reçinesine kuvars agregası katılarak çökme deneyleri yapıldıktan sonra, 4x4x16 cm ebatlarında prizmatik numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelere dökümden hemen sonra 1 saat boyunca 80⁰ C sıcaklıkta kür uygulanmıştır ve sertleşmesini tamamlamak için 20 gün boyunca oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir. Örneklerin çökme, basınç ve eğilme dayanımları belirlendikten sonra ideal ve ekonomik özellikleri sağlayan karışım seçilip burada kullanılan polyester reçine miktarı sabitlenmiş, kuvars tozunun yerine cam tozu ikame edilmiştir. Beş farklı oranda cam tozu karıştırılarak üretilen numunelere taze halde iken çökme, sertleştikten sonra eğilme ve basınç deneyi yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda elde edilen bulgular şunlardır:

- Çökme deneyleri sonuçları incelendiğinde; karışımdaki bağlayıcı malzeme olarak kullanılan reçine miktarının %13 artışı sonucunda deney numunelerinin çökme değerlerinde %20 lik bir artış olmuştur. Ancak karışımda kullanılan reçine miktarının %20 oranında arttırılmasına rağmen numunelerdeki çökme değeri artışının %20'de kaldığı görülmüştür.
- Reçine miktarının sabitlenerek, kuvars tozu yerine %30 oranında cam tozu ikame edilmesi sonucunda karışımların çökme değerlerinde %50 oranında, kuvars tozu yerine ince malzeme olarak tamamen cam tozu kullanılması durumunda ise karışımların çökme değerlerinde %80 oranında bir artış olduğu görülmüştür. Reçine miktarı sabitlenerek kuvars tozunun yerine cam tozu kullanılması sonucunda betonun işlenebilirliğinin cam tozu kullanılmadan yapılan üretime kıyasla çok daha fazla arttığı tespit edilmiştir. Polimer betonunda kullanılan cam tozunun arttırılması ile harcın işlenebilirliğini de arttırmak mümkün olmuştur.
- Reçine miktarının %13 artması ile numunelerin eğilme dayanımlarında %1,4 oranında bir artış olmuştur.
- Kullanılan reçine oranının sabitlenerek, polimer betonunda dolgu malzemesi olarak kullanılan kuvars tozunun yerine %10 oranında cam tozu kullanılması ile beraber numunelerin eğilme dayanımlarında %11'lik bir artış olmuştur. Kuvars tozunun yerine %30 oranında cam tozu ikame edilmesi sonucunda ise eğilme dayanımlarında %78 oranında artış olmuştur. Cam tozu miktarının %47 olduğu yani kuvars tozu yerine tamamen cam tozu kullanıldığında ise numunelerin eğilme dayanımlarındaki artış %45'te kalmıştır. Polimer betonunun granülmetrisinin ideal Fuller eğrisinden uzaklaşması neticesinde numunelerin eğilme dayanımlarında bir azalma olduğundan dolayı karışım hesabı yapılırken agrega karışım oranları çok iyi tespit edilmelidir.
- Basınç dayanımları sonuçları incelendiğinde; deney numuneleri arasındaki %20 lik reçine artışı sonucunda karışımların basınç dayanımlarında ki artış %6,7 olmuştur.
- Reçine miktarı sabitlenerek karışıma %10 cam tozu ikamesi sonucunda basınç dayanımlarında %1,2 oranında artış, kuvars tozunun yerine %30 oranında cam tozu ikamesi edilmesi neticesinde ise basınç dayanımlarında %29 oranında artış olmuştur. Cam tozu miktarının %47 olduğu deney numunesinde ise basınç dayanımındaki artış %15 olmuştur. Cam tozu bünyesine, ikame edildiği kuvars tozuna oranla polyester reçineyi daha az absorbe ettiği için üretimde kullanılan reçine miktarının dozajında

bir azalmaya sebep olmamıştır. Karışımdaki cam tozu oranının %30 seviyesinde tutulması ile en ideal oran yakalanmıştır.

- Karışıma cam tozu ikamesi ile hem polimer betonun dayanımında bir artış sağlanmakta hem de atık bir malzemenin değerlendirilmesi gerçekleşmektedir.

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., Polimer Kimyasına Giriş, İstanbul, (1991).
- [5] AKMAN S., (1987); Yapı Malzemesi Bilimi I.T.Ü İstanbul.
- [6] BAYSAL B., (1981); Polimer Kimyası Cilt 1 Polimerizasyon Reaksiyonu, İTÜ ve ODTÜ, Ankara.
- [7] AKKOVALI D., (1993); Polimer Ders Notları. O.D.T.Ü, Ankara.
- [8] AKMAN M.S., Yapı Malzemeleri, 2.Baskı, İTÜ, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul (1990).
- [9] VLACK L.H. VAN., Malzeme Bilimine Giriş, (Çeviren R.A Safoğlu), Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul (1972).
- [10] SHACKELFORD J.F., Introduction to Materials Science for Engineering, 2. Edition, New York; Macmilian (1990).
- [11] HOLLAWAY L., "Polymer and Polymer Composites for Civil and Structural" Engineering, Blackie Academic and Professional, Glasgow,(1993).
- [12] KAYA F., (1983); Plastik Katkı Maddeleri ve İşleme Metodları, Yarımcı.
- [13] OHAMA Y., "New Developments and Environmental Issues in Concrete-Polymers Composites, 8th ICPIIC Oostende-Belgium, pp 27 July 3-5 (1995).
- [14] ACI Manual of Concrete Practice, Part-5 (1993).
- [15] YOUNG R.J., Introduction to Polymers, Chapman & Hall, London,(1981).
- [16] DIKEO JAMES T., and DAVID W. FOWLER, "Polymer Concrete for Overlays and Precast Components; Canner/ACI International Workshop on Advances in Concrete Technology, (1990).

- [17] D.W., FOWLER “Applications of Polymer Concrete”, Department of Civil Engineering, The University of Texas at Austin, USA, 8th. Congress ICPC Oostende(Belgium), pp 13 July 3-5 (1995).
- [18] ERDOĞAN T.Y., (2003); Beton, METU Press, Ankara.
- [19] WONG G.S., ALEXZNDER, M. A., HASKINS, R., POOLE, T., MALONE, P. G. & WAKELEY, L.(2001). Portland-Cement Concrete.
- [20] GRISSER, A., (2002); Cement-Superplasticizer Interactions at Ambient Temperatures, Thesis of Doctor of Philosophy, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich.
- [21] SAYLAN, S., Takım Tezgahı Gövdelerinin İmalinde Yeni Bir Malzeme: Polimer Beton, Doktora Tezi, Bursa, Eylül (1991).
- [22] ERCAN C., (1997); “Epoksi Polimer Harç ve Betonlarının İşlenebilme Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah Pişkin, 10.07.1981 de Bursa'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Bursa'da tamamladı. 1998 yılında Hürriyet Endüstri Meslek Lisesi, Yapı Bölümünden mezun oldu. 1999 yılında başladığı Süleyman Demirel Üniversitesi, Yapı Öğretmenliği bölümünü 2003 yılında bitirdi. 2004 yılından hazır beton sektöründe çalışmaya başladı. 2007 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Enstitü Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı. Halen hazır beton sektöründe çalışmaktadır.