

**POLİMER EMDİRİLMİŞ MİNERAL KATKILI
BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIĞA KARŞI
DAYANIKLILIĞININ ARAŞTIRILMASI**

MURAT ŞAHİN

**Yüksek Lisans Tezi
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Harun TANYILDIZI**

Mart 2014

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

**POLİMER EMDİRİLMİŞ MİNERAL KATKILI BETONLARIN YÜKSEK
SICAKLIĞA KARŞI DAYANIKLILIĞININ ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat ŞAHİN

101125102

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21 Mart 2014
Tezin Savunulduğu Tarih : 7 Nisan 2014

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Harun TANYILDIZI (F.Ü.)
Diğer Juri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Erkut SAYIN (F.Ü.)
: Doç. Dr. Erol ÇİL (F.Ü.)

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön vererek yardım ve bilgi konusunda bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, sayın Doç. Dr. Harun TANYILDIZI'na ve çalışmalarım süresince zamanını bana ayıran, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren hocam, sayın Arş. Gör. Dr. Ahmet COŞKUN'a, çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen dönem arkadaşlarım Yavuz YONAR'a ve Atılay AKGÜN'e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Tüm öğrenim hayatım boyunca devamlı yanımda olan ve benden maddi manevi desteklerini esirgemeyen, kendilerinden çok beni düşünen sevgili aileme teşekkürlerimi arz ederim.

Murat ŞAHİN
ELAZIĞ – 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLOLAR LİSTESİ	X
SİMGELER LİSTESİ	XI
KISALTMALAR LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. BETON.....	5
2.1. Betonun Bileşenleri	5
2.1.1. Çimento	6
2.1.2. Agregası	6
2.1.3. Su.....	7
2.1.4. Mineral Katkıları	8
2.1.4.1. Uçucu Kül.....	8
2.1.4.2. Yüksek Fırın Cürufu.....	9
2.1.4.3. Silis Dumanı	10
2.1.5. Kimyasal Katkı	10
3.OLİVİN	12
3.1. Olivinin Tanımı ve Sınıflandırılması.....	12
3.2. Olivinin Önemi	13
3.3. Olivinin Özellikleri.....	14
3.3.1. Fiziksel özellikleri	14
3.3.1.1. Parlaklık.....	14
3.3.1.2. Renk.....	14

3.3.1.3. Rutubet	14
3.3.1.4. Sertlik	15
3.3.1.5. pH	15
3.3.1.6. Yoğunluk	15
3.3.2. Kimyasal Özellikleri.....	15
3.4. Dünyada ve Türkiye’de Olivin Rezervi.....	16
4. POLİMERLER VE POLİMERLEŞME	18
4.1. Polimer	18
4.2. Polimerlerin Sınıflandırılması	19
4.2.1. Termoplastikler.....	19
4.2.2. Termoset plastikler	21
4.2.2.1. Epoksi	21
4.2.2.2. Polyester	22
4.2.2.3. Fenolik	22
4.2.2.4. Silikon.....	23
4.2.2.5. Polymide	23
4.2.2.6. Bismaleimide	23
4.2.2.7. Amino reçineler	24
4.3. Polimer Malzemelerin Bileşenleri	24
4.3.1. Solvent’ler	25
4.3.2. Plastifiyanlar	25
4.3.3. Stabilizanlar	25
4.3.4. Dolgu Maddeleri.....	26
4.3.5. Pigmentler.....	26
4.3.6. Katkı Maddeleri	26
4.4. Polimerleşme ve Türleri	27
4.4.1. Basamaklı Polimerleşme	27
4.4.2. Katılma Polimerleşmesi.....	27
4.5. Polimerleşme Teknikleri.....	28
4.5.1. Termal Katalitik Polimerleşme.....	28
4.5.2. Radyasyon Polimerleşmesi.....	29
4.6. Serbest Radikal Polimerleşmesinin Mekanizması.....	29
4.7. Polimerlerin Özellikleri	30

4.7.1. Yüksek Sıcaklığa Dayanım ve Isıl Denge	30
4.7.2. Kimyasal Dayanıklılık.....	31
4.7.3. Oksidasyon Direnci	31
4.7.4. Geçirgenlik	31
4.7.5. Yanıcılık	32
5. POLİMER BETON	33
5.1. Polimer-Beton (PC)	34
5.2. Polimer-Çimento Beton (PCC).....	35
5.3. Polimer Emdirilmiş Beton (PIC)	36
5.3.1. Polimer Emdirilmiş Betonda Polimerin Önemi	37
5.4. Polimer Betonun Yaygın Olarak Kullanım Alanları	38
5.4.1. Onarım.....	38
5.4.2. Prekast polimer betonlar	38
5.4.3. Yollar	39
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	40
6.1. Malzemeler	40
6.1.1. Çimento ve Mineral Katkı	40
6.1.2. Agregalar	41
6.1.3. Kimyasal Katkı	42
6.1.4 Karma Suyu	42
6.1.5. Metil Metakrilat	43
6.2. Numunelerin Hazırlanması.....	43
6.3. Uygulanan Deneyler	44
6.3.1. Basınç Dayanımı Deneyi	44
6.3.2. Ultrasonik Ses Geçirgenlik Deneyi	45
6.3.3. Numunelerin Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılması.....	46
7. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER	47
7.1. Basınç Dayanımı Deneyleri Sonuçları	47
7.2. Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Sonuçları	55
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	63
9. KAYNAKLAR.....	65
10. ÖZGEÇMİŞ	73

ÖZET

Bu tez çalışmasında, polimer emdirilmiş mineral katkılı betonların yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılığı incelenmiştir. Numunelerin hazırlanmasında 0-3 mm olivin ve 3-8 mm dere agregası kullanılmıştır. Mineral katkı olarak silis dumanı %0, %5, %10 ve %20 oranlarında çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Bu tez için polimer olarak metil metakrilat kullanılmıştır. Basınç dayanımı deneyleri ve yüksek sıcaklık deneyleri için 100×100×100 mm ölçülerindeki küp numuneler hazırlanmıştır. Numuneler 7, 28 ve 90 gün boyunca 20±2 °C’ deki standart su küründe bekletilmiştir. Numunelere kurutma (110 °C de etüvde 24 saat) işlemi uygulanıp 20°C, 200°C, 400°C, 600°C, 800°C ve 1000 °C’ den yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra Metil Metakrilat (MMA)’a başlatıcı olarak %1 oranında Benzoil peroksit katılarak numunelere polimer emdirilmiştir. Emdirme işleminden sonra 60 °C’ de 3 saat etüvde ısıtma ile polimerizasyon gerçekleştirilmiştir. Daha sonra numunelerin ultrasonik ses geçiş hızları ve basınç dayanımları deneyleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Polimer, Beton, Yüksek Sıcaklık, Basınç Dayanımı, Ultrasonik Ses Geçirgenliği Hızı.

SUMMARY

Investigation Of High Temperature Resistance of Polymer Impregnated Concretes with Mineral Admixture

In this study, the polymer impregnated concrete with mineral additives exposed to high temperature were investigated. In the specimens of samples 0-3 mm olivine and river sand is 3-8 mm. Concrete mixtures 0%, 5%, 10% and 20% of silica fume replaced with cement by weight was prepared. The methyl methacrylate for polymer has been used for this thesis. 100x100x100 mm size cube specimens for compressive strength and ultrasonic velocity were prepared. The specimens were cured in standard conditions at 20 ± 2 °C in water for periods of 7, 28 and 90 days. After the specimens were dried at 110 °C for 24 hour, they were exposed to 20 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C and 1000 °C. After this, these samples were allowed to stand for 24 hours under atmospheric conditions during the impregnated monomer with 1% Benzoin peroxide. They were carried out the polymerization at 60 °C for 3 hours. They were carried out the ultrasonic pulse velocity and compressive strength tests.

Keywords: Polymer, Concrete, High Temperature, Compressive Strength and Ultrasonic Pulse Velocity

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 4.1.	Termoplastik polimer zinciri.....20
Şekil 4.2.	Termoset plastik zinciri.....21
Şekil 5.1.	Polimerlerin betonda üç ayrı kullanımı.....34
Şekil 6.1.	Yük kontrollü pres.....44
Şekil 6.2.	Ultrasonik ses cihazı.....45
Şekil 6.3.	Yüksek sıcaklık fırını.....46
Şekil 7.1.	Beton numunelerin 1000 °C'deki görüntüsü47
Şekil 7.2.	7 günlük beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı grafiği.....48
Şekil 7.3.	28 günlük beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı grafiği.....48
Şekil 7.4.	90 günlük beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı grafiği.....48
Şekil 7.5.	Yüksek sıcaklıktan sonra polimer emdirilmiş 7 günlük beton numunelerin basınç dayanımı grafiği.....50
Şekil 7.6.	Yüksek sıcaklıktan sonra polimer emdirilmiş 28 günlük beton numunelerin basınç dayanımı grafiği.....51
Şekil 7.7.	Yüksek sıcaklıktan sonra polimer emdirilmiş 90 günlük beton numunelerin basınç dayanımı grafiği.....51
Şekil 7.8.	7 günlük beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası ultrasonik ses geçiş hızı grafiği.....55
Şekil 7.9.	28 günlük beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası ultrasonik ses geçiş hızı grafiği.....56
Şekil 7.10.	90 günlük beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası ultrasonik ses geçiş hızı grafiği.....56
Şekil 7.11.	Yüksek sıcaklık sonrası polimer emdirilmiş 7 günlük beton numunelerin ultrasonik ses geçiş hızı grafiği.....58
Şekil 7.12.	Yüksek sıcaklık sonrası polimer emdirilmiş 28 günlük beton numunelerin ultrasonik ses geçiş hızı grafiği.....58

Şekil 7.13.	Yüksek sıcaklık sonrası polimer emdirilmiş 90 günlük beton numunelerin ultrasonik ses geçiş hızı grafiği.....	59
--------------------	---	----

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Dünyada önemli olivin üreticisi ülkeler ve rezervleri	17
Tablo 4.1. Polimerlerin yanıcılık bakımından sınıflandırılması	32
Tablo 6.1. Çimento ve silis dumanının fiziksel ve kimyasal özellikleri	40
Tablo 6.2. Deneylerde kullanılan agregaya ait özellikler	41
Tablo 6.3. Olivinin mineralojik ve fiziksel özellikleri	41
Tablo 6.4. Olivinin kimyasal analizi	42
Tablo 6.5. Akışkanlaştırıcı katkının kimyasal ve fiziksel özellikleri	42
Tablo 6.6. Metil metakrilat monomerinin kimyasal özellikleri	43
Tablo 6.7. Deneylerde kullanılan betonun karışım oranları	43

SİMGELER LİSTESİ

- A : Yüzey alanı
- P : Kırılma yükü
- f_c : Basınç dayanımı
- V : Ses üstü dalga hızı (km/sn)
- S : Numunenin ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (metre)
- T : Ses üstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı diğer yüzeye kadar geçen zaman (mikro saniye)

KISALTMALAR LİSTESİ

BBP	: Benzoil Peroksit
MMA	: Metil Metakrilat
SD	: Silis Dumanı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
PC	: Polimer Beton
PCC	: Polimer – Çimento Beton
PIC	: Polimer Emdirilmiş Beton

1. GİRİŞ

Yapıya ve malzemeye zarar veren, hasara yol açan yüksek sıcaklık kaynakları, yangın, özel üretimlerden dolayı endüstri fırın bacalarında görülen sıcaklık ve hava alanı pistlerinde sürtünmenin ve uçak motorlarından atılan gazların neden olduğu ısınma olarak gösterilebilir [1]. Konut, okul, fabrika, işyeri gibi binalar, tünel, köprü, petrol platformu gibi yapılar, işlevleri gereği veya yangın nedeni ile yüksek sıcaklık etkisinde kalabilirler. Yüksek sıcaklığın kaynaklarından biri olan yangının betona ve betonarme yapılara etkisi 1922'den günümüze kadar araştırılmıştır. 10 yıl öncesine kadarki çalışmalarda yüksek sıcaklığın normal dayanımlı betona etkileri üzerinde odaklanılmıştı [2]. Ancak günümüzde modern yapılarda, endüstri yapılarında, tünellerde veya özel hizmet amaçlı inşa edilen yapılarda kimyasal ve mineral katkıların kullanımı ile yüksek performanslı ve yüksek dayanımlı betonlar üretilmeye başlanmıştır. Bu betonların yüksek sıcaklık etkisindeki davranışı iyi bilinmelidir. Çünkü iç yapıdaki sıklık yangın direncini azaltır ve yüksek dayanımlı betonu normal betona göre daha riskli duruma getirir [3-5]. Örneğin Danimarka'da bulunan Great Belt Tünelinde ve Channel Tünelde, 1994 ve 1996 yıllarında çıkan yangınlarda, yüksek sıcaklık etkisi ile betonda meydana gelen patlama ve parça atmalar nedeni ile beton kesitindeki azalmalar ağır hasarlara yol açmıştır [6]. Betonarme yapıların yangına karşı dayanım kabiliyeti, beton ve donatının ısınma ve soğuması sırasında iç yapısında meydana gelen değişikliklere karşı beton ve donatının özelliğini yitirmemesine bağlıdır. Beton normal sıcaklıklarda süner fakat yüksek sıcaklıklarda sünme oranı çok artar. Young modülünün azalması hızlanarak artan sünme ve çatlak oluşumu yüksek ısı ve yük altında mukavemetteki azalma soğuma döneminde gevrek betonun yapısını değiştirir. Betonun mukavemeti çok azalmasına rağmen yüksek sıcaklıklarda sünek hale gelir. Bir yangında betonun içindeki suyun kuruyarak çekilmesi betonda büzülmelere, kristal yapının ve elastikiyetinin değişmesine, mukavemetin düşmesine, renkte ve kimyasal yapıda değişimlere neden olur [7]. Özellikle yangın gibi yüksek sıcaklığın oluşturduğu hasarlara ülkemizde de çok sık rastlanmaktadır. Betonarme elemanının yüksek sıcaklığa maruz kaldığında fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişiklikler görülür. Bu değişiklikler, betonun basınç dayanımında ve elastisite modülünde azalma, çatlak oluşumu, parçalanma ve dağılma, çelikte ise akma dayanımı, düktilite ve çekme dayanımında azalmadır. Yangın nedeni ile yüksek sıcaklık etkisine

maruz kalan betonarme bir yapının yıkım ya da onarımına karar vermek için yerinde ve laboratuvarlarda tahribatlı ve tahribatsız deneyler yapılmalıdır [8]. Arıöz yaptığı çalışmada, normal portland çimentosu, kırılmış kalker ve dere agregaları ile üretilen farklı beton numuneleri 200°C-1200 °C arası yüksek sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. 7x7x7 cm boyutlu küp numuneler 20°C/dakika artış hızıyla hedef sıcaklıklara kadar ısıtılmış, bu sıcaklıklarda 2 saat süreyle bekletildikten sonra oda sıcaklığına soğutulularak ağırlık kayıpları ve basınç mukavemetleri belirlenmiştir. Sıcaklığın 600°C' ye ulaşmasıyla yüzey çatlaklarının görünür hale geldiği, 800°C'de daha da arttığı, 1000°C' de ise iyice arttığı görülmüştür. 1200°C'de betonlar tamamen bozulmuştur. Betonların ağırlıklarının, sıcaklığın artmasıyla 800 °C' ye kadar kademeli olarak azaldığı bu sıcaklıktan itibaren ise çok keskin düşüşler gösterdiği belirtilmiştir. Sıcaklığın etkisinin dere agregası ile üretilen betonlarda daha belirgin olduğu bunun sebebinin ise silis içeriği olabileceği belirtilmiştir [9]. Jonatka ve diğerleri yaptıkları çalışmada 800°C'ye kadar sıcaklıkların betonun mukavemet karakteristikleri, boşluk yapısı ve hesaplanan geçirimsizlik katsayısına etkilerini deneysel olarak incelenmişlerdir. Çalışma sonucunda, 400°C'ye kadar olan sıcaklıkların test edilen numunelerin elastisite modülü, mukavemet, boşluk çapı ve hesaplanan geçirimsizlik katsayıları üzerinde çok belirgin değişikliğe sebep olmadığı görülmüştür. 400°C-800°C aralığında betonda boşlukların büyümesiyle mukavemet azalmıştır. Betonun yapısal bütünlüğünün bozulmasının ise 800°C' de gerçekleştiği belirtilmiştir [10]. Hafif agregalı betonlarda yaklaşık 500°C'ye kadar dayanımın değişmediğini ancak 500°C ile 800°C arasında %60'a yakın değer kaybı olduğunu belirlemişlerdir. Sıcaklık arttıkça basınç dayanımı azalmıştır [11-13].

Savva ve diğerleri, yaptıkları çalışmada farklı oranlarda puzolanik malzeme içeren betonların yüksek sıcaklık etkilerinden sonra mekanik özelliklerini tahribatsız deney metotları ile belirlemişlerdir. Kireç taşı ve silis agregaları kullanılarak üretilen numuneler 100, 300, 600 ve 750 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Çalışmanın sonuçları betonun arta kalan özelliklerinin agrega ve binder türü ile çok ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. 300°C'ye kadar olan sıcaklıklarda puzolanik malzeme kullanılarak üretilen betonların sadece portland çimentosu ile üretilenlere oranla daha iyi sonuç verdiğini ancak sonraki sıcaklıklarda bu betonların daha hassas olduğu belirtilmiştir. 100°C-300°C arasında bütün karışımlarda başlangıç mukavemetine göre bir miktar artış olduğu ve bu artışın silis agregalı betonlarda daha fazla olduğu, 300°C-750°C aralığının ise betonda mukavemet kaybı için kritik değerler olduğu bildirilmiştir. Her sıcaklıkta elastisite modülünde düşüş

görülmüş ve bu düşüşün kireçtaşı agregaları ile üretilen betonlarda daha fazla olduğu ifade edilmiştir [14]. Betonu yüksek ısıya maruz bırakma sırasında ortaya çıkan fiziksel ve kimyasal değişimler açısından önemli kayıplar meydana gelebilmektedir. Isıtma sırasında pek çok faktör bir araya gelerek betonun dayanımını etkilemektedir. Beton farklı sıcaklıklara maruz bırakıldığında, betonda meydana gelen hacimsel değişimler betonda çekme gerilmelerini ve çatlakları meydana getirmektedir. Betonun içyapısında oluşan bu çatlaklar betonun basınç dayanımını etkilemektedir. 250 °C' ye kadar olan sıcaklıkların betonda agrega-çimento hamuru ara yüzeyinde bozulmalara neden olmaktadır [15]. Birçok faktörün etkisinde olan bu olay betonda çimento hamuru agrega ara yüzeyi mikro yapısına bağlıdır [16]. Betonun yüksek sıcaklıklardaki dayanımına ilişkin farklı kaynaklardan alınan veriler birbirlerinden farklıdır. Bunun için, betonun yüksek sıcaklıklardaki dayanım özelliğini ortalama bir referans eğrisiyle göstermek yanıltıcı olabilir [17].

Olivin minerali çelik dökümünde, kalıp malzemesi olarak ve forsterit tuğlaları yapımında kullanılır. Olivinler gelişmiş ülkelerin demir-çelik sanayi alanlarında, eritici cüruf düzenleyici ve sinterleşme derecesini düşürücü olarak kullanılmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı yüksek fırınlarda kok tüketiminde tasarruflu tüketilen kok kömürü % 20 oranında azalmaktadır. Diğer kullanım alan ise refrakter sektörüdür. Forsteritler, kimyasal bağlı tuğlalar gibi, çeşitli alanlarda diğer refrakterlerle bazı sanayi birimlerinin (yapılarının) imalinde kullanılmaktadır [18]. Forsterit tuğlanın refrakterlik derecesi 1890 °C civarında olup demir-çelik sanayisinde yüksek fırınlarda, çimento sektöründe ve yüksek ısının gerektirdiği birçok fırında iç tuğla ve refrakter birçok malzeme yapımında kullanılmaktadır. Potaların iç kısmının kaplanmasında da olivin kullanılır. Olivinin kullanılmasındaki diğer bir avantaj da, içerisinde bulunan çelik malzemeyi daha çabuk soğutmasıdır [19]. Olivin yüksek yoğunluğundan dolayı ağır çimento üretiminde yararlanılan bir maddededir. Bu suretle elde edilen çimentolar, üstlerine aldıkları ağır yükler ve içinde bulundukları yüksek enerjili ortam nedeniyle çok sağlam ve dayanıklı olması gereken denizlerdeki petrol platformlarının inşasında kullanılır. Olivin veya dunit blokları, güvenliği az zeminlerden geçen demiryollarının temelinde duyarlılığı sağlamak için kullanıldığı gibi bunlardan kırılıp ballast, mıcır da sağlanır [20].

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 [20]. Yapay olarak elde edilebilen organik polimerik malzemeler ise plastikler, elastomerler ve fiberlerdir [21]. Taze ve sertleşmiş

betonun özelliklerini olumlu yönde etkilediği bilinen polimerin bizzat kendisi veya polimer esaslı akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin ilavesi neticesinde betona vereceği özelliklerin bilinmesinin, beton dünyasında çok büyük gelişmeler sağlayacağı açıktır [22, 23]. Polimerlerin beton teknolojisinde kullanımını üç grupta toplamak mümkündür [24]:

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

Polimer- portland çimento betonları yapılırken, suda çözünebilen sentetik kauçuk kopolimeri (SBR), etilen vinil asetat (EVA) gibi polimer kullanılır [25]. Bu polimerlerin kullanımı betonun asitlere karşı direncini, donma çözülme olayına karşı direncini ve klor iyonu konsantrasyonunu olumlu yönde etkilemektedir [26–30]. Bazı çalışmalarda betona polimer emdirilmesiyle betonun durabilite özelliklerinin artmış olduğu bilinmektedir [31–36]. Ayrıca polimer betonların su emme özelliği, aderans dayanımı özelliği, aşınma dayanımı özelliği ve işlenebilme özelliklerini iyileştirmektedir [37–39].

Bu tez çalışmasında, polimer emdirilmiş mineral katkılı betonların yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılığı araştırılmıştır. Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP) tarafından finanse edilmiştir (Proje No: 1204).

2. BETON

Beton, çimento, su, agrega ve gerektiğinde de katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik yada akıcı kıvamda olup, şekil verilebilen ve zamanla katılaşp sertleşerek, mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir [40].

Betonun mutlak hacmini %70 oranında agrega (kum, çakıl, mıcır), %10 oranında çimento, %20 oranında su oluşturur. Gerektiğinde, çimento ağırlığının %2-3'u oranında kimyasal katkı malzemesi de ilave edilebilir.

Beton, günümüzün en yaygın taşıyıcı yapı malzemesi yapan özellikleri şöyle sıralayabiliriz:

- Ucuzluğu,
- Şekil verilebilme,
- Çelik donatı ile (betonarme) çekme mukavemetinin yetersizliğinin dengelenmesi,
- Yüksek basınç dayanımlarına ulaşılması,
- Fiziksel ve kimyasal dış etkilere dayanıklılığı (uzun ömür, bakım kolaylığı),
- Hafif agrega ile hafifletilmesi,
- Ağır agrega ile radyasyon geçirimsizliği sağlaması,
- Bilgisayar kontrollü santraller, transmikserler pompalar vb. ile üretim, taşıma ve yerleştirme aşamalarında büyük gelişmelerin sağlanmış olmasıdır [41].

2.1. Betonun Bileşenleri

Betonu oluşturan hammaddeler; çimento, su, agrega, (kum, çakıl, kırma tas), kimyasal katkılarla (akışkanlaştırıcı, priz geciktirici, geçirimsizlik sağlayıcı, antifriz vb.) mineral katkılar (yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb.) betonun performansının istediğimiz ölçüde ve yönde iyileştiren çağdaş teknoloji unsurlarıdır.

Çimentoyla suyun karışımından oluşan çimento hamuru zamanla katılaşp sertleşerek agrega tanelerini (kum, çakıl, kırmataş) bağlar yapıştırır. Böylece betonun mukavemet kazanmasına imkan verir. Dolayısıyla betonun mukavemeti;

- Çimento hamurunun mukavemetine,

- Agregatanelerinin mukavemetine,
- Agregataneleri ile çimento hamuru arasındaki yapışmanın gücüne (aderansına),
- Kür süresi ve tipine,
- Kimyasal katkı maddesine,
- Mineral katkı kullanıp kullanılmamasına bağlıdır [41].

2.1.1. Çimento

Ana ham maddeleri kil ve kalker olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, briket vs.) yapıştırmada kullanılan bir kompozit malzemedir. Çimento, bu yapışma özelliğini suyla reaksiyona girerek sertleşip bağlayıcı görevini oluşturur. Kırılmış kalker, kil ve gerekiyorsa demir cevheri ve/veya kum katılarak öğütölüp toz haline getirilir. Bu malzeme 1400- 1500 °C de döner fırınlarda pişirilir. Meydana gelen ürüne klinker denir. Daha sonra klinkere bir miktar alçı taşı eklenip (%4-6 oranında) öğütölerek portland çimentosu elde edilir. Katkılı çimento üretiminde de klinker ve alçı taşı dışında, çimento tipine göre tek veya bir kaç bir arada olmak üzere tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb. katılır [42].

Çimento bir çok beton karışımında hacimce en küçük yeri işgal eden bileşendir. Ancak beton bileşenleri içinde en önemlisidir. En çok kullanılan çimento tipleri portland kompoze çimento ve sülfata dayanıklı çimentodur. Bunun dışında özel amaçlar için beyaz portland çimentosu ve diğer bazı tip çimentolar kullanılmaktadır. Normal betonda agregataneleri en sağlam unsur olduğundan diğer iki unsur (çimento hamuru ve aderans) mukavemeti belirlemektedir. Çimento hamurunun mukavemeti önemli ölçüde su/çimento oranına bağlıdır [42].

2.1.2. Agregat

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi mineral kökenli malzemelerin genel adı agregadır. Beton içerisinde hacimsel olarak %60-75 oranında agregatane boyutlarına göre ince (kum, kırma kum gibi) ve iri (çakıl, kırmataş gibi) agregalar olarak ikiye ayrılır. Agregalarda aranan en önemli özellikler şunlardır;

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler içermemeleri (deniz kabuğu, odun, kömür gibi),

- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları,
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri,
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri,
- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleridir [43].

Agreganın kirlı (silt, kil, mil, toz vs.) olması aderansı olumsuz etkileyip, bu küçük taneler su ihtiyacını da arttırmaktadır. Agregaların betonda kullanılabilmesi için TS.706’da belirtilen elek aralıklarında gecen dane dağılımına (granülometriye) uygun olması gerekir [44].

Beton yapımında kullanılacak agreganın değişik özellikleri araştırılmaktadır. Araştırılan özellikler şu şekilde sıralanabilmektedir: Gradasyon, maksimum tane büyüklüğü, tane şekli, yüzey dokusu, su emme kapasitesi, birim ağırlık, özgül ağırlık, agregadaki zararlı yabancı maddelerin türü ve miktarı, aşınmaya dayanıklılık, dona dayanıklılık, dayanım, elastiklik modülü, ve ısısal özellikler yukarıdaki özelliklerin tümü, üretilecek betonun özelliklerini etkilemektedir. Bunlardan bazıları, beton karışımının içerisinde yer alacak malzeme oranlarının hesaplanabilmesi (beton karışım hesapları) için kullanılmaktadır [45]. Beton malzemelerinin karışım oranlarının bulunabilmesi için yapılan hesaplarda bilinmesi gereken agrega özellikleri şunlardır:

- Gradasyon,
- Maksimum agrega tane boyutu,
- Agregadaki mevcut su durumu ve agreganın su emme kapasitesi,
- Birim ağırlık,
- Özgül ağırlıktır.

Agrega özellikleri betonun özelliklerini etkilediği gibi, beton karışımında yer alacak malzeme miktarlarında etkiler. Bu nedenle, betonun ekonomikliğini de etkilemektedir. Betonun ekonomikliğini etkileyen bir başka faktör ise, agreganın ne kadar uzak mesafeden temin edilebileceği, maliyeti, bulunabilirliğindeki kolaylıktır. Beton üretiminde, agreganın kolaylıkla elde edilebilmesi hususu da büyük önem taşımaktadır [45].

2.1.3. Su

Betonun bir bileşeni de sudur. Su betonda üç değişik amaca yönelik kullanılmaktadır:

- Çimento ve agrega ile birlikte beton karılmasında karışım suyu olarak,

- Yerine yerleştirilen taze betonun yüzeyine uygulanan “bakım yada kür suyu” olarak,
- Betonda kullanılacak agregaların temiz olmalarını sağlamak veya betona karma, üretim işlemi bittikten sonra üretim araçlarını temizlemek için yıkama suyu olarak.

Bunlardan en önemlisi ilki olup, karma suyu iki önemli görevi yerine getirmektedir. Birincisi çimento ve agrega tanelerinin yüzeyini ıslatarak yani yağlayıcı etki oluşturarak, beton malzemelerinin kolayca karıştırılabilmesini ve yerleştirilebilmesini kısaca işlenebilmeyi sağlamaktır [46]. Beton karma suyu olarak kullanılacak suyun uygunluğu hakkında, TS EN 1008’ de su içilebiliyor ise, beton yapımında karma suyu olarak kullanılmaya uygundur hükmü vardır. Şehir sularının hepsi kalite olarak birbirinin benzeri olamaz [47].

2.1.4. Mineral Katkılar

Beton, uygulama alanlarında daha iyi performans göstermesi için son yirmi yılda geliştirilmiş ve gerek kimyasal gerekse mineral katkı malzemelerinin kullanımı ile basınç dayanımları 80 MPa ve üzeri olan betonlar üretilmiştir [48, 49]. Yüksek dayanımlı ve dayanıklı beton birçok açıdan üzerinde çalışılan bir konudur. Yüksek performanslı beton, betonarme yapılarda kullanıldığında bir çok açıdan avantaj sağlasa da gevrek yapısı en zayıf yönüdür. Silis dumanı, uçucu kül ve cüruf gibi mineral katkı malzemelerinin kullanımı yüksek performanslı beton üretilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biridir [50].

2.1.4.1. Uçucu Kül

Dünyada son yıllarda yapılan araştırmalar atık malzemelerin yararlı bir şekilde değerlendirilmesi üzerine yoğunlaştırılmıştır. Atık malzemelerin çevreye olan zararlarının çözümü, onları ekonomiye kazandırılarak yeni üretimlerde kullanılması ile sağlanabilir. Termik santrallerde elektrik enerjisi üretimi sırasında kömür yakılması sonucu ortaya çıkan küller bacalardan atık gazlar ile atmosfere bırakılmaktadır. Elektrostatik filtrelerle toplanarak stoklanan bu küllerin kimyasal yapısı ve içeriği yakılan kömürün cinsine ve yakma yöntemine göre değişiklik gösterebilmektedir. Bazı araştırmacılara göre 2010

yılında çevreye bırakılan uçucu kül miktarının günümüzdeki oranın 3 katı artışla 800 milyon ton değerine ulaşması beklenmektedir [51].

Uçucu kül tıpkı diğer puzolanik malzemeler gibi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve su ile reaksiyona girerek bağlayıcı özellik kazanan bir malzemedir. Uçucu küllerin yapısının büyük bir bölümü amorf durumdadır. Geri kalan bölümünde mullit, kuvars, magnetit, hematit gibi kristaller yer alabilmektedir. Silisli ve alüminli amorf yapıya sahip oldukları ve çok ince taneli olarak elde edildikleri için uçucu küller de aynen ince taneli doğal puzolanlar gibi bağlayıcı özellik göstermektedirler. Bu nedenle hem Portland-puzolan tipi çimento üretiminde, hem de beton katkı maddesi olarak doğrudan kullanılmaktadırlar [52]. Uçucu küller genellikle betonda mineral katkı olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda çimento giderini azalttığı için hazır beton tesislerinde uçucu kül kullanımı yaygınlaşmıştır. Betonda hidrasyon ısını azaltması, işlenebilmeyi artırması, ekonomik olması ve betonun zararlı kimyasal saldırılara karşı kalıcılığını artırması uçucu külün kullanımını yaygınlaştırmıştır [53].

2.1.4.2. Yüksek Fırın Cürufu

Ham demir üretiminde atık malzeme olarak elde edilen yüksek fırın cürufu (YFC) yüksek fırınlarda, daha hafif olmasından dolayı, ham demirin üstünde yer alır. Demir filiz gangi, kok ve kireç taşının yanma sonrası atıkları YFC' yi meydana getirirler. Granüle yüksek fırın cürufu, ergimiş cürufun hızla soğutulması ile edilir, kütlece en az 2/3 oranında amorf yapılı camsı cüruf içerir ve uygun şekilde öğütülerek aktifleştirildiğinde hidrolik özellikler gösterir [54].

Granüle yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen CEM III tipi çimentolar sülfat dayanıklılığı yüksek beton üretimde kullanılmaktadır [55]. Yüksek fırın cürufu betonlar, aynı çökme değeri için, Portland çimentoları ile yapılmış betonla karşılaştırıldığında daha düşük su gereksinimi gösterirler. Yüksek fırın cürufunun, klinkere göre, daha az bir yüzey pürüzlülüğüne sahip olması ve özgül ağırlığının düşük olması cüruf katkılı betonların işlenebilirliğinin olumlu yönde etkileneceğinin göstergeleridir [56].

Betonda geçirimsizliğin azalması beton dayanıklılığının artırılmasında en önemli etkenlerden birisidir. Yüksek fırın cürufu çimentolarla üretilen betonlarda alkali-silis reaktivitesinin azaldığı gözlenmiştir [57]. Ayrıca yüksek fırın cürufunun donatı korozyonunu azalttığı belirlenmiştir [58]. Granüle yüksek fırın cürufu çimento ve betonda

mineral katkı olarak kullanılmanın yanında, sodyum hidroksit (NaOH) sodyum karbonat (Na_2CO_3), cam suyu (Na_2SiO_2) gibi alkalilerle aktive edilerek güçlü bir bağlayıcı durumuna getirilebilmektedir [59].

2.1.4.3. Silis Dumanı

Silisyum metalinin veya alaşımlarının elde edilmesi için yüksek saflıktaki kuvars mineraline elektrik fırınlarında yaklaşık 2000 °C sıcaklıkta kömürle indirgeme işlemi uygulanmaktadır. Bu işlem sırasında büyük bir miktarı SiO'dan gaz ortaya çıkmaktadır. SiO'nun, yüksek sıcaklıktaki elektrik ark fırının kısmen soğuk bölümünde bulunan havadaki oksijenle hızlı bir şekilde soğuması sonucunda, camsı yapıdaki SiO₂ parçacıkları oluşmaktadır. Bu parçacıklar fiber filtrelerden geçirildikten sonra yoğunlaştırılmış silis dumanı parçacıkları olarak elde edilmektedir [60].

Silis dumanı çok güçlü bağlayıcı özeliğe sahip özel bir puzolandır. Yüksek dayanımlı ve çelik lifli reaktif pudra betonlarının üretiminde çok yaygın kullanılan bir malzemedir [61]. Silis dumanı içeren betonlarda yüksek sıcaklıklara karşı direnç katkı miktarına ve dayanım düzeyine bağlı olarak değişebilmektedir. Silis dumanı %20'nin üzerinde olan yüksek dayanımlı betonların direnci normal betonlara göre daha azdır. Sıcaklık 300 °C'yi geçtiği zaman jel adsorbe suyu serbest hale geçmekte, yüksek performanslı betonlarda kılcal boşlukların boyutu küçük olduğundan bu boşluklarda buhar basıncı artmakta, betonda büyük gerilmeler oluşmaktadır. Ortaya çıkan basınç etkisi, betonda patlamalara ve dağılmalara neden olmaktadır [62-64].

Poon vd. yaptıkları çalışmada %10 silis dumanı katkılı numunelerde, silis dumanının yüksek sıcaklık etkisinde betona herhangi bir yararının olmadığı ifade edilmistir. Silis dumanı katkılı betonlarda yüksek sıcaklıklara karşı direnç katkı miktarına ve dayanım düzeyine bağlı olarak değişmekle birlikte, %10'un üzerinde silis dumanı katkılı betonlar hariç tüm puzolan katkılılar, katkısız betonlara oranla yüksek sıcaklıklarda daha iyi performans göstermektedir [65, 63].

2.1.5. Kimyasal Katkı

Betonun kolayca şekil değiştirebilmesi için kayma eşiğinin küçük olması gerekir. Bu özelliğin su miktarını artırarak sağlanması durumunda betonun kararlılığı bozulmakta ve

ayırışma meydana gelmektedir. Polimer esaslı katkılarda elektrostatik itkinin yerini daha farklı ayırıcı etkiler alır. Özellikle polimer bazlı katkılarda elektrostatik itkinin yanında polimer zincirlerinin çimento tanesinin üzerine yapışarak oluşturduğu fiziksel etki (*stearik itki*) daha baskındır. Stearik itkinin derecesi polimer zincirinin uzunluğuna, molekül ağırlığına, yan zincir yapısına ve ortam koşullarına bağlıdır. Özellikle polikarboksilat bazlı katkılarda stearik itki çimento dağılımını sağlayan temel faktördür. Ortamda aşırı miktarda katkı bulunması halinde çimento taneciklerinin yüzeyi tamamen sarılacağından bir miktar katkı açıkta kalacaktır. Açıkta kalan katkının olumlu bir işlevselliği olmadığından optimum değer kullanılmalıdır. Katkının optimum miktarına doyum noktası denir [66].

3.OLIVİN

3.1. Olivinin Tanımı ve Sınıflandırılması

Ortorombik kristal sistem yapısına göre kristalleşen olivin grubu mineralleri esas olarak Mg+2 ve Fe+2 silikatlardan meydana gelip orto-silikat grubunda yer alırlar. Mg+2 ve Fe+2 in hakim olduğu esas mineraller Mg_2SiO_4 (Forsterit) ve $FeSiO_4$ (Fayalit) olarak adlandırılmışlardır. Bu mineraller arasında teforit (tephorite, Mn_2SiO_4), fayalit-kneblit (fayalite-knebelite, $FeMnSiO_4$), pikroteforit (picrotephorite), montisellit (monticellite), kirstenit (kirchsteinite, $CaFeSiO_4$), Glokokroit (Glaucocroite, $CaMgSiO_4$) gibi minerallere de rastlamak mümkündür [68,69]. Doğada doğal olarak tamamen saf forsterit ve fayalitten oluşmuş mineral bulmak oldukça güçtür. Bu nedenle olivin kristalleri adlandırılırken içerdiği forsterit miktarı (Fo) ile belirtilmekte, yani Mg'nin Fe'ye oranı esas tutulmaktadır. Olivin mineralinin yapısındaki ara ana mineral olan forsterit ve fayalit minerallerinden başka iki uç mineraller arasında azalan Mg miktarı diğer bir ifade ile Fo değerlerine göre sırasıyla krisolit (Chrysolite), hiyalosiderit (Hyalosiderite), hortonolit (Hortonolite) ve ferrohortonolit (ferro-hortonolite) minerallerinin olduğu saptanmıştır. Olivin minerali genellikle yeşil veya koyu yeşil renkte olup oldukça sert bir yapıya sahiptir. Güneş ışınları ve atmosferik şartlar ile yeşil ve koyu yeşil olan olivin mineralinin rengi, açık yeşile dönüşmektedir. Sertliği Mohs'un kriterine göre 6.5-7'dir. Olivin mineralinin yoğunluğu da içerdiği Fe miktarına bağlı olarak 3.22-4.40 gr/cm³ arasında değişmektedir. Olivin minerallerine, özellikle forsterit içerikli olivinlere daha ziyade ultrabazik ve bazik kayalar içerisinde rastlamak mümkündür. Olivin mineralleri ultrabazik magmada ilk kristalleşen minerallerdir. Olivin minerali, ultrabazik (peridotit) kayalar içerisinde en fazla olivin dünitler içerisinde bulunur. Teorik olarak dünit içerisindeki olivin miktarı % 95-99 arasında değişmektedir. Dünitler genellikle kütleler halinde, bazen de harzburjitler içerisinde dayklar şeklinde bulunurlar. Fe'ce zengin olivinlere yani fayalite çoğunlukla ferrogabrolarda, siyenitlerde, asidik ve alkali volkanik kayalarda rastlamak mümkündür. Ayrıca dolomitlerin sıcaklık altında metamorfizmaya uğramaları sonucunda da Mg' ca zengin olivinlerin meydana geldiği bilinmektedir [67,68].

Dünya'da olivinler ile ilgili çalışmalar teknolojinin özelliklerinden dolayı Mg'ce zengin (Forsterit) olivinler üzerinde yoğunlaşmıştır. Doğal olarak saf forsterit bulmak

oldukça güçtür. Bu nedenle sanayide Forsterit miktarı fazla olan olivinler daha çok tercih edilmektedir. Sanayide kullanılmakta olan olivinlerde genel olarak MgO miktarının % 42'nin üzerinde, toplam Fe-Oksitlerin (demir oksitler) miktarının da % 7-8'den az olması istenmektedir. Ayrıca SiO₂ miktarının %38-42 arasında, diğer metal oksitlerin toplamının %3'den az ve ateş kaybında %1 civarında olması tercih edilmektedir. Saf forsteriti bulamanın zor olduğu yukarıda belirtilmişti. Bunun yanında diğer bir problem de olivinlerin çeşitli nedenlerden dolayı oldukça kolay bozuşmaya yüz tutarak çoğunlukla serpantin ve kısmen talk minerallerine dönüşmesidir. Serpantinleşen olivinler, derecesine göre bünyelerine değişik oranlarda su alırlar. Tamamen serpantinleşmiş olivinlerde bu su oranının % 14'e kadar yükselmesi mümkündür. Serpantinleşerek bünyelerine su alan olivinlerin sertlikleri ve yoğunlukları oldukça azalmakta, yoğunluğun azalması da olivinin refrakterlik ve aşındırıcılık özelliklerini azaltmaktadır. Ayrıca yapıları sağlamlaştırmak, özellikle demiryollarında temellerin sağlam ve güvenlik açısından güvenilir olması için balast taşı şeklinde ve yine yoğunluklarının azalması dolayısıyla petrol platformlarında kullanıldığında denge sorunlarına neden olacaktır [67,68].

3.2. Olivinin Önemi

Teknolojinin oldukça yüksek bir hızla gelişmekte ve yenilenmekte olduğu günümüzde endüstriyel hammaddelerin üretilmesi ve değerlendirilmesi de aynı oranda önem kazanmakta ve bu hammaddelere olan ihtiyaç artmaktadır. Varlığı ve geliştirilmesi önem kazanan bu hammaddelerden birisi de olivin mineralidir. DPT 2001 olivin raporunda olivinle ilgili olarak şöyle denilmektedir [67], olivin madenciliğinin geçmişi 50 yıl öncesine dayanmasına rağmen sanayideki önemi son 10-15 yıl içerisinde anlaşılmıştır. Teknolojik ve fiziksel özelliğinde dolayı da son 25 yıl içinde Avrupa ve dünyanın birçok ülkesinde oldukça önemli bir mineral durumuna gelmiştir. Ayrıca yerini alabileceği minerallerden ucuz olması da sanayide kullanılma şansını artırmıştır. Diğer avantajlı yönü de kütleler halinde bulunan dunitlerin(olivin) açık işletmeye uygun olmaları ve krom cevherinin zenginleşmesi sırasında yan ürün olarak doğrudan elde edilmesidir. Bu da işletme maliyetlerinde önemli düşüşler sağlayabilmektedir [69].

Gelişmiş ülkeler sağlık ve çevre konusunda düzenledikleri yasalar ile serbest silis içeren mineral veya hammaddelerin kullanımını yasaklama yoluna gitmişlerdir. Bundan

dolayı döküm sanayi ve bina, köprü gibi çeşitli yapıların temizlenilmesinde kullanılan kuvars kumların yerine olivin tercih edilmiştir [69].

Olivinin özellikle demir-çelik sanayisinde ergitmeye yardımcı hammadde olarak kullanılması ve yukarıda verilen ekonomik ve diğer avantajlı özelliklerinden dolayı üretime büyük oranda katkı sağladığını söylemek mümkündür. 2001 tarihli DPT raporundan da anlaşılacağı üzere 2001 tarihi itibari ile ülkemizde pek kullanım alanına sahip olmayan olivinler günümüzde öneminin anlaşılmasıyla birlikte üretiminde ve kullanılmasında artış kaydetmektedir [69].

Ülkemizde 1996 yılına kadar olivinin kullanılması ile ilgili bilgilere rastlanılmamıştır. Sadece bazı mermer üreticileri dünit bloklarını işlemek suretiyle kullanmaya başlamışlardır. Oysa gelişmekte olan ülkemizde özellikle demir-çelik ve refrakter sanayisinde oldukça yaygın kullanım alanı potansiyeli olmasına rağmen olivin yerine daha pahalı olan dolomit ve manyezit tercih edilmektedir [70].

3.3. Olivinin Özellikleri

3.3.1. Fiziksel özellikleri

3.3.1.1. Parlaklık

Olivin camsı özelliklere sahip bir mineraldir [70].

3.3.1.2. Renk

Olivinin rengi zeytinin rengine benzediği için (koyu yeşil, yeşil) ingilizcede zeytin anlamına gelen olivene olarak adlandırılmıştır. Güneş ışınları ve atmosferik şartlar ile renk açık yeşile dönüşmektedir [70].

3.3.1.3. Rutubet

Parça halindeki olivin ile toz halindeki ya da kırılmış ve öğütülmüş olivinde istenen nem miktarı aynı değildir. Parça, kırılmış ve toz olivinde istenen nem oranı en fazla sırasıyla %1, %1,5 ve % 2 olarak değişmektedir [70].

3.3.1.4. Sertlik

Olivinin sertliği, ufalanabilme ve öğütülebilme özelliklerine etki eder. Sertliği 6.5-7 mohs arasında değişmektedir. Olivinler belirgin köşeli yapıya sahiptirler ve olivinin köşeli yapıya sahip olması olivine aşındırıcı özellik kazandırmıştır. Olivinin köşeli parçalardan oluşması daha fazla kuru kırılma dayanımı (green strength) göstermesine neden olmaktadır [70].

3.3.1.5. pH

pH derecesi 8.9-9.5 arasında değişen olivin bazik cürüflara karşı çok mukavemetli olmasına karşın asit cürüflarına karşı çok fazla mukavemet gösterememektedir [70].

3.3.1.6. Yoğunluk

Olivinin yoğunluğu 3.22-4.40 aralığında değişir. Quartz'ın yoğunluğu ise 2.65'dir. Olivin quartz'dan daha ağırdır. Bu özellik olivin için dezavantajdır. Çünkü bu durum eşit hacim için daha fazla kütle gereksinimi gösterir [70].

3.3.2. Kimyasal Özellikleri

Dünyada olivinler ile ilgili çalışmalar, teknolojik özelliklerden dolayı Mg'ce zengin (forsterit) olanlar üzerinde yoğunlaşmıştır. Doğal olarak saf forsterit bulmak oldukça zor olduğu için sanayide forsterit miktarı fazla olan olivinler tercih edilmektedir. Sanayide kullanılan olivinin genel olarak MgO miktarı %42'nin üzerinde, toplam FeO miktarının %7-%8'den fazla olmaması istenmektedir. Ayrıca SiO₂ miktarının %38-%42 arasında, diğer metal oksitlerin toplamının %3'ten az ve ateş kaybının da %1 civarında olması önemlidir [71]. Olivin bazik bir refrakter malzemedir. Ergime ve sinterleşme sıcaklığı sırasıyla 1760 °C ve 1450 °C'dir [69].

3.4. Dünyada ve Türkiye’de Olivin Rezervi

Dünyada işletilmekte olan en büyük olivin yatağı Norveç’te bulunmaktadır. Aheim yakınlarında yaklaşık 6.5 km²’lik bir alanda yer alan olivinin rezervi 2 milyar tondan fazladır. Dünya rezervinin % 31’ini elinde bulunduran Norveç’i Washington’da 1.7 milyon ton ve Nort Carolina’da 125-200 milyon tonluk bir rezerv ile A.B.D. izlemektedir. Önemli miktarda rezervlere sahip diğer ülkeler ise, Torino yakınlarındaki Vidrocco ve Castellamonte kasabaları civarında yaklaşık 100 milyon tonluk bir rezerv ile İtalya Galicia civarında 100 milyon tondan fazla rezerv ile İspanya ve yaklaşık 100 milyon tonluk bir rezerv ile Japonya’dır. İsveç’te bugün üretilmesine rağmen 50.000 tonluk kapasite mevcuttur. Ayrıca Yeni Zelanda, Rusya, Güney Afrika, Avusturya, Pakistan, İran ve Yugoslavya’da olivin yataklarının varlıkları bilinmektedir fakat buralardaki rezervler hakkında sağlıklı veriler elde edilmemiştir. Olivin rezervine sahip ülkeler tablo 3.1’ de rezervleri ile birlikte topluca verilmiştir [71].

Ülkemiz olivin rezervine sahip ülkeler listesine yeni giren bir ülke olmasına rağmen pek çok ülkeden daha fazla rezerve sahip olduğu açıktır. Yaklaşık olarak %18’i ultrabazik kayalarla kaplı ülkemizde olivin madenciliği kendini yeni yeni tanıtmaya başlamakla birlikte, çalışmalar Türkiye olivinlerinin endüstriyel amaçlı değerlendirilmesinde göz ardı edilmeyecek rezervlere sahip olduğunu göstermektedir. Ülkemizde Bursa-Orhaneli, Bursa-Harmancık, Muğla- Fethiye, Adana-Karsantı (Kızılyüksek), Guleman-kef dolaylarında mevcut olivinlerin olivin açısından değerlendirilebilir nitelik ve nicelikte olduğu çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu bölgelerdeki rezervler, Bursa-Orhaneli bölgesi hariç, tam olarak tespit edilememiştir. Bu yataklara ek olarak Kop, Sivas-Kızıldağ, Hatay-Kızıldağ, Marmaris-Göksun, Berit-Kömürhan, Kızılırmak, Güllüdağ ve Almacık ofiyoliti gibi pek çok ofiyolitik kompleksin içerdikleri olivinler, olivin eldesi amacıyla detaylı olarak incelenmelidir [73]. Belirtilen bölgelerden Bursa-Orhaneli bölgesindeki çalışmalar tamamlanmış [72], 1.200.000.00 ton toplam olivin rezervi tanımlanmış ve olivin üretimine başlanmıştır.

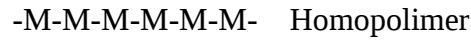
Tablo 3.1. Dünyada önemli olivin üreticisi ülkeler ve rezervleri [71].

Ülke	Rezerv
Norveç	>2 milyar ton
A.B.D.	Yaklaşık 200 milyon ton
İtalya	>100 milyon ton
İspanya	Yaklaşık 100 milyon ton
İsveç	50.000 Ton
Yeni Zelanda, Rusya, Güney Afrika, Avusturya, Pakistan, İran ve Yugoslavya	Rezervleri Bilinmemektedir.

4. POLİMERLER VE POLİMERLEŞME

4.1. Polimer

Polimer terimi Latince’de polys çok; meras parça veya birim anlamındaki eklerin birleştirilmesinden türetilmiştir. Polimerler, monomer olarak bilinen düşük molekül ağırlıklı birçok molekülün birleşmesiyle oluşan çok yüksek molekül ağırlığına sahip bileşikler olarak tanımlanabilir. Bu moleküler birimler bir (homopolimer), iki (kopolimer) veya daha çok tipte olabilir. Polimer tek bir monomerden oluşmuş ise homopolimer olarak bilinir:



Birden fazla monomer bulunursa, bu ürün kopolimer olarak tanımlanır. Kopolimerler düzenlenme biçimlerine göre de ayrıca sınıflandırılır. İki monomer sistemi için dört tip düzenlenme olasıdır [74].

Polimerler, genellikle bir ve üç boyutlu olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bunlardan uzun zincirlerden oluşan bir boyutlu polimerlerdeki birimler zayıf ikincil bağlarla bağlanmış olup, molekül ağırlıkları 104-107 arasında değişmektedir. Bir boyutlu polimerler ısıtıldıklarında yumuşayan termoplastiklerdir. Yumuşama miktarı uygulanan sıcaklığa bağlıdır. Bir boyutlu polimerlerin lineer ve dallanmış olmak üzere iki alt grubu bulunmaktadır. Lineer polimerlerde moleküler birimler birbirine tek bir yönde uzayarak bağlanmıştır. Dallanmış polimerler çapraz bağlı polimerler ile karıştırılmamalıdır. Bunlarda moleküller bir eksen üzerinde yan dallara ayrılarak uzamaktadır. Lineer polimerler polietilen, teflon, selüloz gibi fiber, işlenmemiş bütadien-stiren gibi kauçuk türü plastikleri içerir [75].

Üç boyutlu çapraz bağlı ağ örgülü polimerlerde zincirler birbirlerine birincil bağlarla bağlanmıştır. Bu zincirler teorik olarak sonsuza kadar devam ederek süpermolekülleri oluşturur. Çapraz bağlı polimerler termosetler olarak adlandırılırlar. Çapraz bağlar, zincirlere stabilite (kararlılık) ve rijidite verir, böylece ısıtıldığında yumuşamasını önler ve sıcaklığın artması daha da sertleşmesine yol açar. Üç boyutlu çapraz bağlı polimerler, fenolformaldehid, üreformaldehid ve vulkanize kauçuğu kapsar [74].

4.2. 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 [76].

- 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 yönlendirilir[21].

Kristalleşme soğuma hızı ile ters, mekanik özellikler ile doğru orantılıdır. Kompozitlerde, matriks malzemesi olarak genellikle plastikler kullanılır. Plastikler de kendi içinde iki gruba ayrılırlar [77].

- “Termo” plastikler
- “Termoset” plastikler

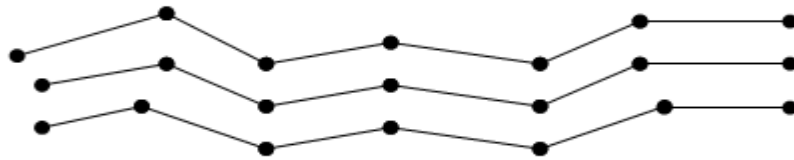
4.2.1. Termoplastikler

Termoplastiklerin molekülleri birbirlerine zayıf olan Van der Waals bağları ile bağlıdır. Bu özelliğinden dolayı termoplastikler, rijit bir yapıya sahip değillerdir. 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:

- Katı Hal: Malzeme, cam gibi sert ve tokluk arz eden sert bir haldedir.
- Termoelastik Hal: Bu, malzemenin yüksek elastikiyete sahip olduğu durumdur.

- Termoplastik Hal: Bu durumda, malzeme akışkan bir sıvı halindedir. Bu haldeyken malzeme, balmumuna benzer, ısıtıldığında yumuşar, erir ve şekil verilebilir. 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 [21].

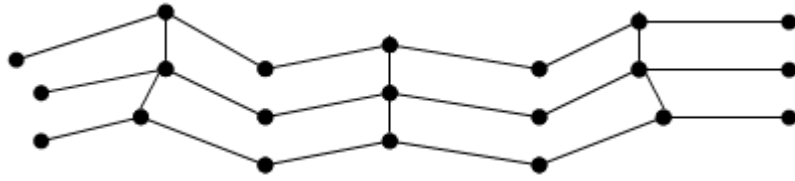
Termoplastikler, üretimlerindeki zorlukların yanı sıra yüksek maliyetlerinden dolayı kompozit malzemelerde matris olarak tercih edilmezler. Ayrıca, oda sıcaklığında düşük işleme kalitesi sağlar, buda onların üretimde zaman kaybına yol açmasına neden olur. Bazı termoplastikleri istenilen şekillere sokabilmek için çözücülere (solventlere) ihtiyaç duyulabilir. Termoplastikler, termosetlere kıyasla, hammaddesi daha pahalıdır. Diğer bir sebep ise, termoplastik bağlayıcı malzemelerin, termoset reçinelerden daha gevrek olmasıdır. 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 [21].



Şekil 4.1. Termoplastik polimer zinciri [21].

4.2.2. 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 [21].



Şekil 4.2. Termoset plastik polimer zinciri [21].

Termosetler, polimerizasyonla iki kademede elde edilirler. İlk olarak, malzemenin ihtiva ettiği monomerler, reaktörde lineer zincirler oluşturmaya başlar. İkinci polimerizasyon işlemi ise kalıplama esnasında, sıcaklık ve basınç altında önceden reaksiyona girmeyen kısımlar sıvılaşarak molekül zincirlerini üç boyutlu olarak rijitleştirirler [78]. Bu yüzden tekrar ısı işlem ile yumuşatılamazlar. En çok tercih edilen termosetler; Epoksiler, Polyesterler, Fenolikler, Silikon Polymide Bismaleimide (BMI), Amino Reçinelerdir.

4.2.2.1. Epoksi

Epoksi maddesi suya, asitlere ve alkaliye karşı direnç gösteren, zamanla bu gösterdiği direnci yitirmeyen, yapıştırıcı özelliği olan kimyasal reçinedir. Çatlağa doldurulmuş epoksi yapıştırıcısı, çatlağın yarattığı süreksizlik ortamını sürekli duruma dönüştürür, çatlağın her iki tarafını çatlak boyunca sürekli olarak birbirine bağlar ve gerilme birikimlerini önleyerek çatlağın ayrılma sürecini sona erdirir. Cam veya karbon elyaf ile epoksi birlikteliği mükemmel mekanik dayanıklılığa sahiptir. Bu yüzden uzay ve havacılık teknolojilerinde ve denizcilik alanında çok kullanılır. Genellikle iki bileşenli olan epoksiler, diğer termoset plastikler gibi belli süre sonra sıvı halden katı hale geçer ve bir iki hafta içinde kürlenerek nihai sertliğe ulaşır. Epoksi, inşaat alanında da çok yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. Çatlakların doldurulmasında, sonradan betonun içine eklenecek

elik donatıların yerleştirilmesinde (filiz ekimi) kullanılır. Betonarme içine ekilen donatılar için çekme mukavemetleri oldukça yüksektir. Epoksi, ayrıca boya veya astar olarak da uygulanmaktadır. Epoksi; endüstriyel üretim tesisleri, gıda üretim tesisleri, tekstil fabrikaları, ilaç fabrikaları, entegre büyükbaş hayvan çiftlikleri süt sağım ve sağmal üniteleri, hastaneler, okullar, elektrik santralleri, depolar, yükleme boşaltma alanları, montaj alanları, oto galeri, gösteri alanları, boyahane ve bakım üniteleri, otoparklar, servis alanları ve benzeri tesislerde, betonun aşınma, darbe ve kimyasal dayanımını arttırmasından ötürü zemin kaplaması olarak da da kullanılmaktadır. Kaplanmış alanların, tozumsuzluğın artması, çeşitli sıvıların emiliminin ortadan kalkması, kolay temizlenebilmesi ve bakteri oluşumunun engellenmesinden dolayı hijyen standartları yükselir [79].

4.2.2.2. Polyester

Polyester, polimerlerin bir kategorisi veya daha özel olarak ana bağları içinde ester fonksiyonel grupları içeren yoğuşma polimerleridir. Polyesterler doğada bulunmasına karşın, polyester genel olarak tüm polietilen tereftalat ve polikarbonat içeren sentetik polyesterlere ait geniş bir aileyi belirtir. PET, termoplastik polyesterlerin en önemlilerinden biridir [80]. Doymamış polyester reçine, Türkiye’de ve dünyada CTP retiminde 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, iç aletlerinde, duş kabinlerinde, otomotiv gövde, parça ve kapılarında kullanılmaktadır. Genel amaç, kimyasal etkilere karşı yalıtımın ve ısı geçirimsizliğinin sağlanmasıdır [21].

4.2.2.3. Fenolik

En önemli endüstriyel plastiklerden sayılan bakalit ilk geliştirilen sentetik fenolik polimerlerdir. Mukavemeti ve sertliği yüksek, sıcaklığa ve kimyasal etkilere dayanıklı

kolay uygulanana ve oldukça ucuz bir plastik türüdür. Cam lifi, pamuk ve odun talaşı ile pekiştirilerek mukavemeti arttırılabilir. Elektrik ve oto endüstrisinde çeşitli parçaların üretiminde, kaplama ve yapıştırma işlerinde kullanılır [81].

4.2.2.4. Silikon

Silisyum, oksijen ve muhtelif hidrokarbonlar ihtiva eden, çok sayıdaki sentetik (sun'ı) polimerlerden biridir. Silisyum, elektron yapısı dolayısı ile devri sistemdeki yeri itibarıyla kimyasal özellik bakımından karbona benzer. Bu yüzden çok çeşitli bileşikler verebilir. Bu bileşiklerine silisyumdan dolayı silikon adı verilir. Bu bileşiklerde silisyum, oksijen köprüleriyle birbirlerine bağlanmaktadır. Ayrıca silisyuma halojen, alkil veya aril grupları da bağlanarak, halkalı yahut zincir yapıda bileşikler meydana gelebilmektedir. Mesela, metilklorür (CH_3Cl), bakırın katalitik etkisi altında 300°C 'de silisyum ile reaksiyona girerse dimetil diklorsilan elde edilir. Silikonların molekül ağırlığı ve yapı bakımından çok çeşitleri vardır. Basit silikonlar ince ve şeffaf sıvılar olduğu halde, uzun zincir ve dallanmış yapıdaki silikonlar oldukça viskos (ağdalı) tur. Kısa zincirli ve küçük moleküllü silikonlar kaydırıcı yağlar olarak kullanılır. Daha uzun zincirli olanlar kauçuk özelliğindedir. kauçuk özelliğinde olan silikonların molekül yapıları oldukça karmaşıktır [82].

4.2.2.5. Polymide

Diğer reçinelerin aksine, polymide reçineler kür esasında gaz açığa çıkaran bir yoğunlaşma reaksiyonu ile işlenmektedir. Bu esnada çıkan gaz, kompozitin içinde hava boşlukları oluşturduğundan mukavemet kaybına yol açmaktadır. Fakat bu durum, polymide reçinelerin, 260°C 'lik sıcaklıklarda bile kullanımını mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, polymide reçinelerin son kür esnasında gaz çıkarmayan birkaç cinsi de mevcuttur [21].

4.2.2.6. 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 [21].

4.2.2.7. Amino reçineler

Amino (grup) reçineleri formaldehit ile amino (NH₂) grubu ihtiva eden çeşitli bileşiklerin kontrollü tepkimeleri sonucu elde edilen termoset ürünlerdir. Urea (üre) - formaldehit ve melamin - formaldehit reçineleri bu sınıfın belli başlı örnekleridir. Bunlar sıvı, katı, toz ve granül halde piyasada bulunur. Amino reçinelerinden yapılan parçalar sert, dayanıklı ve elektrik yalıtma özellikleri çok iyidir. Birçok bakımdan fenoliklerden üstündür. Amino reçineleri hafif pastel, renksiz ve berraktır. Ayrıca renklendirilebilirler. Çekme dayanımları ve sertlikleri fenoliklere göre daha yüksek değerlerdedir. Kendi aralarında melamin gurubu, üre reçinelerinden daha özelliklidir. Toz halinde bulunan üre reçineleri tutkal olarak kullanılır ve çoğunlukla reçine tutkalı adı altında satılır. Bu plastiklerin özgül ağırlığı 1.47 - 1.55 gr/cm³ arasındadır. Aminolar (aminler), düşük frekanslı akımlar için iyi bir yalıtıcıdır. Isıya karşı dayanıklıdır. Asbest dolgu maddesiyle güçlendirildiğinde aminolar 100 C° ile 200 C° arasındaki sıcaklıklara karşı iyi direnç gösterirler. Suya ve kimyasal etkilere karşı direnç gösterir. Çözücü ve yağlara karşı gösterdiği direnç ve yüzeysel sertlik amino reçinelerinin önemli özelliklerindendir. Aşınmaya karşı yüksek direnç gösteren ve yüzey kalitesi çok iyi olan bu tür plastikler; üre formaldehit reçinesi kalıp tozu olarak, bazı elektrik malzemeleri, kozmetik ambalaj kapları, düzgün ve parlak yüzeyli çeşitli mutfak eşyası yapımında banyo ve mutfakların kaplanması kullanılır. Yapıştırıcı sıvı tip reçinelerde kontrplak üretiminde ve yapıştırılmasında kullanılır [83].

4.3. Polimer Malzemelerin Bileşenleri

Teknikte kullanım amaçlarına uygun olarak birçok yan malzemelerle karıştırılırlar. Bu malzemeleri de gruplandırmak mümkündür [21].

4.3.1. Solvent'ler

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

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

Burada eterin buharlaşma hızı 1 alınarak diğerlerinin buharlaşma hızları bağıl olarak gösterilmiştir [21].

4.3.2. Plastifiyanlar

Alkol ve phthalic anhydride reaksiyonu ile üretilen, berrak, renksiz ve kokusuz bir kimyasaldırlar. Plastifiyanlar, PVC ile reaksiyona girerek üretilen ürünün elastikiyetini sağlar ve şekillendirir. Pigmentler ve dolgu maddeleri gibi sadece katkı maddesi değil, aynı zamanda polimerin fiziksel özelliklerini de sağlayan bir kimyasaldır. Plastifiyanlar kendi aralarında, adipat' lar, azelat lar, benzoat lar, maleat lar, oleat lar, fosfat lar ve fitalat lar olarak değişik gruplara ayrılırlar. Bunların arasında fitalatlar gerek fiyat avantajı, gerek teknik performansı nedeniyle en çok kullanılan plastifiyanlardır. En bilinenleri; Di -2ethyl hexyl phthalate, Di octyl phthalate (DEHP, DOP), Di iso decyl phthalate (DIDP) and Di iso nonyl phthalate (DINP) dır. Fitalat plastifiyanları, PVC aplikasyonlarında kullanıldığı gibi PVC dışı kullanımı da vardır. PVC aplikasyonlarında, suni deri, elektrik kablosu, ayakkabı tabanı, yer karosu gibi üretimlerde; PVC dışı aplikasyonlarda, boya, kauçuk, yapıştırıcı, gibi üretimlerde kullanılır. Plastifikasyon prosesi sırasında, past içindeki plastifiyanın uçuculuğu, yoğunluğu ve akışkanlığı past ın kalitesinde çok önemli bir rol oynar [84].

4.3.3. 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 alkalin metal tuzlarından yararlanılır [21].

4.3.4. 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, amiyon, 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 [21].

4.3.5. Pigmentler

Pigmentler, küçük partikül büyüklüğüne sahip, organik veya inorganik yapıda olan kimyasallardır. Boyaya; renk, örtme, koruyuculuk (antikorozif) ve dayanıklılık (örneğin; korozyona, alkalilere vb.) gibi özellikler verirler. Pigmentler, kimyasal tertip, fiziksel şekil ve optik özellikler bakımından büyük değişiklikler gösterirler. Pigmentler herhangi bir çözeltide çözünmeyen maddeler olup tane boyutları genel olarak 1 mikronun altındadır. Özellikle renklerinden dolayı önem kazanan ve bu yüzden daha çok yüzey örtme işlemlerinde kullanılan, suda çözünmeyen anorganik ya da organik maddelerdir [85].

4.3.6. 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. Lübrifan(yağlayıcılar); kolay şekil verilebilmesi için katılırlar, mumlar, metal sabunlar, koloidal grafit. Kalıptan çıkmayı kolaylaştıran ve kalıba sürülen maddeler;;çinko stearat, teflon, silikon vernikleri vb [21].

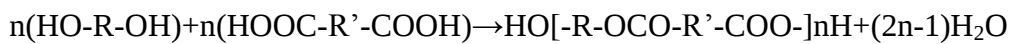
4.4. Polimerleşme ve Türleri

Polimerleşme, çok sayıdaki monomerin kimyasal bağlarla birbirine bağlanarak büyük moleküllere dönüştürülmesidir. Monomerler tek veya farklı türlerde olabilir. Basamaklı (kondensasyon) ve katılma (adisyon) olmak üzere iki temel mekanizması vardır [75].

4.4.1. Basamaklı Polimerleşme

Bu tip polimerleşme adım adım işleyen bir süreç olup, birçok bakımdan aynı küçük moleküllerin birleşmesi olarak bilinmektedir. Bundan dolayı çoklu esterleşme (poliesterifikasyon) için gerekli tepkime ısısı ve etkin katalizörler, benzer küçük moleküllerin oluşturduğu esterleşmeye göre daha çoktur [75].

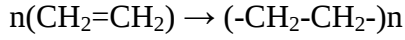
Dialkol HO-R-OH ve dibazik asit HO₂C-R'-CO₂H içeren polimerleşme tepkimelerinde ilk aşama dimerin oluşumudur. Her aşama monomer birimi ve büyüyen zincir arasındaki tepkimeyi içerirse, trimerler, tetramerler v.b. artan bir biçimde oluşacaktır. Basamaklı polimerleri, su, amonyum, sodyum klorür, hidrojen klorür, sodyum bromür, karbon dioksit gibi bazı basit moleküllerden oluşan yan ürünlerin atılması ile monomerlerin tekrarlanan tepkimesi ile oluşur [86]. Bir basamaklı tepkimede oluşan ürünün tipi monomerlerin fonksiyonu ile belirlenir. Örneğin, polyester bifonksiyonel monomerler arasındaki basamaklı tepkimeler ile yan ürün olarak suyun atılması sonucu oluşur:



4.4.2. Katılma Polimerleşmesi

Bu tip polimerleşmede çoğunlukla aktif merkezleri oluşturan serbest radikaller ile sağlanan bir zincir tepkimesindeki doymamış monomer birimlerinin sıralı eklenmesi sonucu oluşur. Burada tepkime yan ürünler atılmaksızın gerçekleşir. Tepkime sırasında kararlı bileşikler oluşmaz, kısa süreli radikaller veya iyonlar oluşturur. Serbest radikaller ile başlatma organik peroksitlerin, hidroperoksitlerin, azo veya diazo bileşiklerin termal veya fotokimyasal bozunması ile gerçekleştirilebilir. Katılma polimerleşmesi genellikle tek bir vinil türü içerirse de monomerlerin karışımı ile oluşur. Monomer karışımlarını içeren

tepkimler kopolimerleşme olarak adlandırılır ve farklı tipteki zincirlerin gelişimine yol açar. Katılma polimerleşmesine etileninki örnek verilebilir [75].:



Zincir taşıyıcılar serbest radikaller, katyon veya anyonlar olabilir. Buna göre katılma polimerleşmesi aşağıdaki gibi sınıflandırılır:

- Serbest radikal polimerleşmesi: En yaygın ve önemli katılma polimerleşmesi türüdür. Birçok etilen türevi bu şekildeki polimerleşme ile oluşurlar.
- Katyonik polimerleşme: Bazı polimerler, örneğin izobütilen ve α - metilstiren, sadece çok az miktardaki Friedel-Crafts katalizörlerinin bulunması durumunda polimerleşebilir.
- Anyonik polimerleşme: Akrilonitril, metil metakrilat ve strien gibi elektronegatif gruplar içeren monomerler, negatif iyon sağlayan reaktiflerin bulunması durumunda polimerleşebilir [75].

4.5. Polimerleşme Teknikleri

Polimerleşme termal katalitik ve radyasyon olmak üzere iki yolla gerçekleştirilebilir [75].

4.5.1. Termal Katalitik Polimerleşme

Bu tip polimerleşmede, polimerleşme sıcaklığı, kullanılan monomer ve katalizörlerin tipine göre değişir. Serbest radikal polimerleşmeleri yüksek sıcaklıklarda, iyonik polimerleşmeler ise en iyi 0 °C'nin altında ve çoğunlukla da -120 °C gibi düşük sıcaklıklarda uygulanır. Serbest radikal polimerleşmeleri için gerekli katalizörler organik peroksitler, azo ve diazo bileşikleridir. Katyonik polimerleşmeler için AlCl_3 , BF_3 , AlBr_3 , TiCl_4 ve SnClO_4 içeren Friedel-Crafts katalizörleri kullanılır. Anyonik polimerleşmeleri için ise sıvı amonyum, alkali metal alkiler, trifenil metilsodyum ve Grignard reaktiflerinde bulunan sodyum, potasyum ve lityum gereklidir [75].

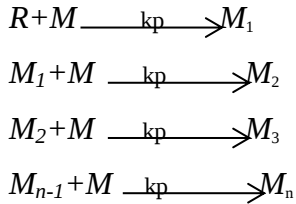
4.5.2. Radyasyon Polimerleşmesi

Serbest radikal mekanizması ile polimerleşen tüm monomerler radyasyon (α - ve β -partikülleri, γ -ışınları, hızlandırılmış elektronlar, protonlar, nötronlar, döteronlar ve morötesi ışınlar) ile de polimerleşebilir. Radyasyonla polimerleşmede, tepkime radyasyon ve monomerin doğrudan etkileşimi ile başlatılır ve katalizör kullanılmaz. Bu nedenle monomer saklanarak yeniden kullanılabilir. Özellikle uçuculuğu yüksek monomerler için buharlaşma kayıplarını sınırlayan bu tekniğin temel yararı polimerleşmenin oda sıcaklığında başlatılabilmesidir. Tepkime hızı uygulanan radyasyonun şiddeti ile denetlenir. Daha düşük bir radyasyon şiddeti genellikle daha düşük toplam dozajı, dolayısıyla daha düşük polimerleşme hızını ve bütün dönüşüm için daha uzun işlem süresini gerektirir [87]. Polimerleşme için gerekli enerji miktarı monomerin aktivasyon enerjisine de bağlıdır ve sabit radyasyon şiddeti ve sıcaklığında polimerleşme hızı çeşitli monomerler için farklıdır [75].

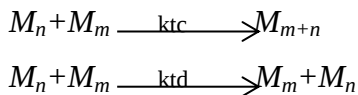
4.6. Serbest Radikal Polimerleşmesinin Mekanizması

Bu mekanizma üç aşamadan oluşmaktadır [75]:

- 1) Başlama : Bu aşamada aşağıda görüldüğü gibi ısı hareketi ile serbest radikaller oluşur:
$$I \xrightarrow{70-75^\circ\text{C}} 2R$$
- 2) Büyüme : Bu aşamada oluşan zincir radikaline sıralı monomer molekülü çift bağla eklenir. Böylece yeniden başka serbest radikaller meydana gelir.



- 3) Sonlanma : Büyüyen zincirin aktivitesi belirgin olarak azalana kadar büyüme devam eder. Sonra iki radikal çifti bir kovalent bağ oluşturur. Bu aşamaya sonlanma denir. Bu sonlanma iki şekilde gerçekleşir:



4.7. Polimerlerin Özellikleri

Polimerlerin özellikleri aşağıda verilmiştir;

- 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, xilen, 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 [21].
- Yüksek sıcaklıklar polimerler için daima tehlikelidir. Bazı türleri 300-400°C'a kadar dayanmakla beraber (polifluoretilen, teflon, melamin vb.) çoğunluk 80°C'yi aşılması halinde zarar görürler.
- Polimerlerin suya karşı dayanıklılıkları genellikle iyidir. Ancak bazıları, özellikle su buharına karşı duyarlı olurlar ve bozulabilirler.
- Polimerler genellikle düşük yoğunlukludurlar.
- Değişik renk ve türleri vardır. Renklendirme olanakları iyidir.
- Kullanımları, işlenebilmeleri iyidir ve kolaydır [81].

4.7.1. Yüksek Sıcaklığa Dayanım ve Isıl 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 plastiklere göre düşüktür [21].

4.7.2. 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 [21].

4.7.3. 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 [21].

4.7.4. 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 [88]. Geçirimsizlik polimerlerin uygulandığı endüstri sektöründe önemli rol oynar. Örneğin; polimer filmleri, plastik kovalar, korozyona

dirençli kaplamalar, elektrik uygulamaları, endüstriyel membranlar gibi uygulamalarda bu özelliğinden yararlanılır [21].

4.7.5. Yanıcılık

Polimer yanması dönüşümlü olarak tekrarlanır. Yanma polimerin yüzeyine doğru geçer. Polimerler yanıcılık bakımından çok çeşitlidir. Tablo 4.1’de üç grupta inceleyebiliriz.

Tablo 4.1. Polimerlerin yanıcılık bakımından sınıflandırılması [21].

1. Sınıf	2. Sınıf	3. Sınıf
Politetrafloretilen	Silikonlar	Polistren
Aromatik Polietersülfon	Polikarbonatlar	Polyolefinler
Bütün Aromatik Polimidler	Naylon	Poliasetatlar
Bütün Aromatik Polyesterler		Akrilikler
Bütün Aromatik Polieterler		Poliüretanlar
Polivinilklorid		
Polivinilden Klorid		

- Sınıf alev geciktirici yapıları kapsar, bunlar ya halojen veya aromatik gruplardır, bu tip polimerler yanıcıdır veya yüksek ısıl 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.
- Sınıf bileşimler yanarak kömürleşmezler, alev geciktirici yapılar da kullanılmaz, yanıcı veya kömürleştirici olabilirler.
- 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 [21].

5. POLİMER BETON

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 işlenebilirlik özelliği yüksek, beton harcı yapabilmeye olanak sağlayan süper akışkanlaştırıcıların gelişmesidir. Bu katkıları ile su/çimento oranı %30'lar mertebesine çekilmiştir. Böylece kılcal boşluklar ortadan kalkmaktadır. Çimento tanelerinden daha ince silis dumanı kullanımı ile mukavemet de artmıştır. Silis dumanı kılcaldan ince boşlukları tıkayarak, agrega çimento bağlanmasını pozolonik etkileri ile iyileştirir, hamur fazının mükemmelleşmesini sağlamaktadır [21].

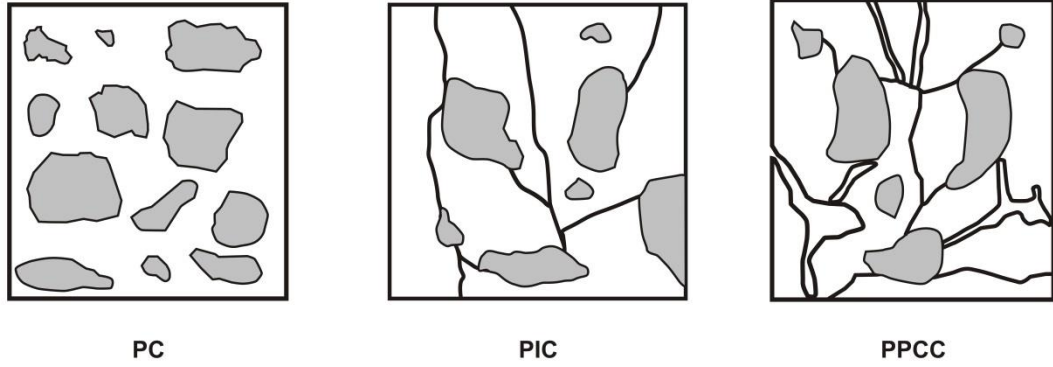
Beton sürekli çimento hamuru içinde agregalardan oluşan dağılılı faza sahip bir kompozittir. Yüksek mukavemetli beton üretebilmek; çimento hamuru fazının mukavemetini arttırmak ve agregayla olan aderansını arttırmakla olur. Elastik sabitlerin hesabında yararı olan kompozit malzeme modelleri, mekanik dayanımları tahmininde yararlı olmamaktadır. Ancak kompozitin mukavemeti, matriksin veya dağılılı fazı mukavemetleri ile sınırlıdır. Normal ağırlıkta bir betonda, doğal kayalardan elde edilen agregaların mukavemetleri çimento matrisinin mukavemetinden yüksektir [77].

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. Beton kalitesini artırmak ve kimyasallara direnç kazandırmak maksadıyla polimer beton ve harçların kullanılmaya başlanmasıdır [21].

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 [77]. 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.



Şekil 5.1. Polimerlerin betonda üç ayrı kullanımı [21].

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 [89].

5.1. Polimer-Beton (PC)

Bu tür kompozitlerde su ve çimento yerine, ince ve iri agregalara bağlayıcı olarak daha sonra polimerleştirilen monomer kullanılır [90, 91]. PC üretimindeki esas teknik, taneleri derecelendirerek ve karıştırarak agrega kütlesi içindeki boşluk hacmini en düşük seviyeye getirmektir. Böylece agregayı birbirine bağlamak için gerekli ve nispeten pahalı bir malzeme olan polimer miktarı azaltılır. Bu alanda kullanılan en yaygın polimerler, polyester-stiren, furan, epoksi ve vinil ester reçineleridir. Polimer ve agrega arasındaki bağı artırmak için silanla birleştirilmiş maddeler de monomere eklenebilir ve böylece kompozitin dayanımı artırılabilir [87]. Polimerin viskoelastik özelliklerinden dolayı bazı problemler ortaya çıkabilir. Polimerler çoğunlukla düşük elastikiyet modülüne sahip olup, bu da bükülme ve sünme özelliğini etkiler. PC'nin özellikleri, kullanılan polimerin miktarına ve özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır. Agregayı oluşturan bileşenlerin tane şekline bağlı olarak kullanılan polimerin miktarı % 10-20 arasında değişir [87]. PC'ler yüksek çekme ve bükülme dayanımlarına sahiptir. Normal betona göre, sıkışma dayanımındaki artma bükülme dayanımını azaltır çünkü polimer fazı daha fazla deforme olma özelliğindedir [90].

PC'ler normal betondan daha yüksek sünmeye sahiptir fakat polimer beton sıcaklığa karşı duyarlıdır. Örneğin sünme artarken, mekanik özellikleri artan sıcaklıkla belirgin biçimde azalır. Bu nedenle, bu tür malzemelerin kullanılma olanağını sınırlayan iki faktör düşük boyutsal kararlılık ve yüksek ısısal duyarlılıktır [87].

5.2. Polimer-Çimento Beton (PCC)

PCC'de monomer veya polimer çimento pastası ve agregaya karışım sırasında eklenir. Malzemelerin birbirleriyle yer değiştirmesinden sonra polimerleşme başlar. Monomerin polimerleşmesi veya polimerin kürleşmesi karışma işleminden hemen sonra meydana gelir. Daha sonra da beton sertleşir. Bir polimer betona ilave edilirse, karışım öncesi polimerleştirilmiş PCC olarak tanımlanır. Buna karşın, bir monomer betona ilave edilir ve kür sırasında polimerleştirilirse, karışım sonrası polimerleştirilmiş PCC olarak bilinir. Karışım öncesi polimerleştirilmiş PCC, lateks ve epoksi, aminoreçine, polyester, formaldehit türevleri gibi polimer çözeltilerini içerir. En çok kullanılan monomerler furfuril alkol, vinil alkol, v.b. dir [90].

Polimer latekslerinin betona ilavesi dayanım ve işlenebilirliği artırır. Fakat günümüzde kullanılan başlıca yararları duyarlılık ve yapıştırıcılık özelliklerinin en üst düzeyde geliştirilmesidir. Bu malzemeler donma-erimeye, aşınmaya ve çarpmaya karşı mükemmel dayanım gösterir. Genellikle lateks miktarının artması daha yüksek dayanımlar sağlar. Stiren -bütadien lateksleri yüksek çekme veya bükülme, ortalama bir sıkışma dayanımı ve düşük elastik modül gösterir. Saran [poli(viniliden klorür)] lateksleri yüksek sıkışma, çekme ve bükülme dayanımına ve yüksek elastik modülüne sahiptir [92]. Diğer bir ifadeyle saran lateksi betonun elastik modülünü artırır, oysa stirenbütadien lateksi elastik modülü azaltır.

Karışım sonrası polimerleştirilmiş PCC'ler henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. Organik malzemeler sulu sistemler ile uyumsuzdur ve alkalın çimento hidrasyon işlemi ile girişim yapar. Katalizlenmiş epoksi reçineler dayanımda belirgin bir artış meydana getirir. Suda çözünen epoksiler ve epoksi reçine emülsiyonları da dayanımı artırmak için kullanılırlar [90].

5.3. Polimer Emdirilmiş Beton (PIC)

PIC, sertleştirilmiş betona bir monomer emdirilerek ve sonra da polimerleştirilerek hazırlanmış bir malzemedir. Polimer emdirilmiş kompozitlerin üretiminde en önemli konu uygun bir monomerin seçilmesi ve polimerleşme işlemidir. PIC'te basamaklı polimerleşmeden ziyade, katılma polimerleşmesi uygulanır. Çünkü basamaklı polimerleşmede oluşan yan ürün kompozitin özelliklerine zarar verir [74].

PIC'te katı monomerler de kullanılmaz. Gaz monomerleri de kullanım zorlukları yaratır. Bu nedenle, günümüzde en yaygın kullanılan monomerler sıvı olanlardır. Polimerin kendi monomerinde çözünürlüğü de önemli olup, bunun sonucu ortaya iyi bir yapışma özelliğine sahip sert ve camsı bir malzeme çıkar. Bu alanda kullanılabilecek başlıca monomerler metil metakrilat (MMA), stiren, vinil asetat, % 60 stiren-% 40 akrilonitril, klorostiren, vinil klorür, % 10 polyester-% 90 stiren, % 90 MMA-% 10 TMPTMA (Trimetilolpropan trimetakrilat) [93-97].

Emdirme ve polimerleşme sırasında kayıpları minimuma indirmek için, kullanılacak sıvı monomerlerin buhar basıncı düşük olmalıdır. Diğer önemli bir özellik de monomerin viskozitesidir. Viskozite, monomerin kapiler gözeneklere difüzyonunda birincil öneme sahiptir. Viskoziteyi azaltmak ve böylece polimer yüklemeyi artırmak için karbonditriklorür (CCl_4) veya karbonsülfür (CS_2) gibi bazı maddeler yaklaşık % 2 mertebesinde monomere karıştırılır [98]. Emdirme derecesi sadece monomerin viskozitesine değil, onun moleküler büyüklüğüne ve sertleşmiş çimento pastasının kapiler gözenek yapısının büyüklüğüne ayrıca kapiler gözenek duvarları ve organik molekül arasındaki etkileşime de bağlıdır. PIC normal betona benzer olup, çoğunlukla yaklaşık ağırlıkça % 6- 7 polimer içerir [91]. Polimer, bütünüyle betondaki gözeneklerde ve matrikisin yarık/çatlaklarında dağılmıştır. Diğer polimer-beton kompozitleri arasında PIC normal betona göre yapısal ve duraylılık özellikleri en yüksek olanıdır. PIC'te yüksek basınç dayanımı, çekme ve bükülme dayanımları elde edilmiştir. Örneğin, basınç dayanımı % 400, çekme dayanımı ise % 600 kadar artmaktadır. Dayanımdaki iyileştirmeler, polimerin gözenekleri doldurma derecesine bağlıdır. Farklı monomerlerin kullanıldığı PIC'te yüksek dayanımın sağlanması çeşitli faktörlere bağlıdır, Bunlar yeterli emdirme süresi, monomerin polimere dönüşüm oranı, sürekli polimer fazının oluşumu ve polimerin kendi mekanik özellikleri olarak söylenebilir [87].

Polimer emdirmenin etkilerinden biri elastik olmayan normal bir betonun elastik olan bir malzemeye dönüşümüdür. Polimer emdirme kompozitin elastik modülünde, maksimum yüklemde birim deformasyonda ve toklukta/sağlamlıkta bir artma sağlar. Elastik bir malzemeye dönüşüm, agrega-matriks ara yüzeyindeki gözeneklerin ve mikro çatlakların doldurulması sonucu normal betonda bulunan yanılıcı işlenebilirliği de ortadan kaldırır. Böylece agrega-matriks bağ dayanımı emdirme ile geliştirilir ve genellikle de agreganın dayanımından daha büyüktür. PIC'in sünme deformasyonu çekme ve sıkışma dayanımları bakımından normal betonunkinden genellikle en azından 10 kat daha düşüktür. Çok düşük gerilmelerde, PIC negatif sünme gösterir. Örneğin basınç yüklemesi altında genişleme ve çekme dayanımı altında büzülme olur. Daha yüksek gerilmelerde, sünme çok hızlıdır ve hemen kopma gelişir [91].

PIC daha yüksek sıcaklıklarda dayanımını giderek kaybeder, çünkü bir polimerin Young modülü camı geçiş sıcaklığına yakın bir değerde azalır. Normal betona göre, PIC daha düşük su absorpsiyonu ve geçirgenlik gösterir. Sonuç olarak, asit ve kimyasallar içeren ortamsal etkilerin çoğuna karşı PIC'in dayanıklılığı geliştirilmiştir. Normal betonun tersine, PIC sıfır sünme özelliğine sahiptir. Ayrıca PIC'in elastik modülü, normal betonunkinden en az 2 kat daha büyüktür [99].

5.3.1. Polimer Emdirilmiş Betonda Polimerin Önemi

PIC'te polimerin rolü ve dayanımın geliştirilmesi birçok araştırmaya konu olmuşsa da henüz yeterince aydınlığa kavuşturulamamıştır. PIC'te polimer iki şekilde hareket eder. Birincisi, boşlukların doldurulması ile betonun gözenekliliği belirgin biçimde azalır. İkincisi, çimento pastasında kapiler bir ağ oluşur. Matriks fazına bağlı polimerin miktarını ve mikroyapısını birçok faktör etkiler. Çimento matriksindeki bütün gözenek ve boşlukların monomerin doldurması için uygun olmadığı da gösterilmiştir [100]. PIC'teki polimerin çoğu kapiler gözeneklerde kalır. Bu boşluklar kısmen veya tamamen doldurulabilir. PIC'te gözenegin azalması sadece dayanımda artmayı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda polimerin yapışmasına bağlı olarak jel matriks ve matriks-agrega fazları arasındaki arayüzeysel bağı da geliştirir. Gözeneklerin ve arayüzeylerin doldurulması hem kompozitin dayanım ve elastik özelliklerini, hem de çatlamalara karşı direncini artırır. Agreg ve matriks fazlarının bağlanmasında polimerin rolü çekmede ve sıkışma ile ilişkili yükleme deformasyonu davranışında oldukça önemlidir. Çimento sistemlerinin eğilme

dayanımı Van der Waal's gibi fiziksel bağ kuvvetlerine bağlıdır ve PIC'te elde edilen eğilme dayanımındaki artış agrega-matriks bağındaki artma ile sağlanır [91].

5.4. Polimer Betonun Yaygın Olarak Kullanım Alanları

5.4.1. Onarım

İlk olarak bilinen polimer kompozitler beton onarımı ve yol işlerinde kullanılmaktadır. Silis dumanı latexle karıştırılarak agregayla birlikte kullanılabilir [101]. Polimer betonları aynı zamanda farklı reçinelerle de kullanılabilir. Bunlar; epoksiler, metakrilatlar, furkan, polyester-stren ve üretanlardır. 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 [102].

Epoksi gibi çok viskoz reçinelerde önceden karışım yapılır. Epoksilerin hazırlanması üç farklı karışımdan meydana gelir. Bunlar; reçine, kür uygulayıcı ve agregadır. Epoksi reçine betonlarında agrega granülometrisine bağlı olarak: agrega/reçine oranı ağırlıkça 1:1' den 15:1' e kadar değişebilir. Birçok uygulamalarda üretimin sonunda fiziksel özellik kazandırmak amacıyla çapraz bağlanma ve plastikleştiriciler de katılır. Polimer betonların kürü genellikle ekzotermik reaksiyon kür şartlarına benzer şekildedir. Polimer betonun kullanma ömrü yani pot-life ve kür zamanı başlangıcı, konsantrasyon ve hızlandırıcıların miktarından etkilenir [101].

5.4.2. Prekast polimer betonlar

Prekast polimer betonları hızlı kür, yüksek mukavemet ve ince kesitlerde düşük permeabilite gibi özelliklerinden dolayı kullanılmaktadır. Prekast polimer betonlarında yaygın olarak polyester/styren kullanılır. Epoksi reçineleri düşük rötire, 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 [21].

5.4.3. 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 [21].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında 0-3 mm olivin ve 3-8 mm dere agregası olmak üzere 2 farklı agrega kullanılmıştır. Ayrıca mineral katkı olarak silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanı çimentonun % 0, % 5, % 10 ve % 20 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Beton numuneleri 7, 28 ve 90 günlük 20 ± 2 °C’ de kür sürelerini tamamladıktan sonra numuneler etüvde 105 ± 5 °C’ de 24 saat kurutularak yüksek sıcaklık deneyine tabi tutulmuştur ve numuneler;

- Polimer emdirilmeyen,
- Polimer emdirilen olmak üzere 2 gruba ayrılmıştır.

6.1. Malzemeler

6.1.1. Çimento ve Mineral Katkı

Bu tez çalışmasında, Elazığ Çimento Fabrikası’ndan temin edilen ve TS EN 197–1’de CEM I 42.5 N olarak tanımlanan çimento kullanılmıştır [103]. Sika Firmasından temin edilen silis dumanı karışıma mineral katkı olarak katılmıştır. Kullanılan çimento ve silis dumanına ait kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler ise Tablo 6.1’ de verilmiştir.

Tablo 6.1.Çimento ve silis dumanının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)	Portland Çimentosu	Silis Dumanı
S(SiO₂)	21.12	91
A(Al₂O₃)	5.62	0.58
F(Fe₂O₃)	3.24	0.24
C(CaO)	62.94	0.71
MgO	2.73	0.33
SO₃	2.30	1.06
Na₂O	-	0.38
K₂O	-	4.34

Cl	-	0.8-1.0
Kızdırma Kaybı	1.78	1.84
Yoğunluk (g/cm³)	3.1	2.2
Özgül Yüzey Alanı (cm²/g)	3370	144000

6.1.2. Agregalar

Deneylerde iki farklı agrega kullanılmıştır. Tüm serilerin 0-3 mm' lik kısmı olivin, 3-8 mm arası dere agregası olarak kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan agregaya ait özellikler tablo 6.2-6.4' de verilmiştir.

Tablo 6.2.Deneylerde kullanılan agregaya ait özellikler

Agrega özellikleri	Dere Agregası
Kuru özgül ağırlık (kg/dm³)	2.67
Su emme (%)	2.0
Gevşek birim ağırlık (kg/m³)	1470
500 devir aşınma (%)	5.6

Tablo 6.3. Olivinin mineralojik ve fiziksel özellikleri

Synonyms	Olivin
Renk	Koyu Yeşil
Tane Şekli	Keskin, Açısal
Yoğunluk (g/cm³)	3.3
Sertlik (Moh' s scale)	6.5 - 7
Kırılma İndeksi	1.63 – 1.69
Erime Noktası (°C)	1760
Sinterleşme (°C)	1450
pH	> 9

Tablo 6.4. Olivinin kimyasal analizi

Oksitler	%
MgO	47 – 50
SiO₂	38 – 41
FeO	7 – 9
Diğerleri(Al,Cr,Ni,Ca,Mn Oksitler)	< 2
Kızdırma Kaybı (LOI)	0.7 – 1.5
Su İçindeki İletkenliği (ms/m)	< 25
Su İçindeki Klor	< 0.0025
Bağıl Nem (%)	< 0.5

6.1.3. Kimyasal Katkı

Karışımlarda Sika firmasına ait “Visco Crete Hi-Tech 36” serisi yüksek performanslı 3. nesil süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Yapılan deneme karışımları sonucu tüm serilerde akışkanlaştırıcı katkı maddesi %1.2 oranında kullanılmıştır. Tablo 6.5’de ise kullanılan akışkanlaştırıcının özellikleri verilmiştir.

Tablo 6.5. Akışkanlaştırıcı katkının kimyasal ve fiziksel özellikleri

Görünüm / Renk	Açık kahverengi sıvı
Kimyasal Yapı	Modifiye polikarboksilat esaslı polimer
Yoğunluk	1.07 – 1.11 kg/l (20 °C’de)
pH Değeri	3 – 7
Donma Noktası	-9 °C
Suda Çözünebilir Klorür Yüzdesi	En fazla % 0.1, Klorür içermez.
Alkali Miktarı	En Fazla % 4

6.1.4 Karma Suyu

DeneySEL çalışmaların tamamında TS EN 1008’e [47] uygun, Elazığ İli Şebeke suyu kullanılmıştır.

6.1.5. Metil Metakrilat

Bu tez çalışmasında monomer olarak metil metakrilat kullanılmıştır. Başlatıcı olarak benzoil peroxide kullanılmıştır. Metil metakrilat monomerinin özellikleri tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.6. Metil metakrilat monomerinin kimyasal özellikleri

Asitik Değer, %	0.05
Yoğunluk (kg/litre)	0.933-0.936
Kaynama Noktası, °C	101
Donma Noktası, °C	-48
Safılık, %	99.99
Suda Çözünürlüğü (gram/litre)	15

6.2. Numunelerin Hazırlanması

Bu tez çalışmasında, agrega olarak 0-3 mm olivin minerali ve 3-8 mm dere agregası kullanılarak 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri için beton serileri hazırlanmıştır. Çimento dozajı 400 kg/m³ olarak seçilmiş olup taze betonun çökme değeri 7–10 cm arasında ölçülmüştür. Hazırlanan beton numunelerin karışım oranları tablo 6.7'de verilmiştir. Hazırlanan beton numuneler S0 kontrol betonu, S5 % 5 silis dumanı içeren, S10 % 10 silis dumanı içeren ve S20 % 20 silis dumanı içeren beton numuneleri olarak ifade edilmiştir.

Tablo 6.7. Deneylerde kullanılan betonun karışım oranları.

Karışım	Çimento (kg/m ³)	Silis Dumanı (kg/m ³)	Su/Bağlayıcı	Akışkanlaştırıcı (kg/m ³)	Agrega 0-3 mm (kg/m ³)	Agrega 3-8 mm (kg/m ³)
S0	400	-	0.55	4.8	1259	687
S5	380	20	0.55	4.8	1255	685
S10	360	40	0.55	4.8	1250	682
S20	320	80	0.55	4.8	1239	676

Basınç dayanımı, ultrases hızı ve yüksek sıcaklık etkisi deneyleri için 100×100×100 mm ölçülerindeki küp numuneler taze beton her defasında 25'er kez şişlenerek 3 aşamada

kalıplara yerleştirilmesiyle hazırlanmıştır. Her karışım ve sıcaklık için 3'er adet numune üretilmiştir. Daha sonra numuneler 1 gün bekletilip kalıplar söküldükten sonra 7, 28 ve 90 gün 20 ± 2 °C' de su kürüne tabi tutulmuşlardır. Daha sonra numuneler etüvde 105 ± 5 °C' de 24 saat kurutulmuştur. 20°C, 200°C, 400°C, 600°C, 800°C ve 1000 °C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra beton numuneler 2 ayrı gruba ayrılarak I. gruba polimer emdirilmesi yapılmamıştır. II. gruba ise %1 benzoil peroxide bulunan metil metakrilat monomeri içerisine daldırılmıştır. Bu işlemde numuneler 24 saat atmosferik ortamda bekletilmişlerdir. Daha sonra numuneler 60 °C sıcaklıktaki etüvde 3 saat bekletilerek monomerin polimerleşmesi gerçekleştirilmiştir.

6.3. Uygulanan Deneyler

6.3.1. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanım deneyi için 3'er adet 100×100×100 mm ölçülerindeki küp numuneler üzerinde, TS EN 12390-3'e göre yapılmıştır [104]. 7, 28 ve 90 gün sonunda numuneler 3000 kN yükleme kapasitesine sahip, otomatik kontrollü preste kırılarak dayanım değerleri ölçülmüştür.



Şekil 6.1. Yük kontrollü pres

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (6.1)$$

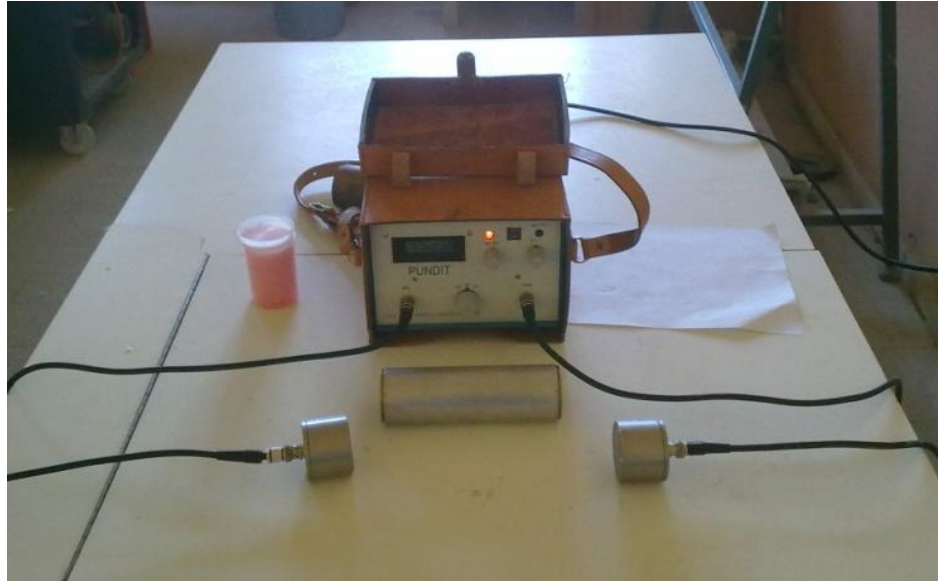
f_c = Beton deney numunesi basınç dayanımı (N/mm²)

P = Kırılma yükü (N)

A = Kesit alanı (mm²)

6.3.2. Ultrasonik Ses Geçirgenlik Deneyi

Ultrasonik test cihazı ile betonun içerisine gönderilen ses üstü dalgaların betonun bir yüzeyinden diğer yüzeyine geçme süresi ölçülüp, dalga hızı hesaplanmaktadır. Bulunan bu ses üstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki elde edilmektedir [105]. Ultrases hızı deneyi 3'er adet 100×100×100 mm ölçülerindeki küp numuneler üzerinde uygulanmıştır.



Şekil 6.2. Ultrasonik ses cihazı

Beton numunenin bir yüzeyinden gönderilen ses üstü dalganın diğer yüzeyine ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra dalga hızı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$(V = \frac{S}{t} \times 10^3) \quad (6.2)$$

Burada;

V = Ses üstü dalga hızı (km/sn),

S = Numunenin ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (metre),

t = Ses üstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı diğer yüzeye kadar geçen zaman (mikro saniye) [105, 106].

6.3.3. Numunelerin Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılması

Yüksek sıcaklık deneyi için, numuneler 7, 28 ve 90 gün 20 ± 2 °C’ deki su küründe bekletildikten sonra 20 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C’ deki sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalmış betonların fırın içerisindeki görüntüsü şekil 6.3’de verilmiştir. Doğal yangını simule edebilmek için sıcaklık artış dakikada 2.5 °C olacak şekilde sabit tutulmuştur. Numuneler yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra oda sıcaklığına bırakılarak soğuması için bekletilmiştir [107]. Her sıcaklık için 3’er adet numune kullanılmıştır.



Şekil 6.3. Yüksek sıcaklık fırını

7. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER

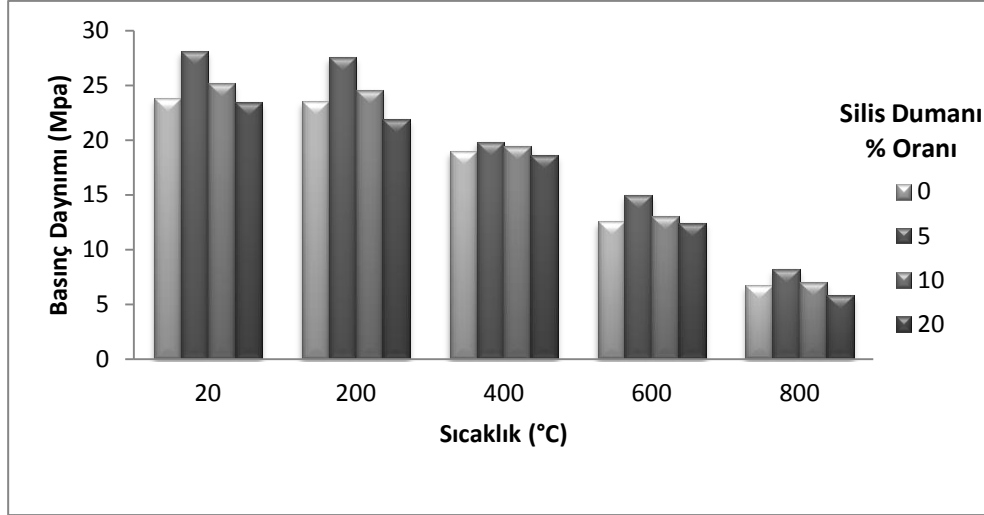
7.1. Basınç Dayanımı Deneyleri Sonuçları

Bu tez çalışması için 432 adet 100×100×100 mm boyutlarında küp numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 20± 2 °C’de standart su küründe 7, 28 ve 90 gün kür edildikten sonra numuneler etüvde 105±5 °C’ de 24 saat kurutulmuştur. Beton numuneler 20 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C’ de yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Şekil 7.1’de görüldüğü gibi 1000 °C’ de numuneler dağılmıştır. Bu yüzden 1000 °C’ye maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımı değerleri elde edilememiştir. Yüksek sıcaklık sonrası numuneler 2 gruba ayrılarak I. gruba polimer emdirilmemiş, II. gruba ise 24 saat boyunca monomer emdirilmesi yapılarak, 3 saat süre ile 60 °C’ de polimerleştirme gerçekleştirildikten sonra ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

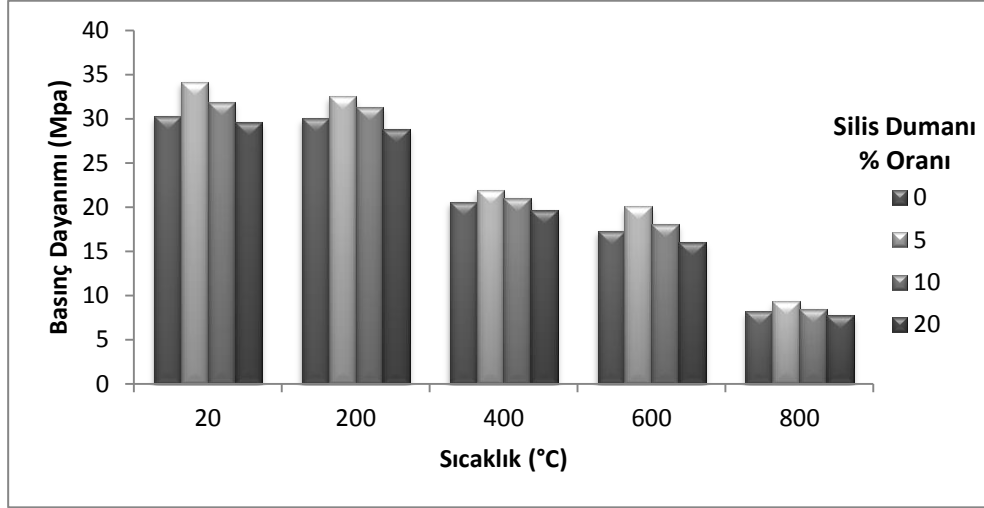


Şekil 7.1. Beton numunelerin 1000 °C’deki görüntüsü

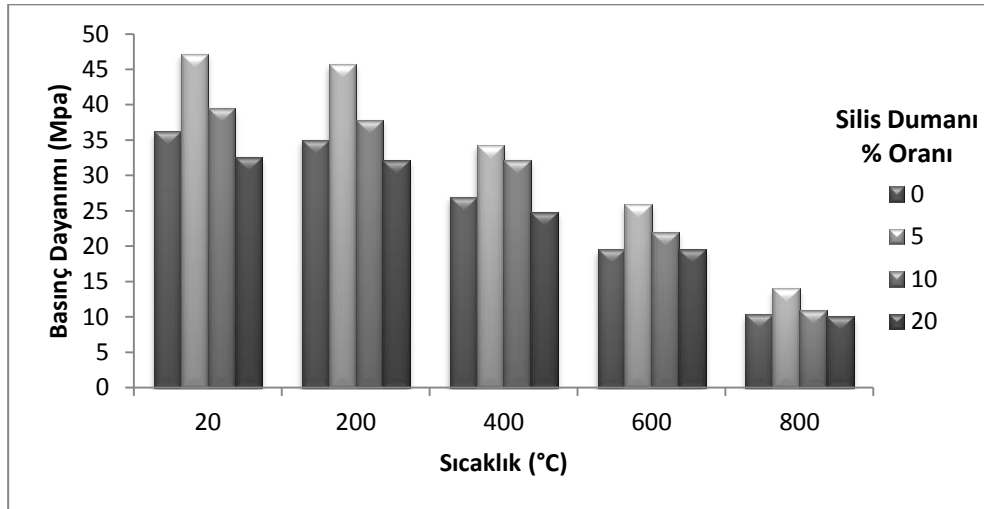
Basınç dayanımı deney sonuçları şekil 7.2-7.7’de verilmiştir.



Şekil 7.2. 7 günlük beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı grafiği



Şekil 7.3. 28 günlük beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı grafiği



Şekil 7.4. 90 günlük beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı grafiği

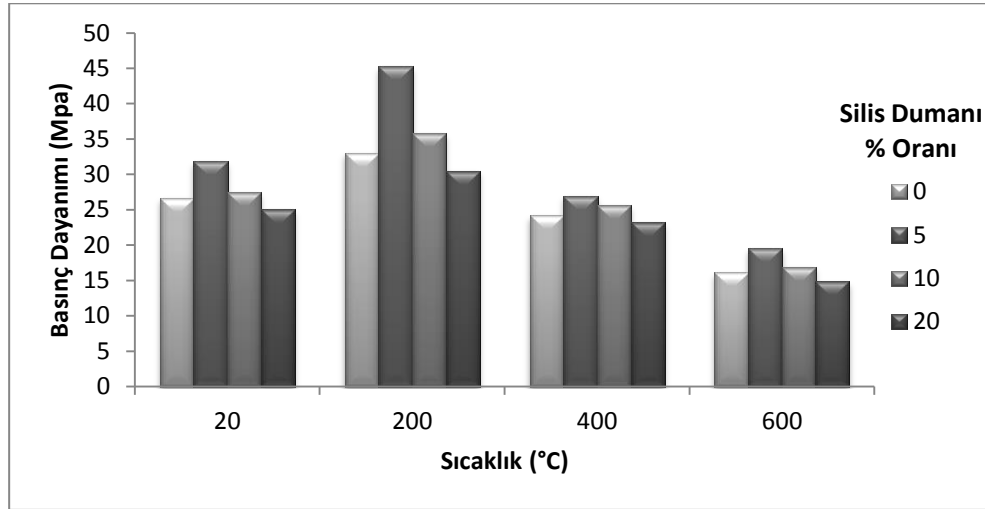
Şekil 7.2’de 7 gün kür süresi sonunda yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin basınç dayanımı grafiği verilmiştir. Şekil 7.2’de görüldüğü üzere en yüksek basınç dayanımını % 5 silis dumanı içeren numunelerden elde edilmiştir. Ayrıca şekil 7.2. incelendiğinde 20 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 20 °C’deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 18.03 olarak bulunmuştur. 200 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 200 °C’ deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 17.02 olmuştur. 400 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 400 °C’deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 4.38’dir. 600 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 600 °C’deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 19.38 ve 800 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 800 °C’deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 22.35 olarak hesaplanmıştır. 7 günlük kürde 800 °C’de en yüksek basınç dayanımındaki artış meydana gelmiştir. Böylece silis dumanı etkinliği 7 günde en fazla 800 °C’de göstermiştir.

Şekil 7.3’de 28 gün kür süresi sonunda yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin basınç dayanımı grafiği verilmiştir. Şekil 7.3’de görüldüğü üzere en yüksek basınç dayanımını % 5 silis dumanı içeren numunelerden elde edilmiştir. Ayrıca şekil 7.3. incelendiğinde 20 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 20 °C’deki kontrol numunesine göre artış miktarı % 13.00 olarak bulunmuştur. 200 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 200 °C’deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 8.22 olmuştur. 400 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 400 °C’ deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 6.57’dir. 600 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 600 °C’ deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 16.13 ve 800 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 800 °C’ deki kontrol numunesine göre artış miktarı % 13.40 olarak hesaplanmıştır. 28 günlük kür süresinde 600 °C’de en yüksek basınç dayanımında artış meydana gelmiştir. 28. günde 7. günde olduğundan farklı olarak silis dumanı 600 °C’de etkinliğini daha fazla göstermiştir.

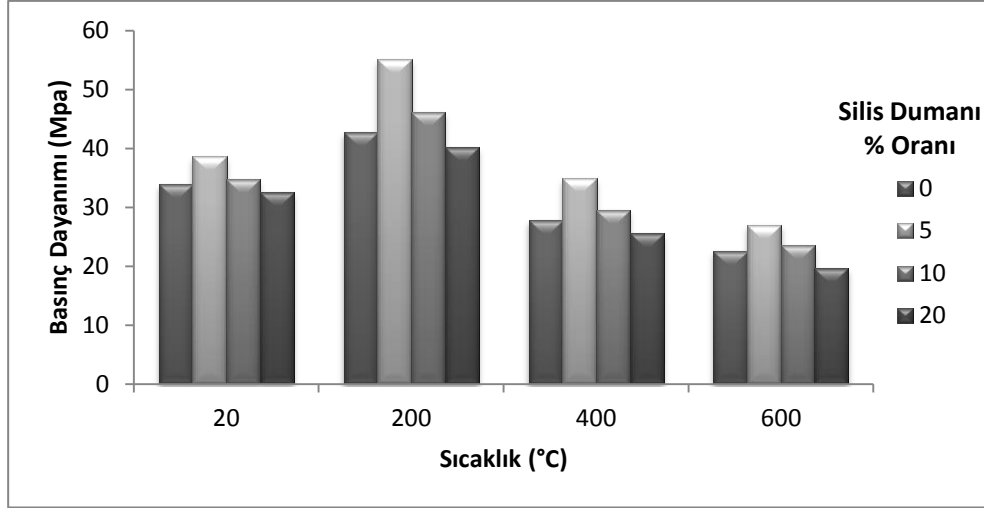
Şekil 7.4’de 90 gün kür süresi sonunda yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin basınç dayanımı grafiği verilmiştir. Şekil 7.4’de görüldüğü üzere en yüksek basınç dayanımını % 5 silis dumanı içeren numunelerden elde edilmiştir. Ayrıca şekil 7.4. incelendiğinde 20 °C’ de % 5 silis dumanı içeren beton numune 20 °C’ deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 30.52 olarak bulunmuştur. 200

$^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren beton numune 200°C ' deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 30.26 olmuştur. 400°C 'de % 5 silis dumanı içeren beton numune 400°C ' deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 27.14'dür. 600°C 'de % 5 silis dumanı içeren beton numune 600°C ' deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 32.29 ve 800°C 'de % 5 silis dumanı içeren beton numune 800°C ' deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 36.31 olarak hesaplanmıştır. 90 günlük kürde 800°C 'de en yüksek basınç dayanımında artış meydana gelmiştir. 90. günde 7. günde olduğu gibi silis dumanı etkinliğini 800°C 'de göstermiştir.

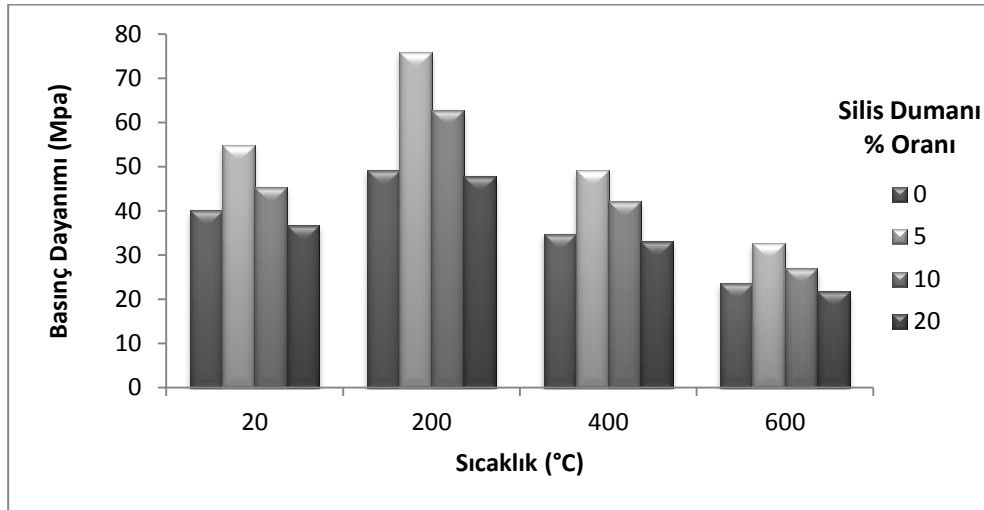
Şekil 7.5-7.7' de yüksek sıcaklıktan sonra polimer emdirilen numunelerin kür sürelerine göre basınç dayanımı grafikleri verilmiştir.



Şekil 7.5. Yüksek sıcaklıktan sonra polimer emdirilmiş 7 günlük beton numunelerin basınç dayanımı grafiği



Şekil 7.6. Yüksek sıcaklıktan sonra polimer emdirilmiş 28 günlük beton numunelerin basınç dayanımı grafiği



Şekil 7.7. Yüksek sıcaklıktan sonra polimer emdirilmiş 90 günlük beton numunelerin basınç dayanımı grafiği

Şekil 7.5’de 7 gün kür süresi sonunda yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra polimer emdirilmiş beton numunelerin basınç dayanımı grafiği verilmiştir. Şekil 7.5 incelendiğinde % 5 silis dumanı katkılı numuneler her sıcaklıkta en yüksek basınç dayanımı değerlerini vermiştir. Buda beklenen bir durumdur. Çünkü % 5 silis dumanı katkılı beton numunelerin basınç dayanımı polimer emdirilmeden öncede en yüksek değeri vermektedir. Her kür süresinde 800 °C’ye maruz bırakılan tüm numuneler monomer içine bırakılmıştır fakat numuneler polimerleşme esnasında dağılmıştır. Bu yüzden basınç dayanımı değerleri elde edilememiştir. Şekil 7.5’de 20 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 20 °C’deki kontrol numunesine göre basınç

dayanımındaki artış miktarı % 19.43 olarak bulunmuştur. 200 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 200 °C’deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 37.06 bulunmuştur. 400 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 400 °C’deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 11.36 ve 600 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 600 °C’deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 21.40 olarak hesaplanmıştır. Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış 7 günlük polimer emdirilmiş beton numunelerde en yüksek basınç dayanımı artışı 200 °C’de bulunmuştur.

Şekil 7.6’da 28 gün kür süresi sonunda yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra polimer emdirilmiş beton numunelerin basınç dayanımı grafiği verilmiştir. Şekil 7.6 incelendiğinde % 5 silis dumanı katkılı numuneler her sıcaklıkta en yüksek basınç dayanımı değerlerini vermiştir. Şekil 7.6’da 20 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 20 °C’deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 13.86 olarak bulunmuştur. 200 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 200 °C’deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 29.14 bulunmuştur. 400 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 400 °C’deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 25.20 ve 600 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 600 °C’deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 19.28 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış 28 günlük polimer emdirilmiş beton numunelerin 7. günde olduğu gibi polimer emdirmenin en yüksek basınç dayanımı artışı 200 °C’de bulunmuştur.

Şekil 7.7’de 90 gün kür süresi sonunda yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra polimer emdirilmiş beton numunelerin basınç dayanımı grafiği verilmiştir. Şekil 7.7 incelendiğinde % 5 silis dumanı katkılı numuneler her sıcaklıkta en yüksek basınç dayanımı değerlerini vermiştir. Şekil 7.7’de 20 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 20 °C’deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 36.54 olarak bulunmuştur. 200 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 200 °C’deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 54.75 bulunmuştur. 400 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 400 °C’deki kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 41.40 ve 600 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 600 °C’deki

kontrol numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 38.68 olarak hesaplanmıştır. Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmış 90 günlük polimer emdirilmiş beton numunelerin 7. ve 28. günde olduğu gibi polimer emdirmenin en etkili olduğu derece 200 °C olarak bulunmuştur.

Bütün kür koşullarında mineral katkı olarak kullanılan silis dumanı oranının %5 ve % 10 artırılmasıyla betonlar her yaşta kontrol betonlarının basınç dayanımının değerlerini geçerek en yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Fakat % 20 silis dumanı kullanılmasıyla betonun dayanımı kontrol betonundan daha düşük değerler elde edilmiştir. Dayanımının büyük kısmı ilk günlerde kazanılmıştır [108]. Burada pozolanik reaksiyon hızı yüksek olan silis dumanı çimento hidratasyonu süresince serbest kalsiyum hidroksitle reaksiyona sonucu C-S-H jellerinin oluşmasıyla kristal yapı oluşumuna katkıda bulunarak, betonun basınç dayanımı gelişiminde etkili olmaktadır [109, 110]. Ayrıca silis dumanı tane boyutu, çimento ve uçucu kül tane boyutundan çok daha küçük olduğu için agrega/çimento ara yüzeyinde pozolanik aktiviteden daha önemli filler etkisi gerçekleştirerek daha yoğun bir agrega-bağlayıcı ara yüzeyi oluşturmaktadır [111-113].

Şekil 7.2-7.5 incelendiğinde yüksek sıcaklık sonrası polimer emdirilmiş ve emdirilmemiş numunelerin basınç dayanımındaki en yüksek artış miktarı kullanılan bütün sıcaklıklarda % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunelerden elde edilmiştir. Şekil 7.2 ile şekil 7.5 karşılaştırıldığı zaman 20 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 20 °C’deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 13.35 olarak bulunmuştur. 200 °C’ de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin 200 °C’deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 64.62 bulunmuştur. 400 °C’ de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin 400 °C’ deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 36.16 ve 600 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin 600 °C’deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 30.73 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre 7. günde en büyük artış 200 °C’deki % 5 silis dumanı katkılı polimer emdirilmiş betonlarda elde edilmiştir.

Şekil 7.3 ve şekil 7.6 incelendiğinde yüksek sıcaklık sonrası polimer emdirilmiş ve emdirilmemiş numunelerin basınç dayanımındaki en yüksek artış miktarı kullanılan bütün sıcaklıklarda % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunelerden elde

edilmiştir. Şekil 7.3 ile şekil 7.6 karşılaştırıldığı zaman 20 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 20 °C’deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 13.06 olarak bulunmuştur. 200 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin 200 °C’deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre artış miktarı % 69.40, 400 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin 400 °C’deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 58.97 ve 600 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin 600 °C’deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 34.25 olarak hesaplanmıştır. Böylece 28. günde en büyük basınç dayanımı artışı 200 °C’de % 5 silis dumanı katkılı polimer emdirilmiş betonlarda elde edilmiştir.

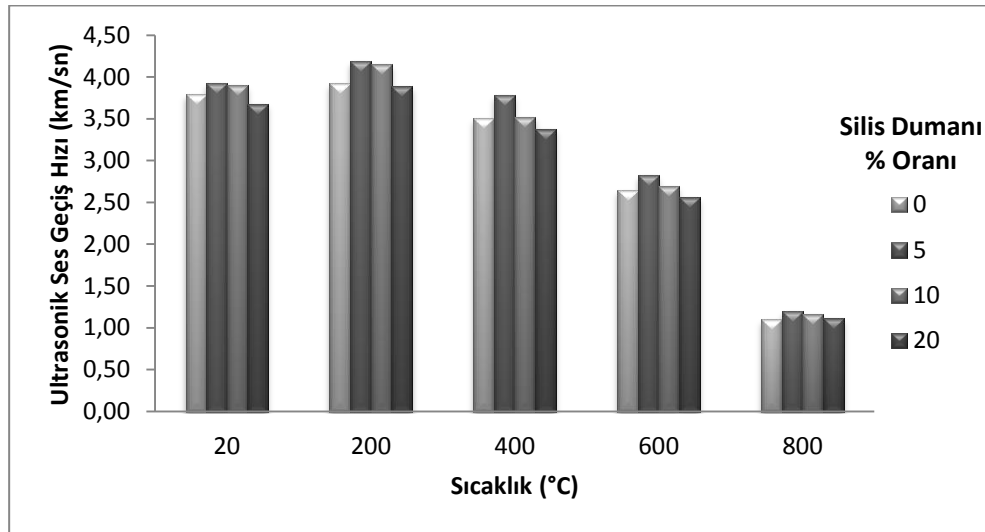
Şekil 7.4 ve şekil 7.7 incelendiğinde yüksek sıcaklık sonrası polimer emdirilmiş ve emdirilmemiş numunlerin basınç dayanımındaki en yüksek artış miktarı kullanılan bütün sıcaklıklarda % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunelerden elde edilmiştir. Şekil 7.4 ile şekil 7.7 karşılaştırıldığı zaman 20 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 20 °C’deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 16.12 olarak bulunmuştur. 200 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin 200 °C’deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 66.56 bulunmuştur. 400 °C’ de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin 400 °C’ deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 43.42 ve 600 °C’ de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin 600 °C’ deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre basınç dayanımındaki artış miktarı % 26.30 olarak hesaplanmıştır. 90. günde en büyük basınç dayanımındaki artış 200 °C’de % 5 silis dumanı katkılı polimer emdirilmiş betonda elde edilmiştir.

Metil metakrilatın çimentodaki Ca iyonları ile birleşerek farklı bir ürün meydana getirdikleri gözlenmiştir [114]. Bu Ca iyonları agrega-çimento veya çelik-çimento arayerlerinde oluşan düşük mukavemetli Ca(OH)_2 kristallerinin esasını teşkil ederler. Böylece boşluklar azaltılmaktadır. Bu kimyasal geçiş sonrasında geçiş çevresi kalitesi mükemmelleşmektedir. İkinci bir olgu beton içinde sürekli ağ teşkil eden ve karşılıklı bağlı polimer, betondan ayrı bir taşıyıcı iskelet de meydana getirmektedir. Bu iskeletin beton

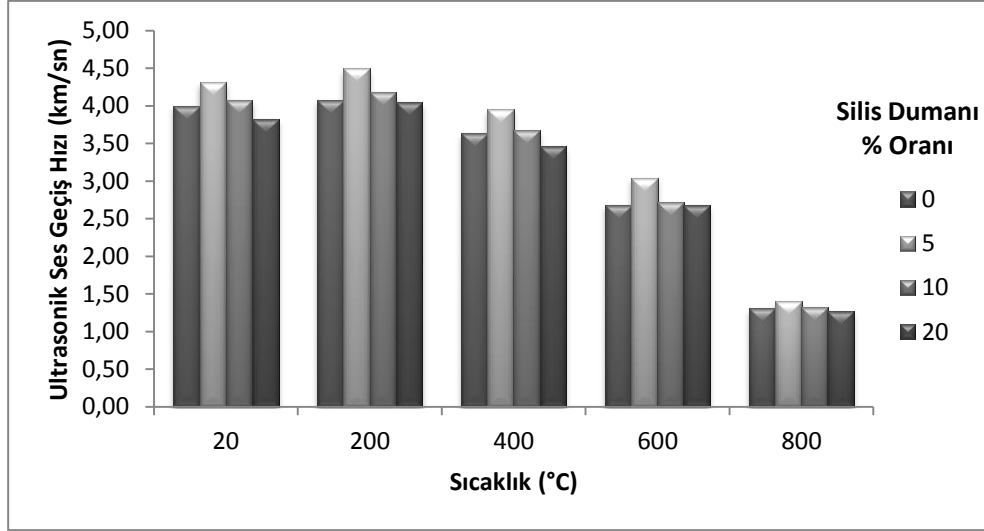
öğelerini daha iyi bağladığı da unutulmamalıdır. Polimer emdirilmiş beton yönteminde süperakışkanlaştırıcı ve silis dumanı ile elde edilecek yüksek mukavemeti daha da yükseltecek bir yöntem olarak belirlenmiştir [115]. Bu dayanımların genel artışının, çimento matrisi ve polar gruplara sahip polimer moleküllerinin kuvvetli bir şekilde fiziksel bağlarla bağlanmaları ve bu sayede birbirlerine sıkı sıkıya yapışmaları sonucu meydana geldiği söylenebilir [75].

7.2. Ultrasonik Ses Geçiş Hızı Sonuçları

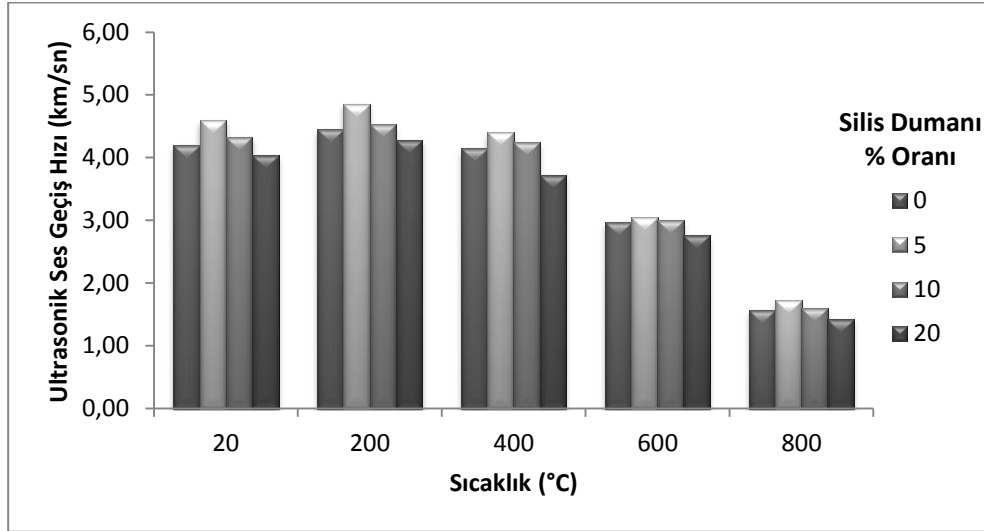
Ultrasonik geçiş hızları 7, 28 ve 90 günlük deney sonuçları şekil 7.8-7.13’ de verilmiştir. Bu grafiklerde görüldüğü gibi mineral katkı olarak kullanılan silis dumanı oranının artmasıyla % 5 ve % 10 silis dumanı içeren betonlar her yaşta kontrol betonlarının ultrasonik ses geçiş hızı değerlerini geçerek en büyük değerler elde edilmiştir. Ultrasonik ses geçiş hızı ile betonun yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu az olan bir betonda, yani içerisinde daha çok boşluk bulunan bir betonda, ultrasonik ses geçiş hızı betonun bir yüzeyinden diğerine ulaşabilme süresi daha uzundur. Bir başka deyişle, betonun içerisindeki boşluk miktarı arttıkça ultrasonik ses geçiş hızı daha az olmaktadır. Bilindiği gibi betonun yoğunluğu ile basınç dayanımı arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır. Yoğunluğu yüksek olan betonların basınç dayanımları da genellikle yüksek olur. Su/çimento oranı yüksek olan betonlar daha çok kapiler boşluk içerdiğinden bu betonların yoğunluğu ve basınçları da yüksek değildir [45].



Şekil 7.8. 7 günlük beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası ultrasonik ses geçiş hızı grafiği



Şekil 7.9. 28 günlük beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası ultrasonik ses geçiş hızı grafiği



Şekil 7.10. 90 günlük beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası ultrasonik ses geçiş hızı grafiği

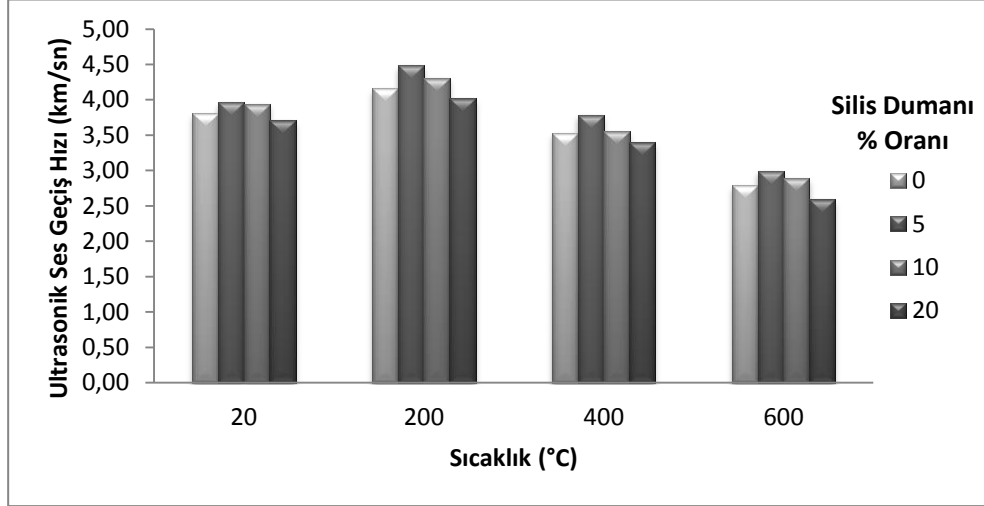
Şekil 7.8’de 7 gün kür süresi sonunda yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin ultrasonik ses geçiş hızı grafiği verilmiştir. Şekil 7.8’de görüldüğü üzere en yüksek ultrasonik ses geçiş hızı tüm sıcaklıklarda % 5 silis dumanı içeren numunelerden elde edilmiştir. Ayrıca şekil 7.8 incelendiğinde 20 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 20 °C’ deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 3.46 olarak bulunmuştur. 200 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 200 °C’ deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 6.59 bulunmuştur. 400 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 400 °C’ deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 7.70’dir. 600 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 600 °C’ deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış

miktarı % 6.62 ve 800 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 800 °C’ deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 8.68 olarak hesaplanmıştır. Basınç dayanımında olduğu gibi en yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değeri 800 °C’de elde edilmiştir.

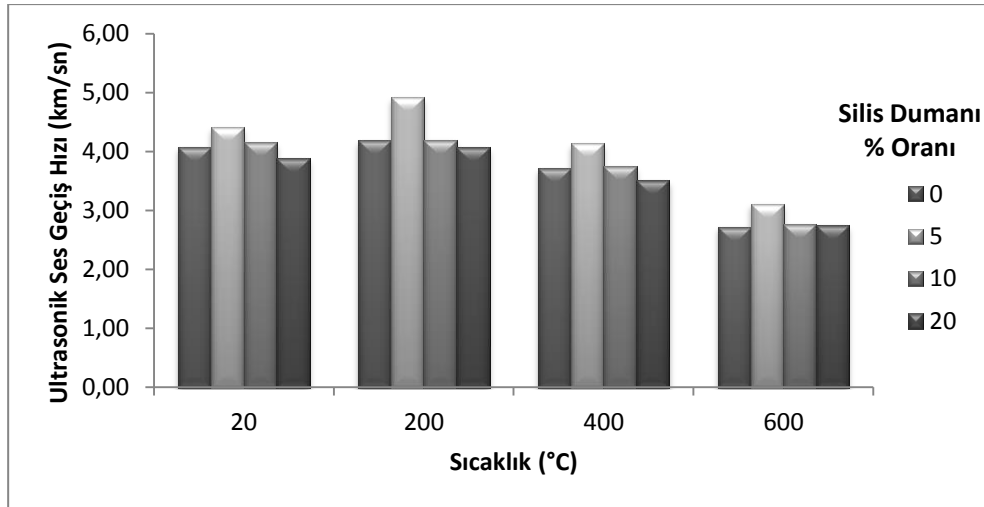
Şekil 7.9’da 28 gün kür süresi sonunda yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin ultrasonik ses geçiş hızı grafiği verilmiştir. Şekil 7.9’da görüldüğü üzere en yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değeri tüm sıcaklıklarda % 5 silis dumanı içeren numunelerden elde edilmiştir. Ayrıca şekil 7.9 incelendiğinde 20 °C’ de % 5 silis dumanı içeren beton numune 20 °C’ deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 7.76 olarak bulunmuştur. 200 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 200 °C’ deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 10.51 bulunmuştur. 400 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 400 °C’ deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 8.70’dir. 600 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 600 °C’ deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 13.37 ve 800 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 800 °C’ deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 7.58 olarak hesaplanmıştır. Basınç dayanımında olduğu gibi en yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değeri 600 °C’de elde edilmiştir.

Şekil 7.10’da 90 gün kür süresi sonunda yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin ultrasonik ses geçiş hızı grafiği verilmiştir. Şekil 7.10’da görüldüğü üzere en yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değerini tüm sıcaklıklarda % 5 silis dumanı içeren numunelerden elde edilmiştir. Ayrıca şekil 7.10 incelendiğinde 20 °C’ de % 5 silis dumanı içeren beton numune 20 °C’ deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 9.22 olarak bulunmuştur. 200 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 200 °C’ deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 9.22 bulunmuştur. 400 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 400 °C’ deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 6.17’dir. 600 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 600 °C’deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 2.36 ve 800 °C’de % 5 silis dumanı içeren beton numune 800 °C’ deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 10.33 olarak hesaplanmıştır. Basınç dayanımında olduğu gibi en yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değeri 800 °C’de elde edilmiştir.

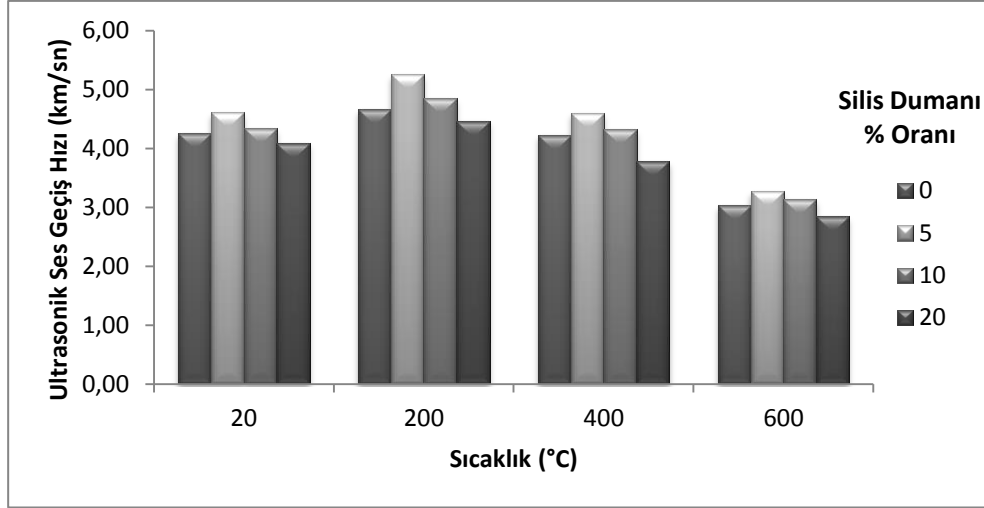
Şekil 7.11-7.13’de yüksek sıcaklıktan sonra polimer emdirilmiş beton numunelerin ultrasonik ses geçiş hızı grafikleri verilmiştir.



Şekil 7.11. Yüksek sıcaklık sonrası polimer emdirilmiş 7 günlük beton numunelerin ultrasonik ses geçiş hızı grafiği



Şekil 7.12. Yüksek sıcaklık sonrası polimer emdirilmiş 28 günlük beton numunelerin ultrasonik ses geçiş hızı grafiği



Şekil 7.13. Yüksek sıcaklık sonrası polimer emdirilmiş 90 günlük beton numunelerin ultrasonik ses geçiş hızı grafiği

Şekil 7.11’de 7 gün kür süresi sonunda yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra polimer emdirilmiş beton numunelerin ultrasonik ses geçiş hızı grafiği verilmiştir. Şekil 7.11’de görüldüğü üzere en yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değerini tüm sıcaklıklarda % 5 silis dumanı içeren numunelerden elde edilmiştir. Her kür süresinde 800 °C’ye maruz bırakılan numuneler monomer içine bırakılmıştır fakat numuneler polimerleşme esnasında dağılmıştır. Bu nedenle numunelerin ultrasonik ses geçiş hızları tüm kür koşullarında ölçilememiştir. Şekil 7.11’de ultrasonik ses geçiş hızları incelendiğinde 20 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 20 °C’deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 3.94 olarak bulunmuştur. 200 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 200 °C’deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 7.76 bulunmuştur. 400 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 400 °C’deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 7.28 ve 600 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 600 °C’deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 7.54 olarak hesaplanmıştır. Basınç dayanımında olduğu gibi en yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değeri 200 °C’de elde edilmiştir.

Şekil 7.12’de 28 gün kür süresi sonunda yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra polimer emdirilmiş beton numunelerin ultrasonik ses geçiş hızı grafiği verilmiştir. Şekil 7.12’de görüldüğü üzere en yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değerini tüm sıcaklıklarda % 5 silis dumanı içeren numunelerden elde edilmiştir. Şekil 7.12’de ultrasonik ses geçiş hızları incelendiğinde 20 °C’de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 20

$^{\circ}\text{C}$ 'deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 8.25 olarak bulunmuştur. 200 $^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 200 $^{\circ}\text{C}$ 'deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 17.39 bulunmuştur. 400 $^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 400 $^{\circ}\text{C}$ 'deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 11.47 ve 600 $^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 600 $^{\circ}\text{C}$ 'deki kontrol numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 14.34 olarak hesaplanmıştır. Basınç dayanımında olduğu gibi en yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değeri 200 $^{\circ}\text{C}$ 'de elde edilmiştir.

şekil 7.13'de 90 gün kür süresi sonunda yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra polimer emdirilmiş beton numunelerin ultrasonik ses geçiş hızı grafiği verilmiştir. şekil 7.13'de grldğu üzere en yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değerini tüm sıcaklıklarda % 5 silis dumanı içeren numunelerden elde edilmiştir. şekil 7.13'de ultrasonik ses geçiş hızları incelendiğinde 20 $^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 20 $^{\circ}\text{C}$ 'deki kontrol numunesine göre artış miktarı % 8.22, 200 $^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 200 $^{\circ}\text{C}$ 'deki kontrol numunesine göre artış miktarı % 12.69, 400 $^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 400 $^{\circ}\text{C}$ 'deki kontrol numunesine göre artış miktarı % 8.75 ve 600 $^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 600 $^{\circ}\text{C}$ 'deki kontrol numunesine göre artış miktarı % 7.92 olarak hesaplanmıştır. Basınç dayanımında olduğu gibi en yüksek ultrasonik geçiş hızı değeri 200 $^{\circ}\text{C}$ 'de elde edilmiştir.

şekil 7.8 ve şekil 7.11 incelendiğinde yüksek sıcaklık sonrası polimer emdirilmiş ve emdirilmemiş 7 günlük numunelerde ultrasonik ses geçiş hızlarındaki en yüksek artış miktarı 20 $^{\circ}\text{C}$, 200 $^{\circ}\text{C}$, 400 $^{\circ}\text{C}$, 600 $^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunede elde edilmiştir. şekil 7.8 ile şekil 7.11 karşılaştırıldığı zaman 20 $^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune 20 $^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 1.02 olarak bulunmuştur. 200 $^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin 200 $^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 7.24 bulunmuştur. 400 $^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin 400 $^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 0.44 ve 600 $^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin 600

$^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 6.40 olarak hesaplanmıştır. Basınç dayanımında olduğu gibi en yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değeri $200\ ^{\circ}\text{C}$ 'de elde edilmiştir.

Şekil 7.9 ve şekil 7.12 incelendiğinde yüksek sıcaklık sonrası polimer emdirilmiş ve emdirilmemiş 28 günlük numunelerde ultrasonik ses geçiş hızlarındaki en yüksek artış miktarı $20\ ^{\circ}\text{C}$, $200\ ^{\circ}\text{C}$, $400\ ^{\circ}\text{C}$, $600\ ^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunede elde edilmiştir. Şekil 7.9 ile şekil 7.12 karşılaştırıldığı zaman $20\ ^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune $20\ ^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 2.31 olarak bulunmuştur. $200\ ^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin $200\ ^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 9.45 bulunmuştur. $400\ ^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin $400\ ^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 4.77 ve $600\ ^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin $600\ ^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 2.30 olarak hesaplanmıştır. Basınç dayanımında olduğu gibi en yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değeri $200\ ^{\circ}\text{C}$ 'de elde edilmiştir.

Şekil 7.10 ve şekil 7.13 incelendiğinde yüksek sıcaklık sonrası polimer emdirilmiş ve emdirilmemiş 90 günlük numuneler incelendiğinde ultrasonik ses geçiş hızlarındaki en yüksek artış miktarı $20\ ^{\circ}\text{C}$, $200\ ^{\circ}\text{C}$, $400\ ^{\circ}\text{C}$, $600\ ^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunede elde edilmiştir. Şekil 7.10 ile şekil 7.13 karşılaştırıldığı zaman polimer emdirilen beton numunenin yüksek sıcaklık sonrası beton numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarları $20\ ^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numune $20\ ^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 0.50 olarak bulunmuştur. $200\ ^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin $200\ ^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 8.21 bulunmuştur. $400\ ^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin $400\ ^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış miktarı % 4.42 ve $600\ ^{\circ}\text{C}$ 'de % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmiş beton numunenin $600\ ^{\circ}\text{C}$ 'deki % 5 silis dumanı içeren polimer emdirilmemiş beton numunesine göre ultrasonik ses geçiş hızındaki artış

miktarı % 7.57 olarak hesaplanmıştır. Basınç dayanımında olduğu gibi en yüksek ultrasonik ses geçiş hızı değeri 200 °C’de elde edilmiştir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında 0-3 mm olivin ve 3-8 mm dere agregası mineral katkı olarak silis dumanı %0, %5, %10 ve %20 oranlarında kullanılmışlardır. Sertleşmiş beton deneyleri için 432 adet 100x100x100 mm küp numune üretilmiştir. Üretilen numuneler 20°C, 200°C, 400°C, 600°C, 800°C ve 1000 °C'ye maruz bırakılmışlardır. Yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra numuneler iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup numuneler yüksek sıcaklık sonrası polimer emdirilmemiştir. İkinci grup numuneler ise yüksek sıcaklık etkisinden sonra polimer emdirilmiştir. Bu tez çalışmasının sonucunda aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

- Kür süresinin etkisi incelendiğinde kür süresi arttıkça beton numunelerin basınç dayanımının beklenildiği şekilde arttığı görülmüştür.
- Silis dumanı katkılı serilerin sonuçları incelendiğinde 7, 28 ve 90 günlük kür süreleri için %5 ve % 10 silis dumanı katkılı beton numunelerin basınç dayanımları, diğer beton serilerini geçerek en yüksek basınç dayanımı değerlerini vermiştir. % 20 silis dumanı katkılı serilerin basınç dayanımları kontrol numunelerine ulaşamamışlardır.
- Ultrasonik ses geçiş hızı değerleri yükselen sıcaklıkla azalmıştır. Bunun nedeni betonun yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra bünyesinde oluşan çatlak ve boşluk yapısının artmasından dolayı olduğu söylenebilir. Kür süresi arttıkça ultrasonik ses geçiş hızı değeri de artmıştır.
- Polimer emdirilmiş betonların basınç dayanımları çimento matriksi ve polar gruplara sahip polimer moleküllerinin iyi bir şekilde fiziksel bağlarla bağlanmaları ve birbirlerine kuvvetli bir şekilde yapışmaları nedeniyle artışlar meydana geldiği söylenebilir.
- Beton içindeki boşlukların sürekli yapısı ve boşlukların tamamen boş olmaması nedeniyle polimer emdirilmiş betonlarda düşük viskoziteye ve uçuculuğu düşük monomerlerin kullanılması gereklidir. Beton içine emdirilen monomer sonradan polimerize olarak boşlukları doldurabilmektedir.
- 7, 28 ve 90 gün sonunda yüksek sıcaklık sonrası polimer emdirilmesiyle basınç dayanımında artışlar meydana gelmiştir.

- 7 gün kür süresi sonunda yüksek sıcaklık sonrası % 5 silis dumanı katkılı polimer emdirilen beton numunenin % 5 silis dumanı katkılı polimer emdirilmeyen beton numuneye göre basınç dayanımındaki artış 20°C’de % 13.35, 200 °C’de % 64.62, 400 °C’de % 36.16 ve 600 °C’de % 30.73 artış sağlamıştır.
- 28 gün kür süresi sonunda yüksek sıcaklık sonrası % 5 silis dumanı katkılı polimer emdirilen beton numunelerin % 5 silis dumanı katkılı polimer emdirilmeyen beton numuneye göre basınç dayanımındaki artış 20°C’de % 13.06, 200 °C’de % 69.40, 400 °C’de % 58.97 ve 600 °C’de % 34.25 artış sağlamıştır.
- 90 gün kür süresi sonunda yüksek sıcaklık sonrası % 5 silis dumanı katkılı polimer emdirilen beton numunelerin % 5 silis dumanı katkılı polimer emdirilmeyen beton numuneye göre basınç dayanımındaki artış 20°C’de % 16.12, 200 °C’de % 66.56, 400 °C’de % 43.42 ve 600 °C’de % 26.30 artış sağlamıştır.

9. KAYNAKLAR

- [1]. Aköz F., ve Yüzer N., 1994, Yüksek Sıcaklığın Nedenleri ve Betonarme Elemanlara Etkileri, Y.T.Ü Dergisi, 3, 89-98.
- [2]. Khoury G.A., 2003, "Fire & Assessment", International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine/Italy.
- [3]. Schrefler B.A., Gawin D., Khoury G.A., and Majorana C.E., 2003, "Physical, Mathematical & Numerical Modelling", International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine/Italy.
- [4]. Kalıfa P., Menneteau F.D., and Quenard D., 2000, "Spalling and Pore Pressure in HPC at High Temperatures", Cement and Concrete Research, 30, 1915-27.
- [5]. Chan Y.N., Lou X., and Sun W., 2000, "Compressive Strength and Pore Structure of High-Performance Concrete after Exposure to High Temperature up to 800°C", Cement and Concrete Research, 30, 247-51.
- [6]. Khoury G.A., 2003, "Fire & Assessment", International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine/Italy.
- [7]. Bilal, F., 2006, "Yangın ve Beton". İzolasyon Dünyası, 60, Pp: 70-2.
- [8]. Kızılkant B. A., Yüzer N., 2008, Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Harcın Basınç Dayanımı - Renk Değişimi İlişkisi, İMO Teknik Dergi, 6, 4381-92.
- [9]. Arıöz Ö., 2007, "Effects of Elevated Temperatures on Properties of Concrete." Fire Safety Journal, 42, 516-22.
- [10]. Janotka I., and BAGEL L., 2002, "Pore Structures, Permeabilities and Compressive Strengths of Concrete at Temperatures up to 800C." ACI Materials Journal, 99 (2), 196-00.
- [11]. Kong, F. K., Evans, R.H., Cohen, E., Roll, F., 1983, Handbook of Structural Concrete, Pitman Books Limited, London, Pp:7.
- [12]. Abeles, P.W., Bardhan-Roy, B.K., 1981, Prestressed Concrete Designer's Handbook, 3rd Edition, A Viewpoint Publication, Cement and Concrete Association, Wexham Springs, Pp: 556.
- [13]. Tanyıldızı, H., Coşkun, A., 2007, Hafif Betonun Basınç Dayanımı ve Yüzey Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Elazığ.
- [14]. Savva A., Manita P., and Sideris K.K., 2005, "Influence of Elevated Temperatures on The Mechanical Properties of Blended Cement Concretes Prepared With Limestone and Siliceous aAggregates." Cement and Concrete Composites, 27, 239-8.
- [15]. Saad M., 1996, Effect of Temperature on Physi-cal and Mechanical Properties of Concrete Conta-ning Silica Fume, Cement and Concrete Rese-arch, 26 (5), 669-5.

- [16]. Clfik, M.S., 1993. Effect of Elevated Tempere-tures on Mchanical Properties of High Strength, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [17]. Khoury G.A., 1992. Compressive Strength of Concrete at High Temperature: a Reassessment, Magazine Concrete Research 44, 395-06.
- [18]. <http://www.madenim.com/toppage19.htm>
- [19]. http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=maden_kullanım#olivin
- [20]. Hazer, B., 1993. Polimer Teknolojisi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fakülte Yayın No: 46, Genel Yayın No: 161, KT Matbaası, Trabzon.
- [21]. Pişkin, A., 2010. Polimer Beton retiminde Cam Tozu Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümü.
- [22]. Yıldıırım, M.Ş., 1995. Polimer Katkılı Betonların Dayanım ve Ekonomik Ynden Analizi zerinde Bir Araştırma, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli-Türkiye, pp:584-93.
- [23]. Bal, B., 1998. Bazı Polimerlerin Harç ve Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümü.
- [24]. Akman, M.S., 1990. Yapı Malzemeleri, 2.Baskı, İT, İnaaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [25]. Pacheco-Torgal F., Jalali S., 2009. Sulphuric Acid Resistance of Plain, Polymer Modified, and Fly Ash Cement Concretes, Construction and Building Materials, 23, 3485–91.
- [26]. Shaker FA., El-Dieb AS., Reda MN., 1997. Durability of Styrene–Butadiene Latex Modified Concrete, Cement and Concrete Research, 27, 711–20.
- [27]. Monteny J., Belie N., Vincke E., Verstraete W., Taerwe L., 2001. Chemical and Microbiological Tests to Simulate Sulphuric Acid Corrosion of Polymer Modified Concrete. Cement and Concrete Research, 31, 1359–65.
- [28]. Monteny, J., Belie, N., Vincke, E., Verstraete, W., Taerwe, L., 2001. Simulation of Corrosion In Sewer Systems By Laboratory Testing. In: Proceedings of The Fib-Symposium Concrete and Environment, Berlin-Germany, pp: 91.
- [29]. Chmielewska, B., 2007. Adhesion Strength and Other Mechanical Properties of SBR Modified Concrete. In: 12Th International Congress on Polymers In Concrete, Chuncheon-Korea, pp: 157–66.
- [30]. Yang Z., Shi X., Creighton A., Peterson M., 2008. Effect of Styrene–Butadiene Rubber Latex on The Chloride Permeability and Microstructure, Construction and Building Materials, 23, 2283–90.
- [31]. Moreira, P., Aguiar José, B., 2006. Aires Cames – Systems For Superficial Protection of Concrete, In: ISPIC 2006 International Symposium on Polymers In Concrete, Guimarães, Portugal, pp: 225–36.

- [32]. Ogawa, H., Kano, K., Mimura, T., Nagai, K., Shirai, A., Ohama, Y., 2007. Durability Performance of Barrier Penetrants on Concrete Surfaces, In: 12th International Congress on Polymers In Concrete, Chuncheon- Korea, pp: 373–82.
- [33]. Shirai, A., Kano, K., Nagai, K., Ide, K., Ogawa, H., Ohama, Y., 2007. Basic Properties of Barrier Penetrants as Polymeric Impregnants For Concrete Surfaces. In: 12th International Congress on Polymers in Concrete, Chuncheon-Korea, pp: 607–15.
- [34]. Cheng-Hsin Chen., Huang R., Wu JK., Chien-Hung Chen., 2006. Influence of Soaking and Polymerization Conditions on The Properties of Polymer Concrete. Construction and Building Materials, 20, 706–12.
- [35]. Allan A., William Horn., 2006. Some Properties of Polymer-Impregnated Cements and Concrete. J Am Ceram Soc, 54, 282–5.
- [36]. Whiting D., Kline DE., 2003. Theoretical Predications of The Elastic Moduli of Polymer-Impregnated Cement Paste and Mortars, J Appl Polym Sci, 20, 3353–63.
- [37]. Singth NB., Sarita Rai., 2001. Effect of Polyvinyl Alcohol on The Hydration of Cement With Rice Husk Ash, Cement and Concrete Research, 31, 239–43.
- [38]. Santos RS., Rodrigues FA., Segre N., Joekes J., 1999. Macro-Defect Free Cements – Influence of Poly(Vinyl alcohol), Cement Type and Silica Fume, Cement and Concrete Research, 29, 747–51.
- [39]. Magdy M Khattab., H A Abdel-Rahman., M M Younes., 2011. Durability of Gamma Irradiated Polymer-Impregnated Blended Cement Pastes Construction and Building Materials, 25, 651–57.
- [40]. Topçu, İ.B., 2006. Beton Teknolojisi. Uğur Ofset, 570 s., Eskişehir.
- [41]. http://www.gumustas.com.tr/index.php?option=com_content&view=article&id=92&Itemid=107
- [42]. <http://v3.arkitera.com/v1/malzemedosyasi/beton/betongenel/betonunbilesenleri.htm>
- [43]. Serap Alp, 2004. İstanbul ticaret odası, Kum, Kil Ve Taş Ocakları Sektör Raporu.
- [44]. TS EN 706 Kitapçığı, TSE, Ankara.
- [45]. Erdoğan, T.Y., Beton, 2003, ODTU Geliştirme Vakfı Yayın ve İletişim Şti., Ankara, Pp: 130-160.
- [46]. Uyan, M, Akışkanlaştırıcı Katkıların Etkinliği 4. Ulusal Beton Kongresi İstanbul. 30 Ekim- 1 Kasım 1996 S.13 -23.
- [47]. TS EN 1008, 2003. Beton Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki işlemlerden Geri Kazanılan Su da Dahil Olmak Üzere Suyun Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, TSE, Ankara.
- [48]. Kalifa, P., Menneteau, F.D. and Quenard, D., 2000. “Spalling and pore pressure in HPC at high temperatures.” Cement and Concrete Research, 30, p: 1915-1927.

- [49]. Neville, A.M., 2000. "Properties of Concrete", Final Edition, Longman-Essex.
- [50]. Poon et al., 2004 C.S. Poon, Z.H. Shui, L. Lam Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates Construction and Building Materials, 18 (6) (2004), pp. 461–468
- [51]. Wesche, K., 1991, Fly ash in concrete properties and performance, E and FN Spon, London, 169 p.
- [52]. Swanepoel, J.C. and Strydom, C.A., 2002, Utilization of fly ash in a geopolymeric material, Applied Geochemistry, 17, 1143-1148.
- [53]. Shi, C. and Day, R.L., 2001, Comparison of different methods for enhancing reactivity of pozzolans, Cement and Concrete Research, 31, 813-818.
- [54]. Tokyay, M. ve Erdoğan, K., 2003, Cürufur ve cürufur çimentolar, Araştırmaların Gözden Geçirilmesi Raporu, TÇMB Yayını, No. Y97-2, Ankara, 48 s.
- [55]. Hooton, R.D., 2000, Canadian use of ground granulated blast-furnace slag as a supplementary cementing material for enhanced performance of concrete, Canadian Journal of Civil Engineering, 27, 754-760.
- [56]. Bilim, C., 2006, Yüksek fırın cürufu katkısının çimento tabanlı malzemelerde kullanılabilirliği, *Doktora tezi*, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [57]. Monterio, P.J.M., Wang, K., Sposito, G. and Santos, M.C., 1997, Influence of mineral admixtures on the alkali-aggregate reaction, Cement and Concrete Research, 27, 1899-1909.
- [58]. Çakır, Ö., 2006, Yüksek fırın cürufunun betonun ve betonarmenin kalıcılığına (dürabilitesine) etkisi, *Doktora tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [59]. Canbaz, M., 2007, Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürufur harçların özellikleri, *Doktora tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [60]. Yeğinobalı, A., 2003, Silis dumanı ve çimento ile betonda kullanımı, TÇMB Yayını, No. Y01/01, 64 s.
- [61]. Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk, N. ve Yerlikaya, M., 2004, Betonun performansına göre tasarımında yeni gelişmeler, Beton 2004 Hazır Beton Kongresi, 24-57.
- [62]. Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H., Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 2010.
- [63]. Yeğinobalı, A., Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, TÇMB/ARGE/Y01.01, Ankara, 2002.
- [64]. Yüzer, N., Aköz, F., Kızılkant, A. B., "Yüksek Dayanımlı Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisi" Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre, 495-497, İstanbul, 2004.

- [65]. Poon, C.S., Azhar, S., Anson, M. ve Wong, Y.L., “Comparison of the Strength and Durability Performance of Normal-and High-Strength Pozzolan Concrete at Elevated Temperatures”, Cement and Concrete Research, No: 31, pp.1291-1300, 2001.
- [66]. Türkel, S., Felekoğlu, B., 2004. AĞIRI dozda akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımının taze ve sertleşmiş betonun bazı özellikleri üzerine etkileri, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, İzmir, Ocak 2004, 6 (1), ss. 77-89.
- [67]. Devlet Planlama Teşkilatı, —Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri II (Refrakter Killer ve gıferton-Manyezit-Dolomit-Olivin-Zirkondisten, Sillimanit, Andaluzit) Çalışma Grubu Raporu **DPT: 2612—ÖİK: 623**, Ankara, 69-84 (2001).
- [68]. Devlet Planlama Teşkilatı, 1995, Madencilik Özel İhtisas komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu (Seramik-Refrakter-Cam Hammaddeleri) Çalışma Grubu Raporu Cilt 2 Refrakter Killer ve gıferton Magnezit Disten, Andaluzit, Sillimanit, Dolomit, Olivinl, **DPT: 2418—ÖİK: 477**, Ankara, 173-188.
- [69]. Kanarya, A., 2010, Olivin Kalıp Kumlarının Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [70]. Acar, B., 2003, Olivinin sanayiye yönelik kullanım özelliklerinin tespiti: Çayırbağı (Konya) ve Kızıldağ (Akseki) olivinleril, yüksek lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-7,20-24.
- [71]. Çevik, E., 2006, Topuk Köyü ve Civarındaki(Orhaneli,Bursa) Dünitlerin Mineralojik ve Jeokimyasal Özellikleri Olivin Açısından Endüstriyel Kullanımının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fenbilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [72]. Gültekin, A. H., Örgün, Y., 2003. ŞE-TAT Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. adına yapılan ultrabazik kayaçların (Bursa-Orhaneli) olivin içerik ve dağılımlarını gösterir rapor. İTÜ Maden Fakültesi Vakfı İktisadi İşletmeleri, İstanbul.
- [73]. DPT Olivin Raporu, 1995, Madencilik özel ihtisas komisyonu endüstriyel hammaddeler alt komisyonu: seramik-refrakter-cam ham maddeleri çalışma grubu raporu, Ankara.
- [74]. Williams, D.J., 1971. Polymer Science and Engineering. Prentice Hall Int. Series, New York.
- [75]. Yalçın, F., 1998, *Polimer Emdirilmiş Betonun Bazı Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sivas.
- [76]. Akkoyalı, D., 1993; Polimer Ders Notları. O.D.T.Ü, Ankara.
- [77]. Akman, M. S., 1990, Yapı Malzemeleri, 2.Baskı, İTÜ, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [78]. Vlack L.H. Van., 1992, Malzeme Bilimine Giriş, (Çeviren R.A Safoğlu), Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- [79]. <http://www.niseboya.com.tr/yazilar/epoksi-nedir/>

- [80]. Rosato, Donald, V., Rosato, Matthew V. 2004, Rosato, Dominick V. Plastik Ürün Malzeme ve Süreç Seçimi El Kitabı, Elsevier, ISBN 978-1-85617-431-2, ss:85.
- [81]. Ünal, O., 2012, Yapı Malzemeleri Ders Notları, Isparta ss:1-9.
- [82]. <http://silikon.nedir.com/#ixzz2wEGTQ9v>
- [83]. http://makinecim.com/bilgi_1771_AMINOLAR-UREA---MELAMIN
- [84]. <http://www.ykmakina.com.tr/teknik-blgiler/kimya-bilgileri/plastifiyanlar.html>
- [85]. Megep,2008. Kimya Teknolojisi, Pigmentler, Ankara
- [86]. Billmeyer, F.W.Jr., 1987. Textbook of Polymer Science. Second Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, 598 pp.
- [87]. Rio, A., Cernia, E.M., 1974. Polyblends Of Cement Concrete And Organic Polymers. J. Polymer Science, Macromolecular Rev., 9, 127-163.
- [88]. Hollaway L., “Polymer and Polymer Composites for Civil and Structural” Engineering, Blackie Academic and Professional, Glasgow,(1993).
- [89]. Ohama Y., “New Developments and Environmental Issues in Concrete-Polymers Composites, 8th ICPIG Oostende-Belgium, pp 27 July 3-5 (1995).
- [90]. Solomatov, V.I., 1967. Polymer Cement Concretes and Polymer Concretes. United States, Atomic Energy Commission, Division of Technical Information, Translation Series, AEC-tr-7147.
- [91]. Swamy, R.N., 1979. Review, Polymer reinforcement of cement systems, Part Polymer impregnated concrete. J. Materials Science, 14, 1521-1553.
- [92]. Eash, R.D., Shafer, H.H., 1975. Reactions of Polymer Latexes with Portland Cement Concrete. Polymer Concrete, Transport Research Board, National Research Council, Publication No. 542, pp.1-8.
- [93]. Steinberg, M., Dikeou, J.T., Kukacka, L.E., Backstrom, J.E., Colombo, P., Rubenstein, S., Kelsch, J.J., Manowitz, B., 1968. First Topical Report, BNL 50134 (T-509).
- [94]. Steinberg, M., Dikeou, J.T., Kukacka, L.E., Backstrom, J.E., Colombo, P., Hickey, K.B., Auskern, A., Rubenstein, S., Manowitz, B., Jones, C.W., 1969. Second Topical Report, BNL 50218 (T-560).
- [95]. Dikeou, J.T., Steinberg, M., Cowan, W.C., Kukacka, L.E., Depuy, G.W., Auskern, A., Smoak, W.G., Colombo, P., Wallace, G.B., Hendrie, J.M., Manowitz, B., 1971. Third Topical Report, USBR REC-ERC- 71-6 and BNL 50275 (T-602).
- [96]. Dikeou, J.T., Steinberg, M., Cowan, W.C., Kukacka, L.E., Depuy, G.W., Auskern, A., Smoak, W.G., Colombo, P., Wallace, G.B., Hendrie, J.M., Manowitz, B., 1972. Fourth Topical Report, USBR REC-ERC-72-10 and BNL 50328.

- [97]. Kukacka, L.E., Depuy, G.W., Auskern, A., Causey, F.E., Colombo, P., Cowan, W.C., Romano, A., Lockman, W.T., Steinberg, M., Smoak, W.G., 1973. Fifth Topical Report, BNL 50390 (TID4500) and USBR REC-ERC-73-12.
- [98]. Auskern, A., Horn, W., 1973. Capillary Porosity In Hardened Cement Paste. J. of Testing and Evaluation, 1, 74-79.
- [99]. Steinberg, M., 1973. Concrete Polymer Materials and its World Wide Development. polymer in Concrete, American Concrete Institute, Publication SP-40, pp.1-15.
- [100]. Hastrup, K., Radjy, F., Bach, L., 1975. Polymers in Concrete. Proceedings of the First International Symposium, Concrete Society, London, p. 43.
- [101]. ACI 1993, Manual of Concrete Practice, Part-5.
- [102]. D.W., Fowler, 1995, "Applications of Polymer Concrete", Department of Civil Engineering, The University of Texas at Austin, USA, 8th. Congress ICPIC Oostende (Belgium), pp 13 July 3-5.
- [103]. TS EN 197-1, 2002, Çimento- Bölüm 1: *Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [104]. TS EN 12390-3, 2003, *Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [105]. Erdoğan, T. Y., 2003, *Beton*, ODTÜ Geliştirme vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
- [106]. ASTM C 597, 1994, *Standard Test Method For Pulse Velocity Through Concrete*, Annual Book of ASTM Standards.
- [107]. H, Tanyıldızı., A, Coşkun., 2007, *Hafif Betonun Basınç Dayanımı ve Yüzey Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi*, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları.
- [108]. A, Coşkun., 2013, *Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özellikleri Ve Aderans Dayanımı Üzerine Agrega Tipinin Etkisi*, Doktora tezi, Fen bilimleri enstitüsü, Fırat üniversitesi, Elazığ.
- [109]. Almussalam, A.A., Beshr, H., Maslehuddin, M. and Al-Moudi, O.S.B., 2004. Effect Of Silica Fume On The Mechanical Properties Of Low Quality Coarse Aggregate Concrete, Cement and Concrete Composites, No. 26, 891-900.
- [110]. Khatri, R.P. and Sirivivathananon V., 1995. Effect Of Different Supplementary Cementations Materials On Mechanical Properties Of High Performance Concrete, Cement Concrete Research, No. 25, 209-220.
- [111]. Tanyıldızı, H., 2000., *Beton Tipi ve Donatı Boyutlarının Beton Ve Çelik Yüzeyler Arası Dayanıma Etkisinin Kür Şartları Altında İncelenmesi*, Doktora tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- [112]. Tasdemir, C., 2003. Combined Effects Of Mineral Admixtures And Curing Conditions On The Sorptivity Coefficient Of Concrete, Cement and Concrete Research, No. 33, 1637–1642.
- [113]. Türk, K., Karataş, M., Ulucan, Z.U., 2008. Farklı Oranlarda Silis Dumanı İkameli Kendiliğinden Sıkışan Betonun Mühendislik Özellikleri, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 20 (1), ss. 165-174.
- [114]. Chandra, S., Flaozin, P., 1989, Interaction of Polymer With Calcium Hydroxide and Calcium Trisilicate, Proc. 3rd. Intern Canf. On Superplastizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Ottawa, ACI Special Publication SP-119, Detroit, pp.263-272.
- [115]. Akman, S, M., Beton Niteliğini Yükseltmek Amacı İle Polimerlerin Kullanılması, İTÜ, İstanbul.

10. ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Elazığ'da doğdu. İlkokul eğitimini, orta okul ve lise eğitimini Elazığ'da tamamladı. 2009 yılında Fırat Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümünden mezun oldu ve 2010 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalında tezli yüksek lisansa başladı ve yüksek lisansa devam etmektedir. 1 adet ulusal dergide yayınlanmış, 4 adet ulusal kongrelerde ve 1 adet uluslararası kongrede sunulmuş toplam 6 adet yayın bulunmaktadır.

1. **M. ŞAHİN**, H. TANYILDIZI, A.COŞKUN., Silis Dumanı İçeren Polimer Emdirilmiş Kendiliğinden Yerleşen Betonun Basınç Dayanımı Ve Ultrases Hızının Araştırılması, Çimento ve Beton Dünyası, 2013.
2. **M. ŞAHİN**, H. TANYILDIZI, A.COŞKUN, Y. YONAR., Hiper Akışkanlaştırıcı Oranının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze Haldeki Özelliklerine Etkisi, Yapı Kimyasalları Kongresi, Ankara, 2013.
3. **M. ŞAHİN**, A.COŞKUN, H. TANYILDIZI, Y. YONAR., Uçucu Kül Katkılı Polimer Emdirilmiş Kendiliğinden Yerleşen Betonun Basınç Dayanımı Ve Ultrasonik Ses Geçirgenliğinin Araştırılması, BETON 2013 Kongresi, 2013.
4. Y.YONAR, H.TANYILDIZI, **M.ŞAHİN**., Yüksek Sıcaklığa Maruz Kalmış Betonun Polimer Emdirilerek Basınç Dayanımının Ve Ultrases Hızının İncelenmesi, BETON 2013 Kongresi, 2013.
5. **ŞAHİN M.**, TANYILDIZI H., YONAR Y., The Investigation of Freezing-Thawing Resistance on The Polymer Impregnated Concretes Containing Silica Fume'', 7th Asian Symposium on Polymers in Concrete, (2012), pp:681-89.
6. **M. ŞAHİN**, H. TANYILDIZI., Vişne Çürüğü Mermer Tozu Katkılı Betonun Basınç Dayanımına Donma Çözülme Etkisinin Belirlenmesi, Hazır Beton Kongresi, 2011.

Murat ŞAHİN
muratsahin@firat.edu.tr