

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**POLİMERLE İYİLEŞTİRİLMİŞ HARÇLARIN FARKLI KÜR KOŞULLARI VE  
YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ ALTINDA MEKANİK DAVRANIŞLARININ  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yusuf KAYA**

**HAZİRAN 2014**

**GÜMÜŞHANE**

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**POLİMERLE İYİLEŞTİRİLMİŞ HARÇLARIN FARKLI KÜR KOŞULLARI VE  
YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ ALTINDA MEKANİK DAVRANIŞLARININ  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Yusuf KAYA**

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**”İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”**  
**Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10.06.2014**  
**Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 19.06.2014**

**HAZİRAN 2014**



## KABUL ve ONAY



Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR danışmanlığında Yusuf KAYA tarafından hazırlanan **“POLİMERLE İYİLEŞTİRİLMİŞ HARÇLARIN FARKLI KÜR KOŞULLARI VE YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ ALTINDA MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

:

Doç. Dr. Şükrü YETGİN

Üye (Danışman)

:

Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR

Üye

:

Yrd. Doç. Dr. Alaaddin VURAL

ONAY

Bu tez ...../...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. İbrahim TURAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu çalışma Gümüşhane Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 13.F5110.02

**ÖZET**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**POLİMERLE İYİLEŞTİRİLMİŞ HARÇLARIN FARKLI KÜR KOŞULLARI VE  
YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİ ALTINDA MEKANİK DAVRANIŞLARININ  
İNCELENMESİ**

Yusuf KAYA

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR

2014, 123 sayfa

Polimer teknolojisindeki gelişmelerle ucuzlayan ve yaygınlaşan polimerler, günümüzde çeşitli yapısal uygulamalarda da oldukça sık kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Polimer katkıları, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmektedirler. Ayrıca polimer katkıları harçların donma-çözülme direnci, asit direnci, sülfat direnci gibi dayanıklılık özelliklerini de artırarak daha uzun ömürlü bir beton elde edilmesini sağlamaktadır. Bununla birlikte yüksek ısı etkisinde ergiyerek betona kavlanma gibi zararlı etkilere karşı katkı sağlaması beklenir. Öte yandan, polimer malzemenin polimerleşebilmesi için kuru ortama, betonun ise hidrasyonu için suya ihtiyaç duyması bu kompozitler için önemli bir sorunu teşkil etmektedir.

Bu bağlamda oluşan bu çalışma iki ana kısımdan oluşur. Birinci kısmında farklı koşullarda kür edilen polimerle iyileştirilmiş harçların mekanik ve fiziksel özellikleri incelenerek en uygun kür şartı belirlenmiştir. Bunun için 3 farklı polimer (MAD (Modifiyeli Akrilik Dispersiyon), PÜ (Poliüretan), SBR (Stiren Butadiyen Kauçuk)) çimento harçlarına 5 farklı oranda (%0, %5, %10, %15, %20) katılarak numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan numuneler, 3 farklı kür (1. Kür: Günde iki kez dışarıda sulama, 2. Kür: 16 saat suda 8 saat dışarıda, 3. Kür: 1 gün suda bir gün dışarıda) koşulunda 28 gün boyunca kür edildikten sonra mekanik özelliklerinin değişimi gözlemlenmiştir. İkinci kısmında ise birinci kısımda belirlenen kür koşulu ile kür edilen numunelerin yüksek ısı dirençleri gözlemlenmiştir. Yüksek ısı deneyleri kapsamında mevcut 3 farklı polimer (MAD, PÜ, SBR) malzeme çimento hamurlarına 5 farklı katkı oranında (%0, %5, %10, %15, %20) katılarak numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra bu numuneler 28 gün boyunca birinci kısımda belirlenen kür koşulu ile kür edildikten sonra 4 farklı sıcaklığa (21 °C, 100 °C, 200 °C ve 250 °C) tabi tutulmuştur. Belirtilen sıcaklıklara bir saat maruz kalan numunelerin mekanik özelliklerinin değişimi gözlemlenmiştir. Ayrıca polimerle iyileştirilmiş harçların fiziksel özelliklerinin değişimini incelemek için petrografik özellikleri, su emme, su işleme derinliği ve birim kütleleri de belirlenmiştir.

Çalışmadan elde edilen en önemli bulgular özetlenecek olunursa; öncelikle fiziksel özellikler dikkate alındığında, polimer katkıların numunelerin su emme oranını ve su işleme derinliğini önemli ölçüde düşürdüğü tespit edilmiştir. Çalışmanın birinci kısmından elde edilen sonuçlar doğrultusunda polimer katkılı taze harç numunelerinin su ile teması arttıkça mekanik özelliklerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Bu sonuç doğrultusunda en uygun kür koşulu su ile temasın en az olduğu *1. Kür Koşulu* olarak belirlenmiştir. Genel olarak polimerle iyileştirilme harcın basınç dayanımını azaltırken eğilme dayanımı ve yüksek sıcaklık direncini olumlu yönde etkilemiştir. Sonuç olarak, kullanılan polimer türlerinden SBR ve MAD harçların özellikleri üzerinde olumlu bir etki gösterirken, PÜ ise tüm şartlar altında olumsuz sonuçlar göstermiştir. En yüksek sıcaklık (250 °C) için en iyi performansı SBR polimeri göstermiştir. 250 °C sıcaklığa maruz kalması sonucunda katkısız numunelerle kıyaslandığında %15 SBR katkılı harçların, eğilme dayanımı %42, sehimi %15, basınç dayanımı %21 daha yüksek çıkararak oldukça olumlu sonuçlar vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kür Koşulu, Mekanik Özellikler, Polimerler, Polimerle İyileştirilmiş Çimento Hamuru, Yüksek sıcaklık direnci.

**ABSTRACT**  
**MS THESIS**

**INVESTIGATION OF MECHANICAL BEHAVIOR OF THE POLYMER  
MODIFIED MORTARS UNDER DIFFERENT CURE CONDITIONS AND HIGH  
TEMPERATURE EFFECT**

Yusuf KAYA

Gümüşhane University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÇAVDAR

2014, 123 pages

Polymers getting cheaper and popular nowadays by developing polymer technology have been started to find widely using area in structural application. Polymer additives enhance physical and mechanical properties of the concrete. In addition, polymer additives contribute concrete for durability by increasing resistance of concrete against such as acid attack, freeze-thaw cycles and sulphate attacks. In addition, it is supposed to contribute to concrete by melting under high temperature against detrimental effects like spalling. However, due to fact that polymers needs dry condition for its polymerization and concrete needs wet condition for its hydration occurs important problem for these composites.

This study was constituted from two main parts. In the first part of the study, the optimum cure conditions of polymer modified cement mortars are determined by

investigating mechanical and physical properties of specimens cured under different condition. For this objective, 3 different polymer additives (MAD (Modified Acrylic Dispersion), PU (Polyurethane), SBR (Stiren Butadien Rubber)) are added to mortars in five different ratios (0% (reference), 5%, 10%, 15% and 20%) by cement mass. Then, these polymers are cured under 3 different conditions (1. Cure condition: Watering twice a day, 2. Cure condition: 16 hours in the water-8 hours out, 3. Cure condition: One day in the water-one day out) during 28 days, and the mechanical properties of mortars is investigated. In the second part of the study, the mortars are cured under the cure condition ascertained in first section during 28 days and high temperature resistance is investigated. The mortars are prepared with 3 different polymers (SBR, MAD and PU) in 5 different ratios (0%, 5%, 10%, 15% and 20%) for high temperature tests. Then, these mortars are cure with ascertained cure condition during 28 days and the mortars are exposed 4 different temperatures (21 °C, 100 °C, 200 °C and 250 °C). Changes in mechanical properties of mortars exposed to stated temperatures for an hour are investigated. Besides, water absorption, depth of penetration of water under pressure, specific mass and petrographic properties of mortars are investigated for observing changes in physical properties of polymer modified mortars.

The most important results found from the study are summarized; when considering the physical properties, polymer additives reduced water absorption and depth of penetration of water under pressure of mortars dramatically. In the first part of the study, it is investigated that mechanical properties of polymer modified mortars decreased while increasing its water curing. According to this result, the optimum cure condition is determined as *1. Cure Condition*. In general, polymer modification decreases a little the compressive strength of the mortar, however increases the flexural strength and high temperature resistance of the mortars importantly. As a result, SBR and MAD have positive effects on properties of mortars, on the other hand, PU shows negative effects for all conditions. The mortars modified with SBR polymer show the best performance for the highest temperature (250 °C). For the highest temperature, when SBR is used in 15% additive ratio, the flexural strengths (42%), deflections (15%) and compressive strengths (21%) of the samples increase according to control sample.

**Keywords:** Cure Condition, Mechanical Properties, Polymers, Polymer Modified Mortars, High Temperature Resistance.

## TEŞEKKÜR

“Polimerle İyileştirilmiş Harçların Farklı Kür Koşulları ve Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi” adlı bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Uygulanan yöntemler ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda bilim dünyasına katkılar sağlayacağına inandığım bu çalışmanın, en meşgul olduğu dönemlerde bile tez çalışmama zaman ayıran, planlanmasından yazımına kadar geçen her aşamada değerli bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, manevi desteğini ve değerli vakitlerini benden esirgemeyen, iyi niyeti, hoşgörüsü, güler yüzü ile çalışmalarına destek olarak yön veren kıymetli Danışman Hocam, Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR’a şükran ve saygılarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarım boyunca desteklerini gördüğüm, Yunus Emre GENÇ, Nuh BAYLAN, Furkan KESKİNOĞLU, Mehmet SARIŞAHİN, İskender NAİPOĞLU ve ayrıca malzeme temini konusunda bize yardımcı olan Gümüşhane Çimento Fabrikası, SİKA ve BASF kuruluşlarına ve değerli iş arkadaşım Arş. Gör. Sedat SEVİN’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm yaşamım süresince, bana güvenen ve maddi-manevi desteğini eksik etmeyerek her zaman yanımda olan annem Cemile KAYA ve babam Mustafa KAYA’ya, kardeşlerim Yunus, Bahar, Burcu ve Uğur KAYA’ya ve arkadaşım Cansu UYSAL’a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Yusuf KAYA  
Gümüşhane, 2014



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET .....	III
ABSTRACT .....	V
TEŞEKKÜR .....	VII
İÇİNDEKİLER .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XI
TABLolar DİZİNİ .....	XIV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	XV
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	3
1.3. Polimerler .....	4
1.3.1. Polimerlerin Sınıflandırılması .....	5
1.3.1.1. Elde Edilişlerine Yöntemine Göre Polimerler .....	5
1.3.1.2. Kimyasal Bileşimlerine Göre Polimerler .....	5
1.3.1.3. Monomer Çeşitlerine Göre Polimerler .....	6
1.3.1.4. Makromolekül Zincirinin Şekline Göre Polimerler .....	7
1.3.1.5. Sentez Yöntemlerine Göre Polimerler .....	8
1.4. Polimerleşme .....	8
1.5. Polimerlerin Özellikleri .....	9
1.6. Polimerlerin Yanıcılığı .....	9
1.7. Polimer Malzemenin Kullanım Yerleri .....	10
1.8. İnşaat Mühendisliği Alanında Polimerler .....	10
1.9. Yapı Malzemelerinde Polimerlerin Kullanılmasının Tarihçesi .....	11
1.10. Polimer İçeren Betonlar .....	12
1.10.1. Polimer Beton .....	13
1.10.2. Polimerle İyileştirilmiş Betonlar .....	15
1.10.3. Polimer Emdirilmiş Beton .....	20
1.11. Beton ve Çimento Harçlarında Kullanılan Polimer Türleri .....	22
1.11.1. Stiren Bütadiyen Kauçuğu .....	22
1.11.2. Poliüretan .....	24
1.11.3. Polikarboksilat Stiren Bütadiyen Kauçuğu .....	24
1.11.4. Modifiyeli Akrilik Dispersiyonu .....	25
1.11.5. Epoksi .....	26
1.11.6. Polimetil Metakrilat .....	28

1.12.	Polimer Katkısının Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi.....	28
1.12.1.	Polimer Katkısının Betonların Basınç Dayanımına Etkisi .....	28
1.12.2.	Polimer Katkısının Betonların Eğilme Dayanımına Etkisi.....	29
1.12.3.	Polimer Katkısının Betonların Sülfat Direncine Etkisi .....	30
1.12.4.	Polimer Katkısının Betonların Porozitesine Etkisi .....	31
1.12.5.	Polimer Katkısının Betonların Su Geçirimsizliğine Etkisi .....	31
1.13.	Yüksek Sıcaklığın Betonun Isıl ve Fiziksel Özelliklerine Etkileri.....	32
1.13.1.	Özgül Isı .....	32
1.13.2.	Isı İletim Katsayısı.....	32
1.13.3.	Isı Yayınlamı .....	33
1.13.4.	Genleşme Katsayısı .....	33
1.13.5.	Isı Şoku Parametresi .....	34
1.13.6.	Buhar Difüzyonu .....	34
1.13.7.	Birim Hacim Ağırlığı.....	35
1.13.8.	Renk.....	35
1.14.	Yüksek Sıcaklığın Betonun Mekanik Özelliklerine Etkileri .....	35
1.14.1.	Basınç Dayanımı.....	36
1.14.2.	Çekme Dayanımı .....	38
1.14.3.	Elastisite Modülü .....	39
1.14.4.	Eğilme Dayanımı .....	40
1.15.	Polimer Katkısının, Yüksek Isıya Maruz Betonların Özelliklerine Etkisi .....	40
2.	MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DENEYSSEL YÖNTEM.....	42
2.1.	Deney Yönergesi .....	42
2.2.	Yöntem .....	44
2.2.1.	Çimento Harcının Hazırlanması .....	44
2.2.2.	Numunelere Uygulanan Farklı Kür Koşulları .....	46
2.3.	Deneylerin Uygulanması .....	46
2.3.1.	Eğilme Dayanımı Deneyi .....	46
2.3.2.	Sehim Ölçümü .....	47
2.3.3.	Basınç Dayanımı Deneyi .....	48
2.3.4.	Numunelerin Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılması .....	49
2.3.5.	Ultrases Hızı Deneyi.....	50
2.3.6.	Numune Kütle Değişimlerinin Tespiti .....	51
2.3.7.	Su İşleme Derinliği Tayini Deneyi .....	52
2.3.8.	İnce Kesit Örneklerinin Hazırlanması ve İncelenmesi .....	53
2.4.	Malzeme Özellikleri .....	54

2.4.1	Portland Çimentosu .....	54
2.4.2.	Standart Kum .....	54
2.4.3.	Karışım Suyu .....	55
2.4.4.	Polimer Katkılar .....	55
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER .....	58
3.1.	Polimer Katkısının, Harçların Fiziksel Özelliklerine Etkisi .....	58
3.1.1.	Polimerle İyileştirilmiş Çimento Harçlarının Petrografik Özellikleri .....	58
3.1.2.	Polimer Katkısının, Harçların Birim Kütlesine Etkisi .....	58
3.1.3.	Polimer Katkısının, Harçların Su Emme Özelliklerine Etkisi .....	60
3.1.4.	Polimer Katkısının, Harçların Su İşleme Derinliğine Etkisi .....	62
3.2.	En Uygun Kür Şartının Belirlenmesi .....	63
3.2.1.	Kür Şartının Polimerle İyileştirilmiş Harçların Mekanik Özelliklerine .....	64
3.2.1.1	Kür Şartı İle Eğilme Dayanımı Arasındaki İlişki .....	64
3.2.1.2.	Kür Şartı İle Sehım Değeri Arasındaki İlişki .....	69
3.2.1.3.	Kür Şartı İle Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki .....	75
3.3.	Polimer Katkısının, Harçların Yüksek sıcaklık direncine Etkisi .....	81
3.3.1.	Polimer Modifiyeli Çimento Harçlarının Petrografik Özellikleri .....	81
3.3.2.	Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Polimerle İyileştirilmiş Harçların Eğilme Dayanımının Değışimi .....	84
3.3.3.	Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Polimerle İyileştirilmiş Harçların Sehım Değeri Arasındaki İlişki .....	92
3.3.4.	Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Polimerle İyileştirilmiş Harçların Basınç Dayanımının Değışimi .....	99
3.3.5.	Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Polimerle İyileştirilmiş Harçların Ultrases Hızı Değışimi .....	105
4.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	112
5.	KAYNAKÇA .....	108
	ÖZGEÇMİŞ	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1.1 Polietilen Atomsal Dizilişi.....	7
Şekil 1.2 Doğrusal polimer dizilişi .....	8
Şekil 1.3 Dallanmış polimer dizilişi .....	8
Şekil 1.4 Çapraz bağlı (ağ) polimer dizilişi .....	8
Şekil 1.5 Etilenin polimerleşme mekanizması.....	9
Şekil 1.6 Polimer betonda kullanılan sıvı reçinelerin sınıflandırılması.....	16
Şekil 1.7 Polimerle iyileştirilmiş betonlar için polimer maddelerin sınıflandırılması ....	18
Şekil 1.8 Betonda lateksin iki farklı kullanımının yük-deplasman davranışına etkisi.....	19
Şekil 1.9 Polimerle iyileştirilmiş betonlarda polimer film oluşumu .....	20
Şekil 1.10 Polimer emdirilmiş betonun gerilme–deformasyon davranışı .....	23
Şekil 1.11 Sıcaklık-kalan basınç dayanımı ilişkisi .....	39
Şekil 1.12 Betonun elastisite modülünün sıcaklıkla değişimi .....	40
Şekil 2.1 Birinci kısım deney yönerge şeması.....	43
Şekil 2.2 İkinci kısım deney yönerge şeması.....	44
Şekil 2.3 Özel tasarım çimento harç karıştırıcısı .....	45
Şekil 2.4 Sıkıştırıldıktan sonra yüzeyi düzeltilmiş harç örneği .....	45
Şekil 2.5 Eğilme dayanımının ölçülmesi .....	47
Şekil 2.6 Eğilme deneyinde sehim ölçümü.....	48
Şekil 2.7 Basınç dayanımının ölçülmesi.....	48
Şekil 2.8 Numunelerin etüve yerleştirilmesi.....	49
Şekil 2.9 Kullanılan etüvün Zaman-Sıcaklık diyagramı.....	50
Şekil 2.10 Ultrasonik test cihazı .....	51
Şekil 2.11 Su işleme derinliği deneyi .....	53
Şekil 2.12 Su ilerleme miktarının belirlenmesi .....	53
Şekil 2.13 Kullanılan polimer katkı malzemeleri .....	56
Şekil 3.1 Numunelerin ince kesit görüntüsü.....	60
Şekil 3.2 Polimer katkı malzemesi ile birim kütle arasındaki ilişki .....	62
Şekil 3.3 Polimer katkı oranı ile su emme özelliği arasındaki ilişki.....	63
Şekil 3.4 Polimer katkı oranı ile su işleme derinliği değerleri arasındaki ilişki .....	65
Şekil 3.5 1.Kür koşulunda katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki .....	67
Şekil 3.6 2. Kür koşulunda katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki .....	68

Şekil 3.7	3. Kür koşulunda katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki .....	69
Şekil 3.8	Kür koşulları ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının eğilme dayanımı arasındaki ilişki .....	70
Şekil 3.9	1. Kür koşulunda katkı oranı ile sehım değeri arasındaki ilişki .....	72
Şekil 3.10	2. Kür koşulunda katkı oranı ile sehım değeri arasındaki ilişki .....	74
Şekil 3.11	3. Kür koşulunda katkı oranı ile sehım değeri arasındaki ilişki .....	75
Şekil 3.12	Kür şartları ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının sehım değerleri arasındaki ilişki .....	76
Şekil 3.13	1. Kür koşulunda katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	78
Şekil 3.14	2. Kür koşulunda katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	80
Şekil 3.15	3. Kür koşulunda katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	81
Şekil 3.16	Kür şartları ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının basınç dayanımları arasındaki ilişki.....	82
Şekil 3.17.	a)Yüksek sıcaklıklara maruz kalan katkısız harçların ince kesit görüntüleri ...	84
Şekil 3.17.	b)Yüksek sıcaklıklara maruz kalan SBR katkılı harçların ince kesit görüntüleri .....	84
Şekil 3.17.	c)Yüksek sıcaklıklara maruz kalan PU katkılı harçların ince kesit görüntüleri	84
Şekil 3.17.	d)Yüksek sıcaklıklara maruz kalan MAD katkılı harçların ince kesit görüntüleri .....	85
Şekil 3.18	Referans durumu için katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki .....	88
Şekil 3.19	100 °C için katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki.....	89
Şekil 3.20	200 °C için katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki.....	90
Şekil 3.21	250 °C için katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki.....	91
Şekil 3.22	Sıcaklık ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının eğilme dayanımları arasındaki ilişki.....	93
Şekil 3.23	Referans durumu için katkı oranı ile sehım arasındaki ilişki .....	95
Şekil 3.24	100 °C için katkı oranı ile sehım arasındaki ilişki .....	96
Şekil 3.25	200 °C için katkı oranı ile sehım arasındaki ilişki .....	97
Şekil 3.26	250 °C için katkı oranı ile sehım arasındaki ilişki .....	98
Şekil 3.27	Sıcaklık ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının sehım değerleri arasındaki ilişki.....	100
Şekil 3.28	Referans durumu için katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	102
Şekil 3.29	100 °C için katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	103
Şekil 3.30	200 °C için katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	104
Şekil 3.31	250 °C için katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	106

Şekil 3.32	Sıcaklık ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	107
Şekil 3.33	Referans durumu için katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	109
Şekil 3.34	100 °C için polimer katkı oranı ile ultrases hızı arasındaki ilişki.....	110
Şekil 3.35	200 °C için polimer katkı oranı ile ultrases hızı arasındaki ilişki.....	111
Şekil 3.36	250 °C için polimer katkı oranı ile ultrases hızı arasındaki ilişki.....	112
Şekil 3.37	Sıcaklık ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının ultrases geçiş hızı değerleri arasındaki ilişki.....	113

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 Polimer betonların özellikleri .....	15
Tablo 1.2 Suyun polimerle iyileştirilmiş harçların dayanımına etkisi .....	21
Tablo 1.3 SBR polimerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	24
Tablo 1.4 Poliüretanın teknik özellikleri .....	25
Tablo 1.5 PSBR'nin teknik özellikleri .....	25
Tablo 1.6 MAD'nin teknik özellikleri .....	26
Tablo 1.7 Polimetil Metakrilatın teknik özellikleri .....	29
Tablo 2.1 Polimer katkılı numunelerin karışım tasarımı .....	44
Tablo 2.2 CEM 42.5 R tipi çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri .....	54
Tablo 2.3 CEN referans kumunun tanecik büyüklüğü dağılımı .....	55
Tablo 2.4 Kullanılan polimerlere ait teknik özellikler .....	55
Tablo 3.1 Polimer katkılı numunelerin birim kütle değerleri .....	61
Tablo 3.2 Polimer katkılı numunelerin su emme değerleri .....	63
Tablo 3.3 Polimer katkılı numunelerin su işleme derinliği değerleri .....	64
Tablo 3.4 Polimerle iyileştirilmiş harçlarda, kür koşullarının eğilme dayanımına etkisi ..	66
Tablo 3.5 Polimerle iyileştirilmiş harçlarda, kür koşullarının sehım değerine etkisi .....	71
Tablo 3.6 Polimerle iyileştirilmiş harçlarda, kür koşullarının basınç dayanımına etkisi ..	77
Tablo 3.7 Polimerle iyileştirilmiş harçlarda yüksek sıcaklığın eğilme dayanımına etkisi ..	87
Tablo 3.8 Polimerle iyileştirilmiş harçlarda yüksek sıcaklığın sehım değerine etkisi .....	94
Tablo 3.9 Polimerle iyileştirilmiş harçlarda yüksek sıcaklığın basınç dayanımına etkisi .....	101
Tablo 3.10 Polimerle iyileştirilmiş harçlarda yüksek sıcaklığın ultrases geçiş hızına etkisi .....	108

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$B$	: Prizma Kare Kesitinin Kenar Uzunluğu
$C$	: Beton Harcı Tasarımında Kullanılan Çimento Miktarı
$F_c$	: Kırılma Anındaki En Büyük Yük Kuvveti
$F_f$	: Prizmanın Kırıldığı Anda Ortasına Uygulanan En Büyük Yük Kuvveti
$L$	: Mesnet Silindirleri Arasındaki Uzaklık
$m_a$	: Numunenin Havadaki Kütlesi
$m_{st}$	: Numune Kefesinin Görünür Kütlesi
$m_w$	: Suya Batırılmış Numune Kütlesi
$R_c$	: Basınç Dayanımı
$R_f$	: Eğilme Dayanımı
$V$	: Numunenin Hacmi
$W$	: Beton Harcı Tasarımında Kullanılan Su Miktarı
$\rho_c$	: Numunenin Birim Kütlesi
SBR	: Stiren Butadien Rubber
PSBR	: Polykarboksilate Stiren Butadien Rubber
MAD	: Modifiye Edilmiş Akrilik Dispersiyon
PU	: Poliüretan
SAC	: Stiren Acrylic Co-polymer
PAE	: Poliakrilik Ester
VAE	: Vinil Asetat Etilen
UP	: Doymamış Polyester
MMA	: Metil Metakrilat
PVAC	: Polivinil Asetat
PMMA	: Polimetil Metakrilat



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Betonarme yapıların en önemli bileşeni olan beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde katkı maddesinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamlı zamanla çimentonun hidrasyonu sebebiyle bulunduğu kalıbın şeklini alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir (Durmuş ve Bekem, 2010; Durmuş ve Subaşı, 2007). Beton basınç etkisi altında gösterdiği başarımı, eğilme ve çekme kuvvetleri etkisi altında gösterememektedir. Ayrıca yüksek süneklikten yoksundur (ACI 201-2R, 1992). Araştırmacılar, betonun bu mekanik özelliklerini iyileştirebilmek için uzun yıllardan beri kapsamlı çalışmalar yapmaktadır. Bu çabalar doğrultusunda farklı malzemelerle beton ve elemanlarının donatılması uygulamaları yapılmıştır (Çavdar, 2013; 2012; Teker, 2012). Bunlardan biri de betonda polimer malzeme kullanılmasıdır. Polimerler, monomer denen çok sayıda organik molekülün polimerleşme adı verilen kimyasal bir tepkime sonucunda bir zincir yapı oluşturmasıyla meydana gelmektedir. Kimyasal aktivitesi olmayan polimerler, normal betondan daha yüksek basınç ve çekme dayanımlarına sahip olabilmektedirler. Ancak, betona kıyasla elastisite modülleri genellikle daha düşük, sünme deformasyonları ise daha yüksektir. Dolayısıyla betonun zayıf olan çekme dayanımı polimer malzemelerin kullanımıyla iyileştirilebilir. Polimer betonlar 3 ana grupta tanımlanır (Özturan, 2013; Baradan vd. 2012; Metha ve Monteiro, 2006; Neville ve Brooks, 2010).

- Polimer beton (PC): Bağlayıcı olarak sadece polimer kullanılır.
- Polimerle iyileştirilmiş beton (PMC): Karışım suyunun bir kısmı yerine polimer emülsiyonu kullanılır.
- Polimer emdirilmiş beton (PIC): Sertleşmiş betonun boşluklarına polimer emdirilerek üretilir.

Teknik literatürde polimer modifiyeli beton (polymer modified concrete) olarak adlandırılan beton türü bu çalışmada polimerle iyileştirilmiş beton olarak anılacaktır.

Polimerle iyileştirilmiş beton 1920'li, polimer beton 1950'li yıllardan itibaren bilinirken, polimer emdirilmiş betonun 1970'lerden itibaren ticari kullanım imkanı bulmasıyla polimerlerin betonda kullanımı yaygınlık kazanmaya başlamıştır (Ohama,1997;

Fowler, 1999). Polimer betonlarda sadece birkaç saat içinde çok yüksek (140 MPa) basınç dayanımlarına ulaşılırken, polimer emdirilmiş betonlar üstün geçirimsizlikleri sayesinde yüksek dayanıklılığa sahip betonlar oluştururlar (Özturan, 2013; Baradan vd. 2012). Polimerle iyileştirilmiş betonlar da çok iyi aderans özelliği ile bilinirler ve ayrıca çimento bazlı malzemelerin işlenebilirlik, su geçirimsizlik gibi birçok özelliğini iyileştirilebilir (Özturan, 2013; Ohama, 1998; Chandra vd., 1994; Miller, 2005; Ohama, 1995). Polimer betonlar ve polimer emdirilmiş betonlar yüksek malzeme maliyetleri ve uygulama zorlukları nedeniyle daha az kullanılırken, polimerle iyileştirilmiş betonlar sıklıkla kullanılmaktadır. Normal betona kıyasla polimerle iyileştirilmiş betonlar 2-3 kat, polimer emdirilmiş betonlar 3-6 kat ve polimer betonlar ise 8-20 kat daha maliyetlidirler (Mindness ve Young, 1981; Özturan, 2013).

Konut, okul, fabrika, işyeri gibi binalar, köprü, tünel, petrol platformu gibi yapılar servis ömrü süresince çeşitli çevresel etkilere maruz kalmaktadır. Bu etkiler fiziksel, kimyasal, fiziko-kimyasal veya mekanik olabilmektedir. Yapının maruz kalacağı çevresel etki iyi belirlenmeli ve tasarımında dikkate alınmalıdır. Dayanıklılık (durabilite, kalıcılık), yapı malzemelerinin ve yapıların kullanım sırasında hava koşullarına, kimyasal etkenlere, aşınmaya ve diğer yıpratıcı etkenlere karşı direnç gösterebilmesi olarak tanımlanabilir (Baradan vd., 2010; Küçük, 2000; ACI 201-2R, 1992). Yapının işlevini yerine getirebilmesi için yapıda kullanılan betonun, maruz kalacağı etkilere karşı dayanıklılığı yeterli olmalı ve yapının başarımını belirli bir düzeyin altına düşürmemelidir. Bu çevresel etkiler betonun başarımının zamanla azalmasına hatta proje ömründen önce işlevini ve dayanımını tamamen yitirmesine yol açabilmektedir (ACI 201-2R, 1992; Çavdar, 2008; Teker, 2012). Bu nedenlerden dolayı günümüz yapısal tasarımda en az malzeme dayanımları kadar dayanıklılık ölçütlerinin de dikkate alınması kabul görmektedir (Sommerville, 2000).

Yapının maruz kalabileceği, dayanıklılığa olumsuz yönde etkileyen unsurlardan biri de yüksek sıcaklıktır. TS 13501-3 standartına göre yapı malzemelerinin yangına dayanıklılık sınıfları açısından beton, A1 (yanmaz madde) sınıfına girmektedir (TS EN 13501-3, 2009). Betonun termal iletkenliği düşük olduğu için özellikle yüksek sıcaklıktan çok etkilenecek çelik gibi yapı malzemeleri üzerine kaplama malzemesi olarak kullanıldığı bilinmektedir. Ancak yangına veya herhangi bir yüksek sıcaklığa maruz kalma, betonun veya çimento harcının mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir (Teker, 2012). Termal iletkenliğin yavaş olması yapı malzemesinin bünyesinde ısının birikmesine ve dış ortamdaki sıcaklık farklılığı nedeniyle yüzeyde su buharına dönüşerek yüzey

çatlaklarına sebep olmaktadır (Hossain, 2006; Topçu, Demir, 2007). Yüzey çatlakları betonda 200-300 °C'de başlamakta ve sıcaklık yükseldikçe artmaktadır. Bununla beraber dayanıklılığın sağlanabilmesi için beton ve donatı sıcaklığının bu malzemeler için kritik olan sıcaklığa ulaşmaması gerekmektedir (Guise, 1996; Burnaz ve Durmuş, 2004). Sıcaklık 600 °C'ye ulaştığında beton, dayanımının %50'sini, 800 °C'de ise yaklaşık %80'ini kaybettiği bilinmektedir (Çavdar, 2012; 2013; Kızılkant ve Yüzer, 2008; Topçu ve Demir, 2006; Durmuş ve Bekem, 2010). Yapılan bazı çalışmalar (Diab vd., 2013; Yonar vd., 2013; Oussama vd., 2012) göstermiştir ki betonun ısı duraylılığı polimer malzeme kullanılarak geliştirilebilmektedir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalar genellikle polimer malzemeler olan lateks (stiren bütadiyen kauçuk (SBR)) ve polivinil asetat (PVAC) ile ilgilidir. Bununla birlikte, bu çalışmada modifiye edilmiş akrilik dispersiyon (MAD) ve poliüretan (PU) gibi polimerle iyileştirilmiş beton uygulaması için yaygın olmayan başka polimer malzemeler de incelenmiştir.

## **1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Polimer malzeme, polimerle iyileştirilmiş beton ve harçların kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler ile dayanıklılık özelliklerine önemli katkılar sağlamaktadır. Polimerle iyileştirilmiş betonlarda en önemli amaç; polimerlerin, film oluşturarak kimyasal bağlarını oluşturmak için kuru ortama, çimento harcının ise hidrasyon sürecini sağlıklı bir şekilde tamamlayabilmesi için nemli ortama ihtiyaç duymasıdır. Bu iki bileşenden oluşmuş polimerle iyileştirilmiş harçlar için bu iki şartı da sağlayacak uygun bir kür döngüsünün sağlanması önemli bir ihtiyaçtır. Öte yandan, polimerin termoplastiklik özellikleri ve belli bir sıcaklığa kadar dayanabilmeleri, betonda kullanılması halinde betonun yüksek ısı direncini artırmaya yönelik önemli bir ipucunu teşkil etmektedir. Ayrıca polimerlerin yüksek sıcaklıkta erimeleri ve yerlerinde bir miktar fazladan boşluk oluşturmaları, beton içerisinde kavlanmaya sebep olan hacim artışlarını karşılayacak bir hava yastığı görevi üstlenebilir.

Bu çalışmanın amaçları, polimerle iyileştirilmiş harçlar için en uygun kür şartlarının belirlenmesi ve polimer katkısının harçların mekanik ve yüksek sıcaklık direncine sağladığı katkıların belirlenmesidir. Bu amaca yönelik olarak çalışma iki kısımdan oluşmaktadır: Birinci kısımda üç farklı türdeki polimer malzeme, beş farklı

oranda harçlara katılarak 3 farklı kür koşulu altında hazırlanan numunelerin sehim değeri, eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Uygulanan 3 farklı kür koşulu (i) dışarıda sulama, (ii) 16 saat dışarıda 8 saat suda bekletme ve (iii) 1 gün dışarıda 1 gün suda bekletme şeklinde uygulanmıştır. Böylece çimento hamuruna en iyi mekanik özellikler kazandıran en uygun kür koşulu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan polimer malzemeler; SBR, MAD, PU olup, bu malzemeler harçlara çimento kütlelerinin %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında katılmıştır. Böylece farklı kür koşulları altında elde edilen mekanik özellikler sonucunda en uygun kür koşuluna karar verilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise en uygun kür koşulunda ve en iyi mekanik sonucu veren üç farklı oranda hazırlanan numuneler, 4 farklı sıcaklığa (21 °C, 100 °C, 200 °C ve 250 °C) maruz bırakılmış ve mekanik özelliklerinin değişimi gözlemlenmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin ultrases hızı ölçülerek değişim incelenmiştir. Polimerle iyileştirilmiş harçların su geçirimsizliğini incelemek için ise en uygun katkı oranlarında 10cm çapında silindirik numuneler dökülmüş ve polimerlerin su geçirimsizlik üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Ayrıca, su emme ve birim kütle değişimi gibi fiziksel özelliklerinin değişimi de belirlenmiştir.

Tüm bu çalışmaların yanı sıra polimer modifiyeli çimento hamuru örneklerinden alınan numunelerin ince kesit örnekleri hazırlanarak polimerlerin çimento harcı içindeki dağılımı incelenmiştir.

### **1.3. Polimerler**

Polimerler, monomer denilen küçük moleküllerin kovalent bağlarla birbirlerine tekrarlar halinde bağlanmasıyla oluşan çok uzun zincirli moleküllerdir (Saçak, 2002). Bir polimer malzeme, kimyasal olarak birbirine bağlı birçok parça veya birimi içeren bir katı olarak veya başka bir deyişle birbirine bağlanarak bir katı meydana getiren parçalar veya birimler olarak düşünülebilir. Polimerler, en basit tanımıyla çok sayıda aynı veya farklı atomik grupların kimyasal bağlarla az veya çok düzenli bir biçimde bağlanarak oluşturduğu uzun zincirli yüksek molekül kütleli bileşiklerdir. Plastik malzeme olarak da bilinen suni polimerler, son 40-50 yıl içinde büyük gelişme göstererek günümüzde hacim olarak metallerle hemen hemen eşit oranda kullanılmaya başlanmıştır. Bunun başlıca nedenleri; bu malzemelerin nispeten ucuz, kolay işlenebilir, hafif, yüksek kimyasal ve korozyon direncine sahip olmalarıdır. Ayrıca yüksek ısı ve elektriksel özelliklere ve

yeterli mekanik özelliklere sahiptirler. Cam, karbon vb. gibi liflerle kuvvetlendirilen plastik malzemeler, daha yüksek mekanik ve fiziksel özelliklere sahip olurlar. Takviyeli plastikler özellikle içten yanmalı motorların ve uçakların yapımında kullanılır. Plastik-beton karışımından elde edilen rijit ve çok iyi sönümlenme kabiliyetine sahip olan kompozit malzemeler ise, tezgâh ve diğer ağır makine gövdelerinin yapımında kullanılır.

### **1.3.1. Polimerlerin Sınıflandırılması**

#### **1.3.1.1. Elde Edilişlerine Yöntemine Göre Polimerler**

Polimerler elde edilişlerine göre doğal, sentetik ve yarı sentetik olmak üzere üçe ayrılır (Çökeliler, 2010; URL-1, 2014)

Doğal polimerler: Doğal polimerlerin bazıları farklı yapıda değişik birimlerin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Yün, deri ve biyopolimer olarak isimlendirilen ve yaşama ilgili birçok önemli faaliyetin yürütülmesinde rol alan proteinler, nükleik asitler (DNA, RNA) ve enzimler doğal polimerlere örnek olarak verilebilir. Bu karmaşık yapıdaki yüksek molekül ağırlıklı bileşikler çoğu zaman daha uygun bir sözcük olan "makromoleküller" olarak da isimlendirilirler (Çökeliler, 2010; Öztürk, 2013).

Sentetik polimerler: Monomerlerden çeşitli yöntemlerle üretilen polimerlerdir. Bunlar monomerlerden başlayarak endüstride üretilen polietilen, polipropilen, polyesterler, poliamidler gibi polimerlerdir (URL-2, 2014).

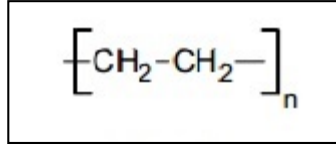
Yarı sentetik polimerler: Doğal polimerlerin iyileştirmesi ile elde edilirler; Örneğin doğal selülozdan elde edilen rejenere selüloz ve diğer selüloz türevleridir (Çökeliler, 2010; Öztürk, 2013).

#### **1.3.1.2. Kimyasal Bileşimlerine Göre Polimerler**

Polimerler, kimyasal bileşimlerine göre organik ve inorganik olarak iki grupta sınıflandırılmıştır.

Organik polimerler: Yapılarında karbon yanında genelde hidrojen atomu bulunmaktadır. Günlük hayatta kullanılan polimerlerin çoğunun ana zincirinin temel bileşeni karbon atomudur. Sentetik ve doğal polimerlerin çok büyük bir kısmı organik polimerlerden oluşmuştur.

Organik polimerlere örnek olarak; polietilen (Şekil 1.1), poliesterler, poliamidler, polipropilen, doğal kauçuk, proteinler, selüloz vb. gibi polimerler verilebilir.



Şekil 1.1. Polietilenin Atomsal Dizilişi

**İnorganik polimerler:** Organik polimerler kadar yaygın kullanılmazlar. Polimer ana zincirinde karbon atomu yerine silisyum, fosfor, sülfür gibi periyodik cetvelde yer alan 4. ve 6. grup elementleri bulunur.

Alümina silikat, doğal ve sentetik zeolitler tipik inorganik polimerlerdir. Zeolit suyun arıtılmasında kullanılır. 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.

### 1.3.1.3. Monomer Çeşitlerine Göre Polimerler

*Homopolimer:* Tek tip monomerden oluşan polimer zincirine homopolimer denir. Örneğin; polietilen, polipropilen, polistiren, polivinilklorür gibi polimerler homopolimerlerdir (Saçak, 2002).

*Kopolimer:* İki veya daha fazla cinsten olan monomerlerin beraberce polimerleşmesinden oluşan polimerlerdir. Bunlar monomerlerin diziliş sırasına göre dörde ayrılırlar (Saçak, 2002).

*I. Ardışık (alternatif) polimer.* Örneğin, Stiren-maleikanhidrit; -A-B-A-B-A-B-A-B

*II. Blok (düzenli) polimer.* Örneğin, Stiren-izopren; -A-B-B-B-A-B-B-B-A

*III. Gelişigüzel polimer.* Örneğin, Stiren-metilmetakrilat; -A-A-B-A-B-B-A

*IV. Graft (aşılı) polimer:* Ana zincire başka bir monomerin bağlanması ile oluşur (Öztürk, 2013).

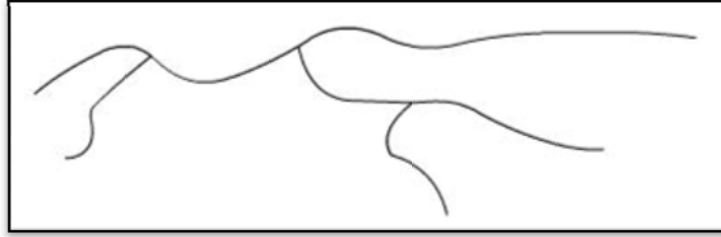
#### 1.3.1.4. Makromolekül Zincirinin Şekline Göre Polimerler

*I. Doğrusal (lineer) polimer:* Aynı monomer yapısının sürekli tekrarı sonucu oluşan yapılardır (Şekil 1.2). Yüksek yoğunluklu polietilen bu gruba örnek verilebilir (HDPE). Diziliş örneği (-A-A-A-A-A-A-A-A-) şeklindedir.



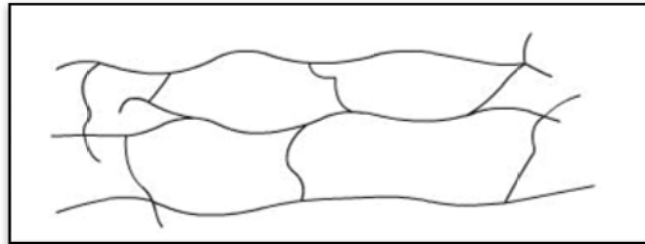
Şekil 1.2. Doğrusal polimer dizilişi

*II. Dallanmış polimer:* Ana polimer zincirinin üzerindeki çeşitli merkez noktalarından bazı monomer gruplarının uzaması sonucu oluşurlar (Şekil 1.3). Alçak yoğunluklu polietilen bu gruba örnek verilebilir (LDPE). Diziliş örneği (-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A) şeklindedir.



Şekil 1.3. Dallanmış polimer dizilişi

*III. Çapraz bağlı (Ağ) polimer:* Polimer molekülleri birbirlerine uçlarından bağlanmak yerine ortalarındaki noktalardan bağlanması sonucu oluşurlar (Şekil 1.4). Vulkanize ve kauçuk bu polimer türüne örnek verilebilir. (-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-B) ve (-B-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A) şeklinde dizilişlere sahiptir (Saçak, 2002).



Şekil 1.4. Çapraz bağlı (ağ) polimer dizilişi

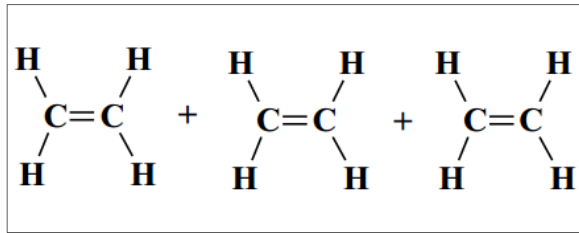
### 1.3.1.5. Sentez Yöntemlerine Göre Polimerler

*I. Yoğuşma polimerleri:* İki tane monomerin tepkimeye girerek su açığa çıkması ile oluşan polimerlerdir. Bunlara termoset reçineler denir (Baysal, 1994).

*II. Katılma polimerleri:* Üretim tepkimesi bir çift bağın açılması ve monomerlerin birbirine zincirin halkaları gibi katılması ile oluşan polimerlerdir. Bunlara termoplastik reçineler de denir (Baysal, 1994).

### 1.4. Polimerleşme

Polimerleşme, polimer malzemenin oluşumuna imkân veren kimyasal bir tepkimedir. Karbon atomları birbirleriyle, kararsız olarak nitelenen ikili, üçlü bağlarla da bağlı olabilirler. Bu bağları bir enerji vererek, ısıtarak, ışınlayarak, basınç uygulayarak kırmak ve teke indirmek mümkündür (Shackelford, 1990). Bu işlem sonunda 4 valanslı karbon artık başka atomlarla, gruplarla birleşmeye hazır hale gelirler. Bu birleşme ısı yayarak oluşur ve yayılan ısı kararsız bağı koparmak için gerekenden çok fazladır. Bu olayın en ilginç yönü reaksiyon bir kere başlayınca, yani ilk bağlar kırılınca, birleşmenin kendiliğinden ve çok hızlı bir biçimde gelişmesidir. Etilenin örnek olarak gösterildiği bu birleşme eklenme türü (Şekil 1.5) polimerleşmedir (Altıntaş, 2013).



Şekil 1.5. Etilenin polimerleşme mekanizması

Olay öylesine hızlı gelişir ki meydana gelen dev molekülün ucuna yeni CH<sub>2</sub>'lerin kavuşması için gerekli difüzyon hızı yetersiz kalır ve polimerleşme durur. Tüm polimerleşme süreçlerinde başlama, gelişme ve sona erme aşamaları vardır (Shackelford, 1990). Birinci aşama bir aktivasyon enerjisi gerektirir (ısı, ışınlama, katalizör). Üretimde en önemli noktalardan biri gelişmenin denetim altına alınmasıdır. Aksi halde farklı boyda heterojen bir molekül yapı oluşur. Bu denetim, ısının, ışığın kontrolü ile sağlanır ve tamamen kimyasal teknolojinin sorunudur. Eklenme polimerleşmesinde ortamda tek bir



mer yerine, iki mer var ise, bunların birleşiminden oluşan ve metallerdeki alaşıma benzeyen bir ürün elde edilmektedir. Buna kopolimer, olaya da kopolimerleşme adı verilmektedir (Öztürk, 2013).

### **1.5. Polimerlerin Özellikleri**

1. Polimer malzemeler kimyasal yapısında kovalent bağ içerdiği için ısı ve elektrik iletmezler.
2. Polimer malzemelerin kayma dirençleri düşüktür. Polimer malzemeler yüksek basınç ve çekme kuvvetleri altında oldukça dayanıklıdır.
3. Kimyasal etkilere dayanıklılıkları yüksektir. Çoğunlukla asitlere, bazlara iyi dayanırlar. Buna karşılık organik solventlere dayanıklılıkları iyi değildir.
4. Polimer malzemelerin yapıları yüksek sıcaklık altında değişebilir. Bazı türleri 300-400 °C'a kadar dayanmakla beraber (polifluoretilen, teflon, melamin vb.) çoğunlukla 80 °C'yi aşması halinde zarar görürler.
5. Polimerlerin suya karşı dayanıklılıkları genellikle iyidir. Ancak bazıları, özellikle su buharına karşı duyarlı olurlar ve bozulabilirler.
6. Polimerler genellikle düşük yoğunlukludurlar.
7. Değişik renk ve türleri vardır. Renklendirme olanakları iyidir.
8. Kullanımları, işlenebilmeleri iyidir ve kolaydır (Öztürk, 2013).

### **1.6. Polimerlerin Yanıcılığı**

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

1. Sınıf alev geciktirici yapıları kapsar, bunlar halojen veya aromatik gruplardır, bu tip polimerler yanıcıdır veya yüksek ısı dayanım gösterirler.

2. Sınıf bileşimler yanarak kömürleşmezler, alev geciktirici yapılarda kullanılmaz, yanıcı veya kömürleştirici olabilirler.

3. Sınıf polimerler çok yanıcıdır ve yanarak kömürleşirler fakat kolayca dekompozit olabilirler. Yangın sonucu polimerlerin patlayıcı hale gelmesi zehirli toksik gazı salgılaması ve koroziv gazları çıkartması olasıdır (Öztürk, 2013).

## **1.7. Polimer Malzemenin Kullanım Yerleri**

Günümüzde polimerlerin birçok kullanım alanı vardır. Polimerler, pencerelerde kullanılan PVC'den, mutfakta kullanılan teflon tavaya kadar hemen her yerde kendini göstermektedir. Başlıca kullanım alanları; tekstil, elektronik eşya, otomotiv sanayi, sağlık, yiyecek içecek endüstrisi, spor eşyaları vb.

İnşaat sektöründe ise; altyapı ürünlerinden, ev dekorasyon ürünlerine kadar her alanda plastik malzemeler ve plastik bazlı kompozit malzemeler görülebilir. En sık kullanılan altyapı ürünü polivinil klorür (PVC) bazlı plastik su borularıdır. Bu borular polipropilen vanalarla kontrol edilebilir ve yine PVC bazlı parçalarla su arıtma elemanları kurulabilir. Yani bütün bir su tesisatı alt yapısını tamamen plastik elemanlardan inşa etmek mümkündür. Ayrıca, PVC polimer çatı ve yer kaplaması olarak da kullanılabilir.

Plastik bazlı boyalarda akrilikler, poliüretanlar, poliesterler, epoksiler ve melamin reçineleri bulunabilir. Bu kimyasallar boyanın duvarlara ve birbirine daha iyi tutunmasını sağlamakla birlikte boyaya daha güzel bir son görünüm kazandırır. Son yıllarda artan bilimsel araştırmalar sayesinde ise bu polimerler, nano parçacıklarla geliştirilerek, su tutmayan, kendi kendini temizleyen ya da UV ışınlarından koruyan ileri teknoloji ürünü boyalar piyasaya çıkmıştır. Düşük maliyet ve uzun süreli kullanım sağlayan, polyester liflerle güçlendirilmiş ve epoksi reçine ile kalıplanan su depoları, evyeller ve banyo küvetleri de yapı endüstrisinde kullanılan plastiklerdir. Özel kalıplama teknikleriyle sandalyeler, banklar, çöp kutuları gibi parçalar da plastikten üretilebilir. Bu tür yapı malzemeleri üretirken polyesterden polipropilene, epoksiden poliakriliğe farklı plastikler kullanılabilir. Hangi plastiğin ve hangi güçlendirme elyafının kullanılacağını, üretilen parçanın maruz kalacağı fiziksel ya da kimyasal etkenler belirler.

## **1.8. İnşaat Mühendisliği Alanında Polimerler**

Günümüzde pek çok plastik madde inşaat mühendisliği alanına girmiştir. Bunlardan bir kısmı mimari detay malzemesidir. Yer döşeme malzemeleri, örtü malzemeleri, ısı izolasyon malzemeleri, boya ve badana katkı maddeleri, derz malzemeleri, yapıştırıcı ve tamir malzemeleri, mobilya kaplamaları, su iletim boruları (sert ve yumuşak PVC), inşaat sektöründe başlıca polimer kullanım yerleridir. Plastik maddelerin inşaat mühendisliğindeki diğer uygulaması; doğrudan taşıyıcı malzeme olarak yer alması veya taşıyıcı malzemelerin dayanıklılığını arttırmak üzere kullanılmasıdır. Bu polimerlerin

beton katkı maddesi olarak kullanımı taşıyıcı elemanların dayanımı ve dayanıklılıklarının artırılması amacına yöneliktir (Hollaway, 1993). Polimerlerin beton teknolojisine girmesi 1950’li yıllarda önem kazanmaya başlamıştır. Daha önceki yıllarda da bitüm doğal kauçuk lateksi betona katılmaya başlanmış, ancak yapay polimerlerden yararlanma daha sonralar gerçekleşmiştir. 1955’ten sonra ise büyük gelişmeler elde edilmiştir. Bu alandaki araştırmalar günümüzde de güncelliğini korumaktadır (Öztürk, 2013).

### **1.9. Yapı Malzemelerinde Polimerlerin Kullanılmasının Tarihçesi**

Beton özelliklerinin iyileştirilmesi için polimer malzeme kullanmak yeni olmayan bir yöntemdir (Ohama ve Shiroishida, 1984). İlk olarak 1923’de Cresson tarafından bu sistem hakkında bir patent oluşturulmuştur (Cresson, 1923). Bu patent yapı malzemesi olarak kaldırım taşlarını kapsamış ve bağlayıcı malzeme olarak çimento kullanılmıştır. Modern polimerle iyileştirilmiş beton uygulaması ise 1924 yılında Lefebure tarafından geliştirilmiştir. Lefebure ilk olarak lateksle iyileştirilmiş beton ve çimento hamuru üzerinde karışım oranlarını belirleme yöntemi ile çalışmıştır. Bu çalışma polimerle iyileştirilmiş beton tarihinin dönüm noktası olmuştur (Lefebure, 1924). Benzer bir çalışma 1925 yılında Kirkpatrick tarafından da yapılmıştır (Kirkpatrick, 1925). Gelişen teknoloji ile 1920’lerde ve 1930’lu yıllarda doğal plastik lateks kullanılan polimerle iyileştirilmiş beton ve çimento hamuru uygulaması artmıştır.

1940’lı yıllarda polimerle iyileştirme sistemindeki bazı çalışmalar (kloropren kauçuk lateksleri ve poliakrilik ester, sentetik lateks) yayınlandı. Ayrıca polivinil asetat modifiyeli beton ve çimento hamurunun aktif bir şekilde pratik yapı uygulamalarında kullanımı geliştirildi (Ohama, 1995). İngiltere’de yapılan çalışmalarda Stevens (1948) ve Griffiths (1951) plastik iyileştirme sistemlerinin fizibilite çalışmasını yapmışlardır. Dağılabilir polimer tozunun, hidrolik çimento karışımlarında polimer iyileştirme malzemesi olarak kullanılması için 1953 yılında bir patent yayınlandı (Werk ve Wirken, 1997). 1960’lı yıllarda SBR, poliakrilik ester ve bu benzeri malzemelerinin iyileştirme uygulamalarındaki kullanımı önemli derecede artmıştır (Ohama, 1995). “Betonda Polimer”, “Amerikan Beton Enstitüsü Komite 548” tarafından oluşturuldu ve 1975’te ilk “Uluslararası Betonda Polimer Kongresi” Londra’da yapıldı (Fowler, 1999). İlerleyen yıllarda Japonya’da bu konu ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır ve 1987-1989 yılları

arasında Japon Mimari Enstitüsü tarafından betonda polimer kullanımı ile ilgili birçok standart yayınlamıştır (Ohama, 1995).

Gelişen teknoloji ile birlikte polimer malzemeler, 21. yüzyılın dünyasında oldukça yaygın hale gelmiştir. Özellikle son 25 yılda bu malzemeler betonun tamiri, kaplama malzemesi ve birleşim malzemesi olarak kullanımda vazgeçilmez hale gelmiştir.

### **1.10. Polimer İçeren Betonlar**

Betona yüksek mekanik özellikler kazandırılması için pek çok yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunlar çoğunlukla çimento hamuru fazındaki boşlukların en aza indirilmesi esasına dayanır. Günümüzdeki en büyük gelişme, su/çimento oranı düşük, buna karşılık işlenebilme 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 25 kat daha ince silis dumanı kullanımı ile mukavemet de artmıştır. Silis dumanı kılcaldan ince boşlukları doldurur ve puzolonik etkileri ile agrega ile çimentonun bağlanmasını iyileştirir. Böylece hamur fazının mükemmelleşmesini sağlar. Beton sürekli çimento hamuru içinde agregalardan oluşan dağılı faza sahip bir kompozittir. Yüksek mukavemetli beton üretebilmek; çimento hamuru fazının mukavemetini arttırmak ve agregayla olan aderansını arttırmakla olur. Elastik sabitlerin hesabında yararı olan kompozit malzeme modelleri, mekanik dayanımları tahmininde yararlı olmamaktadır. Ancak kompozitin mukavemeti, hamurun veya dağılı fazın mukavemetleri ile sınırlıdır. Normal betonda, doğal kayalardan elde edilen agregaların mukavemetleri çimento hamurunun mukavemetinden yüksektir (Akman, 1990). Sonuç olarak kompozitin mukavemetini, daha düşük mukavemetli olan çimento hamuru ve agrega-çimento ara yüzeyi belirleyecektir. Betondaki boşluk oranını azaltmak ve işlenebilirliği sağlamak amacı ile betona kimyasal ve mineral katkıları katılmaktadır. Ancak klasik betondan elde edebilecek mertebe 150 MPa'lar civarındadır. Günümüzde betonun dayanım ve dayanıklılığını arttırmak için betona polimer katılması da yaygın olarak kullanılmaya başlanan bir yöntemdir. 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. Kimyasal aktivitesi olmayan polimerler normal betondan daha yüksek basınç ve çekme dayanımlarına sahiptirler. Ancak, elastisite

modülleri daha düşük, sünme deformasyonları daha yüksektir. Dolayısıyla betonun zayıf olan çekme dayanımı polimerik malzemelerin kullanımıyla iyileştirilebilir. Bu amaçla üç grup polimer betonu tanımlanmıştır (Özturan, 2013; Baradan, vd., 2012; Metha ve Monteiro. 2006).

- Polimer Beton (PB) (Polymer Concrete; PC): Bağlayıcı olarak sadece polimer kullanılır.
- Polimerle İyileştirilmiş Beton (PİB) (Polymer Modified Concrete; PMC): Karışım suyunun bir kısmı yerine polimer emülsiyonu kullanılır. Dolayısıyla matris fazı, çimento ve polimerden oluşur.
- Polimer Emdirilmiş Beton (PEB) (Polymer Impregnated Concrete; PIC): Sertleşmiş betonun boşluklarına polimer emdirilir.

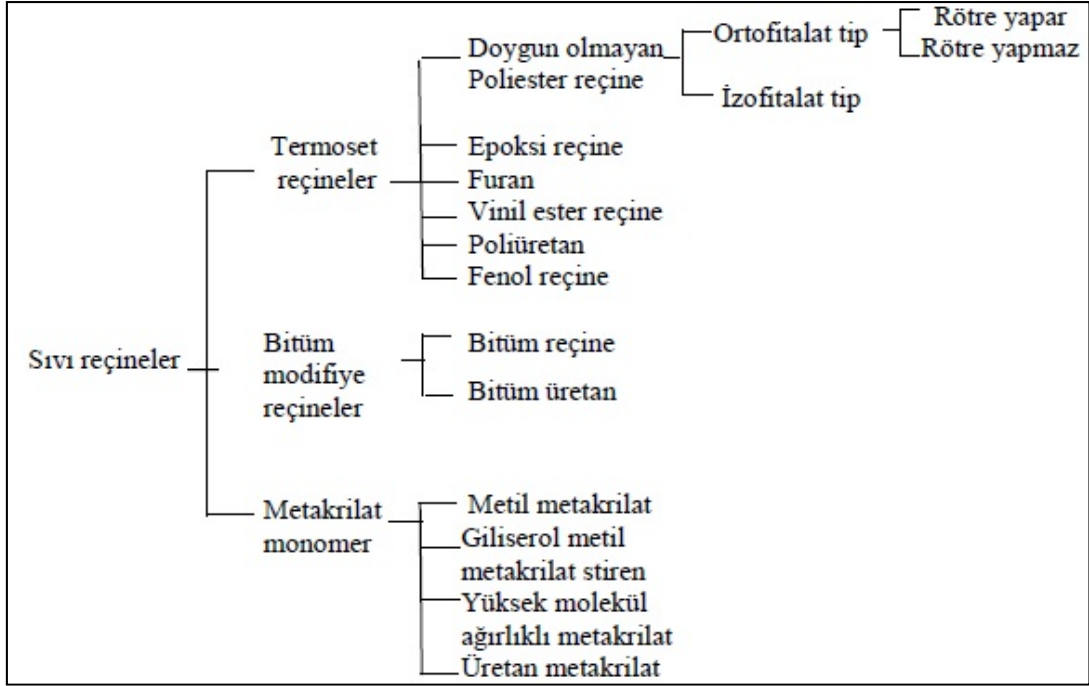
### **1.10.1. Polimer Beton**

Polimer beton uygun dağılımdaki bir agrega karışımının bir tür monomer ile karıştırılıp ortam sıcaklığında polimerleştirilmesiyle oluşmaktadır. Karışıma katılan bir sertleştirici, polimer zincirleri arasında çapraz bağ oluşturulmasını, katalizör ise polimerleşmenin etkin ve hızlı olmasını sağlamaktadır. Ayrıca bazen kullanılan silan birleştirme ajanları ise polimer ile agrega taneleri arasındaki aderansı kuvvetlendirip, kompozitin dayanımını arttırmaktadır. Bazen karışımın işlenebilmesini arttırabilmek için silis dumanı gibi ince madde katılabilmektedir. Polimer betonu portland çimentosu ve su içermez. Polimer içeriği ise agrega boyutuna bağlı olarak, genellikle toplam ağırlığın %5-15'i arasındadır (Özturan, 2013; Balaga ve Beaudoin; 1995). Polimer betonu normal betona benzer şekilde kalıba vibrasyon uygulanarak yerleştirilmektedir. Çeşitli polimer betonların normal portland çimentosu ile karşılaştırmalı özellikleri ve uygulama alanları Tablo 1.1'de verilmektedir.

Tablo 1.1. Polimer betonların özellikleri (Baradan vd., 2012)

Bağlayıcı	Birim Ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )	Su Emme (%)	Dayanımlar (MPa)			Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Termal Genleşme Katsayısı (10 <sup>-6</sup> °C)
			Basınç	Çekme	Eğilme			
Polimetil Metakrilat	2.0-2.4	0.05-0.6	70-210	9-11	30-35	35-40	0.22-0.33	10-19
Poliester	2.0-2.4	0.3-1.0	50-150	8-25	15-45	20-40	0.16-0.3	10-30
Epoksi	2.0-2.4	0.02-1.0	50-150	8-25	15-50	20-40	0.30	10-35
Furan	1.6-1.7	0.2	48-64	7-8	-	-	-	38-61
Portland Çimento Betonu	1.9-2.5	5-8	15-35	1.5-3.5	2-8	20-30	0.15-0.2	10-12

Kullanılacak polimerin miktarını en aza indirebilmek için agrega karışım oranlarının ve tane dağılımının en yüksek doluluk oranını sağlayacak şekilde ayarlanması gerekir. Ohama (1973) en büyük agrega tane boyutu 19 mm olan iki farklı iri agrega ile beş farklı ince agregayı en yüksek doluluğu sağlayacak şekilde Fuller parabolüne uyumlu bir tane dağılımında karıştırarak agrega taneleri arasındaki %20-25 oranındaki boşluğu bir kısım doymun olmayan polimer reçine ve bir kısım ince kırmataş unu karışımı ile doldurmayı amaçlamıştır. Ohama (1973), çalışmasında polimer betona iki farklı sıcaklıkta (21 °C ve 50-70°C) kür uygulamış ve yüksek sıcaklıkta kürlenmiş betonda beş saatte 140 MPa, normal sıcaklıkta kürlenmiş betonda ise yedi günde 105 MPa basınç dayanımı elde etmiştir. Genelde polimer betonlarda sonradan bozulmayı engellemek için agreganın kuru olması gerekmektedir. Ancak, epoksi reçinelerin kullanılması durumunda agreganın rutubeti sorun oluşturmamaktadır (Metha ve Monteiro. 2006). Polimer betonda bağlayıcı olarak poliester reçine kullanımı düşük maliyeti açısından cazip olurken, stiren monomer ve benzol peroksit katalist ile amin ön polimer içeren metilmetakrilat karışımlar son zamanlarda daha çok kullanılmaktadırlar (Metha ve Monteiro. 2006; Fowler, 1999). Şekil 1.6'da polimer beton ve harçlarda kullanılan sıvı reçinelerin sınıflandırmasını gösterilmektedir (Özturan, 2013; Ohama, 1997; Fowler, 1999).



Şekil 1.6. Polimer betonda kullanılan sıvı reçinelerin sınıflandırılması

Polimer betonun geleneksel Portland çimentolu betona kıyasla, daha yüksek dayanımlı ve daha hafif olması (Reis, 2005;Shokrieh vd., 2011) mükemmel aderans (Ribeiro vd., 2003), korozif ortamlara ve kimyasallara karşı direnç (Ribeiro vd., 2002), hızlı kür ve çok düşük geçirimsizlik (Reis ve Ferreira, 2003) gibi özellikleri çeşitli endüstrilerde kullanılmasını çok cazip hale getirmiştir (Heidari-Rarani, vd., 2014). Yaygın olarak köprü kaplamaları, kaldırım kaplaması, beton çatlaklarının tamiri (Camille ve Pauls, 2007), atık su borusu, tehlikeli atık konteynerleri, bacalar ve dekoratif inşaat panelleri gibi yapı endüstrisi ve yapısal mühendislik uygulamalarında kullanılır. Polimer betonların yapısal beton uygulamalarında yoğun kullanımını engelleyen unsur ise ısıl özellikleri ile sünme deformasyonunun uygun olmamasıdır (Fowler, 1999).

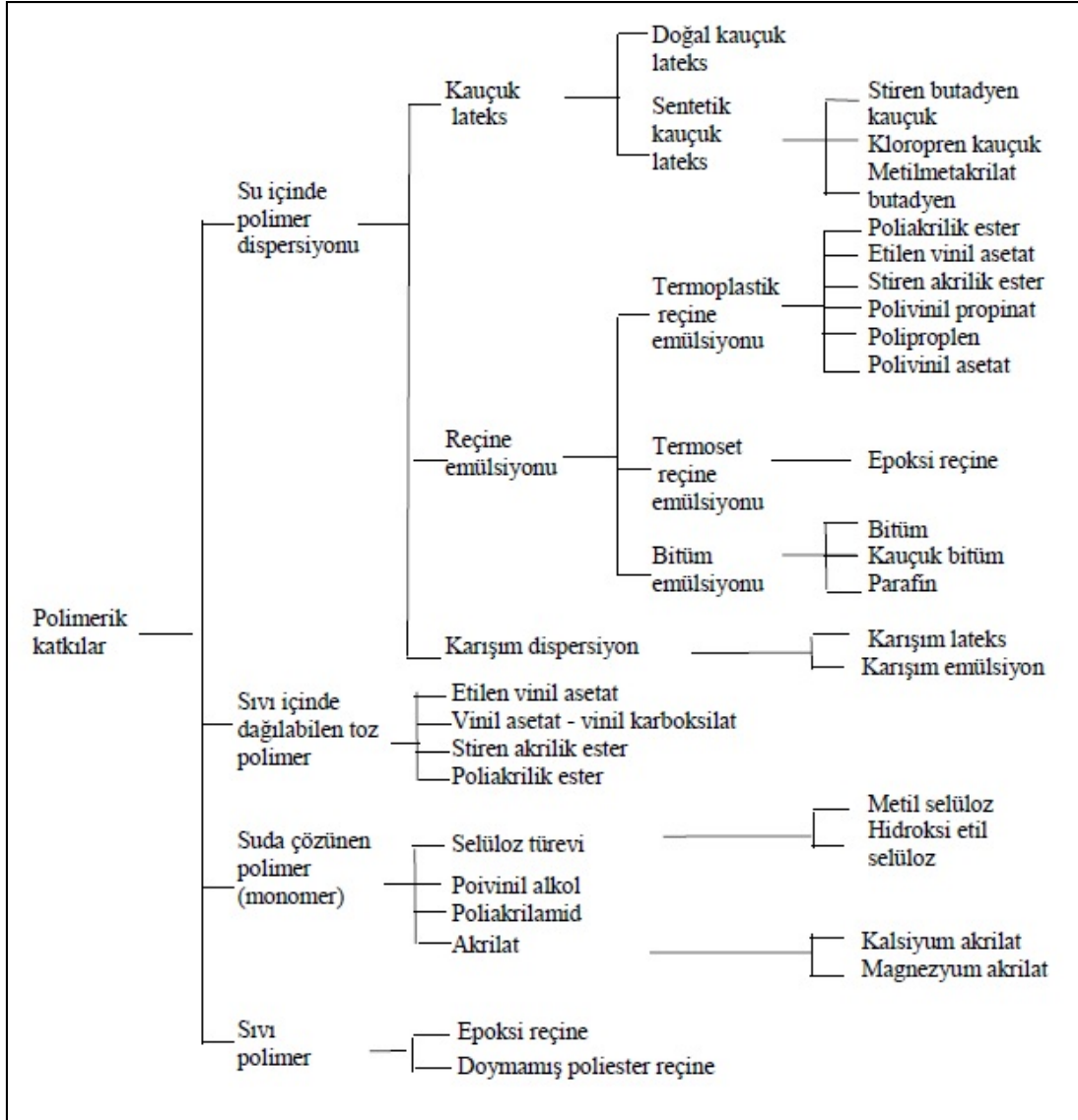
### 1.10.2. Polimerle İyileştirilmiş Betonlar

Lateks çok küçük (kolloidal) boyutlu polimer parçacıkların su içindeki emülsiyonudur. Polimerle iyileştirilmiş betonlar, kullanılan malzemeler ve üretim tekniği açısından normal beton ile aynı olup tek fark polimerin karıştırma sırasında betona katkı olarak ilave edilmesidir. Günümüzde en çok kullanılan polimerler stiren bütadiyen ve poliakrilat kopolimer bazlı elastomer kauçuk polimerlerdir. Şekil 1.7’de polimerle

iyileştirilmiş betonlar için kullanılan polimerlerin genel sınıflandırması görülmektedir (Özturan, 2013; Ohama, 1997).

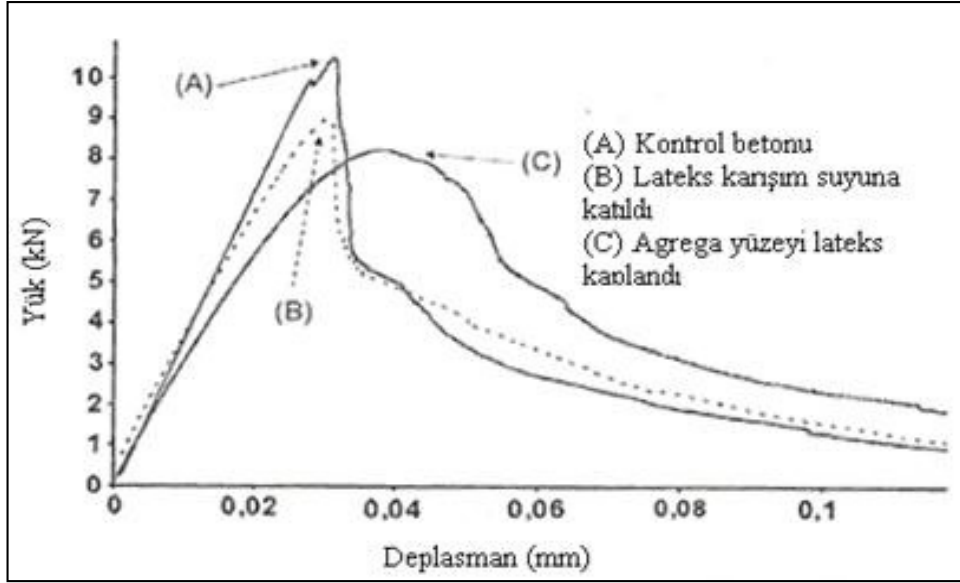
Portland çimentosu betonlarının polimerle iyileştirilmesi portland çimentosunun hidratasyonu ile polimerin film oluşturması mekanizmalarının sıralı olarak gelişmesiyle oluşmaktadır. Sonuçta C-S-H ve polimer film komatrisi oluşmakta ve agrega fazını sarmaktadır. Polimer taze beton karışımına ilave edildiğinde, öncelikle polimer taneleri çimento hamuru fazında üniform olarak dağılır ve daha sonra karışımdaki su hidratasyon ve özellikle buharlaşma yoluyla azaldıkça polimer taneleri hidrate çimento taneleri üzerine çökmeye başlarlar ve en sonunda çökelen bu tanecikler birleşerek kalsiyum silikat hidrate elemanları üzerinde ince bir polimer film meydana getirirler. Bu mekanizmanın sağlıklı gelişmesi için suyun ortamdan uzaklaşması esas olduğundan polimerle iyileştirilmiş betonlarda kısa (1-2 gün) bir nemli kürün ardından betonun tamamen kurummasına imkan tanınmalıdır (Özturan, 2013; Baradan vd., 2012).





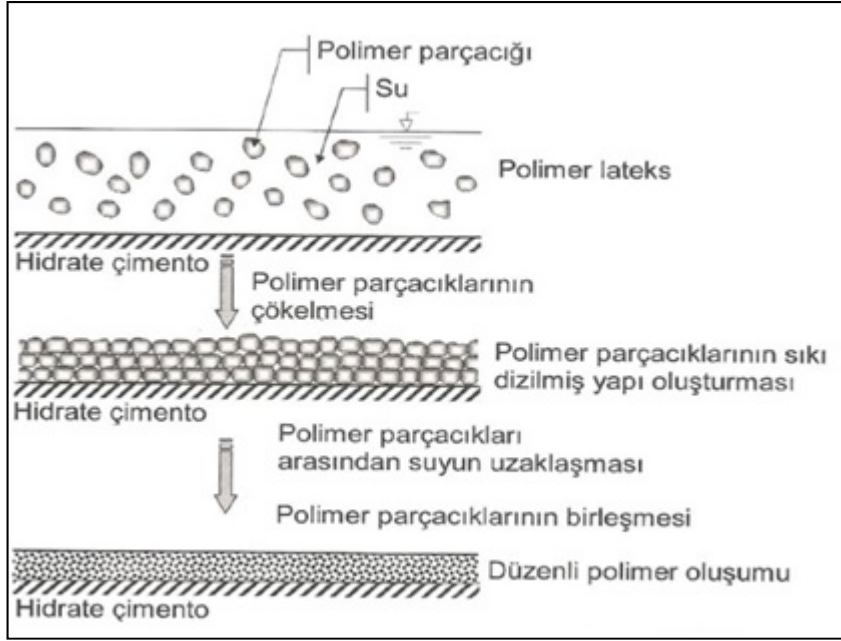
Şekil1.7. Polimerle iyileştirilmiş betonlar için polimer maddelerin sınıflandırılması

Polimer film aynı zamanda kapiler boşlukların yüzeylerinde ve agrega-çimento hamuru arayüzeyinde de oluşmakta ve böylece sertleşmiş betonda arayüzeyde bağ güçlenmekte ve suyun kapiler boşluk sistemi içindeki hareketi kısıtlanmaktadır. Ayrıca, güçlü polimer film tabakası matris içinde mikroçatlak oluşumu riskini azaltmaktadır. Yapılan bir çalışmada agrega yüzeyini önceden lateks ile kaplayıp, daha düşük polimer-çimento oranında agrega-hamur arayüzeyini iyileştirmeyi amaçlanmış ve mikroçatlak mekanizmasını iyileştirerek, tokluk oldukça arttırmıştır. Ancak dayanım ve elastiklik modülünde azalma gözlemlenmiştir (Şekil 1.8) (Morin vd., 2011).



Şekil 1.8. Betonda lateksin iki farklı kullanımının yük-deplasman davranışına etkisi

Polimer lateksler suda dağılı çok küçük boyutlu (0.05-0.5  $\mu\text{m}$ ) polimer küreciklerden oluşurlar ve monomer emülsiyonunun polimerleşmesi ile hazırlanırlar. Lateksler yaklaşık %50 oranında katı içeriğine sahip olup surfaktan denilen ve emülsiyon stabilizasyonunu sağlayan madde içermektedirler (Metha ve Monterio, 2006). Yüzey aktif ajanların kullanılması betona oldukça yüksek miktarda hava sürüklemekte olduğundan, bu tür betonlara köpük önleyici katkı maddeleri ilave edilmelidir. Lateks katkıli betonlarda kullanılan katı polimer miktarı çimento ağırlığının %10-15'i arasında olduğundan, betona lateks ilavesi beton karışım suyunun önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Fowler, 1999). Dolayısıyla polimerle iyileştirilmiş betonlar mümkün olan en düşük su miktarı ile üretilirler ve küresel polimer parçacıkları ve sürüklenen hava sayesinde mükemmel akışkanlığa sahip olurlar. Tipik su-çimento oranları 0.40-0.50 ve çimento dozajı 390-420  $\text{kg/m}^3$  aralığında değişmektedir (Metha ve Monterio, 2006). Polimer katkıli betonlarda oluşan polimer filmi genelde kimyasal olarak stabil olsa da bazı durumlarda yüksek pH değerinden kaynaklanan hidroliz olayı bu filmin bozulmasına ve sonuçta aderans dayanımının kaybolmasına neden olabilir. Bu nedenle daha stabil akrilik formları kullanmak yararlı olacaktır (Baradan vd., 2012).



Şekil 1.9. Polimerle iyileştirilmiş betonlarda polimer film oluşumu

Polimerle iyileştirilmiş betonlarda polimer filmin tam oluşması genellikle kuru kür koşulları altında olur ve betonun basınç dayanımı artar. Stiren butadiyen kauçuk lateks ile modifiye edilmiş polistiren hafif agregalı betonların basınç ve eğilme dayanımları ıslak-kuru birleşik kür sistemi ile en yüksek değerlerine ulaşmaktadır (Chen ve Liu, 2007). Dayanımdaki bağıl artış eğilme ve çekme yükleri altında daha fazla olmaktadır. Polimerle iyileştirilmiş betonlarda elastite modülü daha düşük olmasına rağmen, çekme gerilmeleri altında deformasyon kabiliyeti daha yüksektir. Polimer filmi çatlak ilerlemesini önlerken, kırılma sırasında daha fazla mikroçatlak oluşması gerilme-deformasyon diyagramlarında doğrusallıktan sapmayı arttırmaktadır (Metha ve Monterio, 2006). Polimerle iyileştirilmiş betonlarda donatı-beton aderansının da arttığı gözlenmektedir. Eski beton-yeni beton aderansı da çok yüksek olup, kırılma genellikle eski betonda oluşmaktadır (Baradan vd., 2012). Polimer-çimento oranı mekanik özellikleri etkileyen önemli faktörlerdendir. Hafif agregalı polimerle iyileştirilmiş betonlarda basınç dayanımının en yüksek değerine %5-10 polimer-çimento oranında ulaştığını gözlemişlerdir (Chen ve Liu, 2007).

Polimerle iyileştirilmiş betonlar su içinde kaldıklarında mekanik özelliklerinde azalma olmaktadır (Tablo 1.2). Polimer filmin suyu absorbe etmesiyle fiziksel bütünlüğü bozulmakta ve beton boşluk suyunun yüksek pH'ının da etkisiyle kimyasal bozuşma oluşmakta ve mekanik özelliklerdeki azalma daha fazla olmaktadır. Polimerle iyileştirilmiş

betonların kuruma büzülmesi ve sünme deformasyonu ise normal betona kıyasla daha düşüktür. Polimer filmin varlığı ve düşük su-çimento oranı bunda etkindir.

Tablo 1.2. Suyun polimerle iyileştirilmiş harçların dayanımına etkisi (Baradan vd., 2012).

	Dayanımlar (MPa)							
	Basınç		Çekme		Eğilme		Aderans	
	Kuru kür	Yaş kür	Kuru kür	Yaş kür	Kuru kür	Yaş kür	Kuru kür	Yaş kür
Kontrol	17	30	1,5	2	4	5	0,3	1
Stiren Bütadien	35	28	4	2,5	10	6,5	>5	2,5
Vinil-vinildin klorit	60	50	-	-	9	7,5	>5	4,5
Akrilit	40	28	6	3,5	13	7	>5	2,5
Vinil Asetat	25	10	5	0,5	13	2	>5	1
Epoksi	50	48	5,5	5	11,5	11	-	-

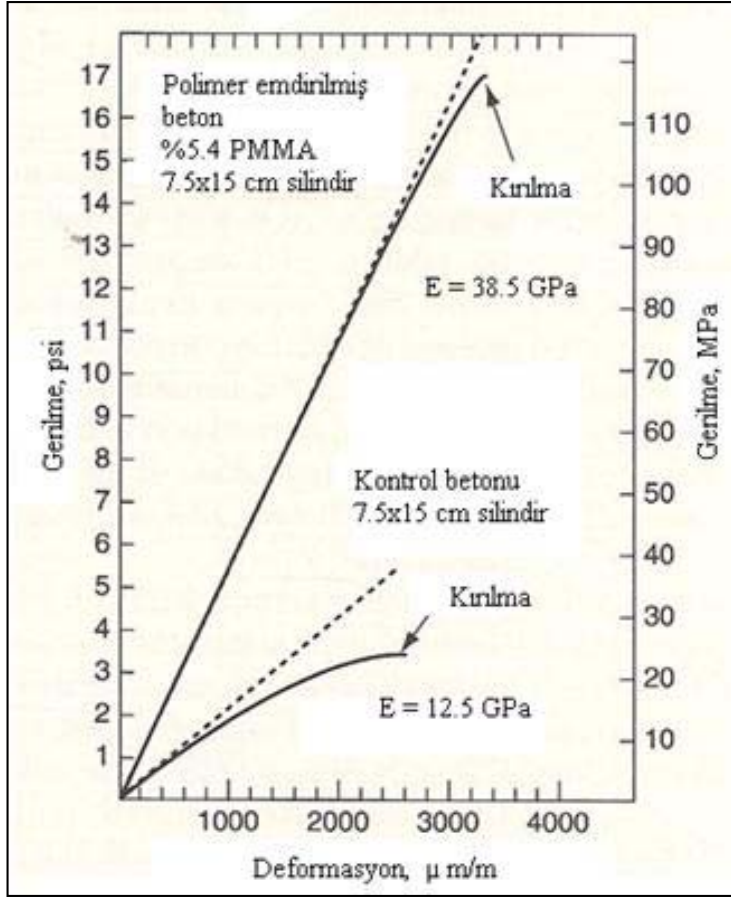
Polimerle iyileştirilmiş betonların özellikle donma-çözülme tekrarlarına dayanıklılıkları çok yüksektir. Polimer film tüm kapiler boşlukların yüzeylerini kapladığı için suyun beton içine girişine engel olmaktadır. Sınırlı mikroçatlak oluşumu da betonda geçirimsizliği arttırmaktadır. Düşük su/çimento oranı dayanıklılığı arttıran diğer bir faktördür. Ayrıca lateks katkısının hava sürüklenme etkisi donma-çözülme tekrarlarına direnci arttırmaktadır. Lateks katkılı betonların aşınma direnci de yüksek olup darbe yüklerinde yüksek dayanım göstermektedir. Polimerle iyileştirilmiş betonların lifler ile takviyesiyle çekme dayanımlarını arttırmak ve çatlama riskini daha da azaltmak mümkün olmaktadır (Özturan, 2013; Fowler, 1999; Ohama, 1997).

### 1.10.3. Polimer Emdirilmiş Beton

Betonda düşük dayanım ve dayanıklılığın en büyük sebebi beton içerisindeki boşluklar olduğu için bu boşlukların polimer ile doldurulması betonun dayanım ve dayanıklılığını arttıracaktır. Ancak, beton içindeki boşluk sisteminin sürekli ve karmaşık yapısı ve boşlukların tamamen boş olmaması nedeniyle polimer emdirilmiş betonlarda düşük viskoziteli polimer kullanılması gereklidir. Metilmetakrilat ve stiren monomerleri düşük viskoziteleri ve fiyatları nedeniyle bu amaçla sıkça kullanılmaktadır (Fowler, 1999;

ACI-548, 1985). Beton içine emdirilen monomer sonradan polimerleşerek boşlukları tam olarak doldurmaktadır. Polimerleşme üç yöntemle oluşmaktadır (Metha ve Monterio, 2006). Ön polimer ve katalizör kullanarak oda sıcaklığında polimerleşme oluşabilir, ancak süreç çok yavaş olup kontrol imkânı düşüktür. Gama ışınları radyasyonu ile oda sıcaklığında polimerleşme hızlandırılabilir, ancak sağlık şartları nedeniyle sakıncalı bir yöntemdir. Üçüncü yöntem ise en çok kullanılan yöntem olup, monomer-katalizör karışımı betona emdirilir ve daha sonra polimerleşme 70-90 °C sıcaklıkta buhar veya su küründe oluşur (Özturan, 2013).

Polimer emdirilmiş betonların gerilme-deformasyon diyagramları Şekil 1.10'da görülmektedir (Metha ve Monteiro, 2006). Mikroçatlakların ve boşlukların polimer ile doldurulması betonu daha kırılğan yapmaktadır. Gerilme-deformasyon diyagramı dayanımın %75'ine kadar doğrusal kalmaktadır. Polimerin elastisite modülü betonunkinin %10'undan fazla olmasa da polimer emdirilmiş betonların elastisite modülleri normal betonunkinden %50-100 fazla olmaktadır (Fowler, 1999). Polimer emdirilmiş betonlar su emmediği için rötre ve sünme deformasyonları ihmal edilecek boyutlardadır. Birçok çalışma polimer emdirilmiş betonların özelliklerinin önceki betonun özelliklerinden etkilenmediğini göstermiştir. Sopler ve diğerleri (1973) basınç dayanımları 20 MPa (S/Ç=0.83), 38 MPa (S/Ç=0.56) ve 59 MPa (S/Ç=0.38) olan betonlarda polimer emdirme sonunda benzer dayanımlar elde etmişlerdir. Diğer taraftan polimer emdirilmiş betonlar önceki betonun 3-4 katına kadar basınç dayanımları ile daha yüksek çekme ve eğilme dayanımları ve çok üstün dayanıklılık özellikleri geliştirirler (Fowler, 1999).



Şekil 1.10. Polimer emdirilmiş betonun gerilme–deformasyon davranışı

### 1.11. Beton ve Çimento Harçlarında Kullanılan Polimer Türleri

Polimer katkı malzemelerinin, beton ve çimento hamuru üzerinde sağladığı teknik kazanımların farkına varıldığı zamandan bugüne kadar çok çeşitli polimer türleri, gerek ticari gerekse deneysel kullanım amaçlı olarak üretilmektedir.

Polimerle iyileştirilmiş betonun üretiminde değişik kaynaklardan elde edilen, farklı özelliklere sahip polimerler kullanılmaktadır. Genel olarak toz halinde ya da sıvı olarak kullanılan polimer katkı malzemeleri mevcuttur. Bu çalışma için kullanılan polimerler sıvı olanlarda seçilmiştir.

#### 1.11.1. Stiren Bütadiyen Kauçuğu

Stiren Butadien Rubber (SBR) olarak bilinen ve piyasada Latex adında polimer katkı malzemesidir. İyi bir yapışma ve su geçirimsizlik istenen yerlerde çimento harçlarına

katılan, sıvı sentetik kauçuk emülsiyondur. SBR'ye ait kimyasal ve fiziksel özellikleri kullanım kılavuzunda yer aldığı şekliyle Tablo 1.3'de verilmiştir.

Tablo 1.3. SBR polimerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri (Yalçınkaya ve Baradan, 2012)

Katı İçerik (%)	48.5
Viskozite (mPa.s)	30
pH	8.0
Camsı duruma geçiş sıcaklığı (°C)	-5
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1.01
Ortalama parça çapı (mikron)	0.15
Polimer şeridinin çekme kuvveti (N/mm <sup>2</sup> )	6
Polimer şeridinin uzaması (%)	1000

Kullanım Yerleri;

Çimento harçlarının kalitesini önemli ölçüde arttıran yüksek nitelikli bir emülsiyon olarak aşağıdaki uygulamalarda kullanılır.

- Sıvalar
- Döşeme şapları
- Beton tamir harçları
- Aşınma dayanımlı kaplamalar
- Seramik yapıştırma harçları
- Duvar harçları

Kazanımları;

- Çok iyi yapışma
- Büzülmenin azaltılması
- Daha fazla elâstikiyet
- Çok iyi su geçirimsizlik
- Aşınma dayanımının artırılması
- Kimyasal dayanımın iyileştirilmesi
- Korozif olmaması, donatıya zarar vermemesi
- Kullanıma hazır olması
- Yüksek alkali ortamlarda bile Lateks emülsiyonunun bozulmaması.

### 1.11.2. Poliüretan

Poliüretan (PÜ) karbamat bağlantıları ile birleştirilen organik üniteler zincirinden oluşan bir polimerdir. Esnek ve esnemeyen köpükler, dayanıklı elastomerler ve yüksek performanslı yapıştırıcılar, sentetik lifler, contalar, halıların alt kısmı ve sert plastik yapımında kullanılırlar. Esnek poliüretan köpükler, poliüretan süngerler olarak da bilinirler ve yataklarda, mobilyalarda konfor malzemesi olarak vazgeçilmezdirler. Esnemeyen köpükler ise daha çok ısı ve ses yalıtımında kullanılırlar. Poliüretan ürünlere çoğu zaman *üretanlar* da denir. Ancak etil karbamat olarak da bilinen özel üretan maddesi ile karıştırılmamalıdır. Poliüretanlar etil karbamatdan yapılmaz ve onu içermezler (URL-3, 2014). Malzemenin teknik özellikleri Tablo 1.4’te verilmiştir.

Tablo 1.4. Poliüretanın teknik özellikleri

Renk	İstenilen renklerde üretilebilir
Katı Madde Oranı	% 50 ± 2 (Karışım halinde)
Yoğunluk	1.1 ± 0.1 kg / lt (Karışım halinde)
Film Kalınlığı	40-50 mikron kuru film
Teorik Yayılma	Teorik Yayılma 10m <sup>2</sup> / lt (40 mikron kuru filmde)

### 1.11.3. Polikarboksilat Stiren Bütadiyen Kauçuğu

Polikarboksilat-Stiren Butadien Rubber (PSBR) olarak bilinen bu polimer piyasada Viscobond ticari ismiyle bulunmaktadır. İç ve dış mekanlardaki çimento esaslı uygulamalarda yapıştırıcı ajan olarak kullanım amacıyla geliştirilmiş konsantre sıvı katkıdır. Aynı zamanda çimento esaslı harçların ve betonların su geçirimsizliğini sağlamak, işlenebilirliğini geliştirmek, eğilme, çekme ve yapışma dayanımlarını artırmak için tasarlanmış bir üründür. PSBR’nin teknik özellikleri kullanım kılavuzunda yer aldığı şekliyle Tablo 1.5’te verilmiştir.

Tablo 1.5. PSBR’nin teknik özellikleri

Renk	Açık Mavimsi
Yoğunluk	1.01-1.04 kg / lt
Sıcaklık	+23 °C
pH Değeri	6.0 +/- 1.0



Kullanım Yerleri:

- Sıva ve şaplar için yapıştırma harcı olarak
- İyileştirilmiş yapışma ve düşük çatlama ile su geçirimsiz sıvalar ve kaplamalar (Ayrıca alçı ve kireç esaslı sıvalar için de uygundur)
- Yüksek su ve aşınma dirençli ve yüksek dayanımlı, düşük tozuma yapan zemin şapları ve kaplamaları
- Yama, tamir ve düzeltme harçlarında
- Duvarlardaki derz harçlarında

Kazanımları:

- Önemli derece artırılmış işlenebilirlik,
- Geliştirilmiş dayanım, geçirimsizlik,
- Pürüzsüz yüzeylerde dahi mükemmel yapışma,
- Azaltılmış çatlama riski,
- Donma çözünme hasarlarına karşı artırılmış direnç,
- Beton ve harçlar için artırılmış kimyasal direnç.

**1.11.4. Modifiyeli Akrilik Dispersiyonu**

Akrilik dispersiyon esaslı, sıva ve şaplar için aderans ve geçirimsizlik artırıcı bir katkı maddesidir. Piyasada Binder5 ticari ismiyle bulunmaktadır. Modifiyeli akrilik dispersiyonun (MAD) teknik özellikleri kullanım kılavuzunda yer aldığı şekliyle Tablo 1.6'da verilmiştir.

Tablo 1.6. MAD'nin teknik özellikleri

Malzemenin Yapısı	Modifiye edilmiş akrilik dispersiyon
Renk	Beyaz
Katı Madde Oranı	%42
Yoğunluk	-1,08 kg/lt
pH Değeri	6
Uygulanacak Zeminin Sıcaklığı	+5 °C+35 °C
Servis Sıcaklığı	-21 °C+80 °C

### Kullanım Yerleri:

- Tamir Harçlarında;
- Bozuk beton yüzeylerin, flapların ve sıvaların tamiri için hazırlanan harçlarda aderans katkısı olarak,
- Sıva harçlarında,
- Betonarme silolar, su depoları, havuzlar, arıtma tesislerinin iç ve dış sıvalarında aderansı ile su geçirimsizliğinin artırılması için katkı olarak,
- 2 cm kalınlığındaki fiaplar da dahil, aderansı yüksek, çatlamayan yüzeylerin elde edilmesinde aderans katkısı olarak; endüstriyel zeminlerde tozuma ve çatlamaya karşı su geçirimsizliğin artırılmasında ,
- Kaplama harçlarında,
- Doğal taş, tuğla, karo plakaların döşenmesi için hazırlanan harçlarda katkı olarak,
- Pürüzsüz beton yüzeyler ile gazbeton yüzeylere, sıva ve seramik uygulamalarından önce, aderansı artırmak amacı ile bağlayıcı olarak kullanılır.

### Kazanımları:

- Güçlü ve kalıcı bir bağ oluşturur.
- Mükemmel aderans ve geçirimsizlik sağlar.
- Su, yağ ve tuz çözeltilerine karşı dayanımı artırır.
- Donma - çözünme döngüsüne dayanıklılığı artırır.
- Eğilmedeki çekme dayanımını artırarak geniş alanlarda gerilmeleri azaltır.
- Azalan büzülme ile çatlaksız sertleşme sağlar.
- Sabunlaşmaya karşı direnç sağlar, korozyona sebep olan katkıları içermez.

#### **1.11.5. Epoksi**

Likit olarak uygulanan ve kuruduktan sonra suya, asitlere ve alkaliye dirençli bir madde haline gelen, zaman içerisinde bu direncini yitirmeyen, kolay temizlenen, mekanik mukavemeti yüksek, tekne yapımı ve onarımı dahil bir çok alanda kullanılan yapıştırıcı bir kimyasal reçinedir (URL-4, 2014). İnşaat mühendisliği uygulamalarında genellikle betonarme donatı filizlerinin eski betona ekimi ve karot alma sonrası karot

boşluğunu doldurmada veya tamir harcı olarak kullanılmaktadır. Büzülme yapmadan sertleşmeleri sebebiyle bu uygulamalar için tercih sebebi olmaktadır.

*Kullanım Yerleri:*

- Donatı ve demirlerin yapıştırılmasında,
- Yalıtım İşleri (Kaplama)
- Prefabrik beton elemanları ve kolonların montajında,
- Taze betonu, eski sertleşmiş beton veya harca bağlamak için yapıştırıcı reçine olarak,
  - Aşınmaya karşı koruyucu kaplama yüzeyi olarak,
  - Yüksek dayanımlı zemin ve duvar boyası olarak
  - Su altı imalatlarında,
  - Boya ve astar olarak,
  - 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 (kısacası endüstriyel zeminlerde), betonun aşınma, darbe ve kimyasal dayanımını arttırmasından ötürü zemin kaplaması olarak da kullanılmaktadır.

*Kazanımları:*

- Estetiktir,
- Sürtünmeye ve aşınmaya karşı dayanıklı yüzeyler oluşturur,
- Kolay temizlenir, hijyeniktir,
- Yağ ve kimyasallara karşı dirençlidir,
- Kaymaz,
- Kokusuzdur,
- Kolay ve Hızlı uygulanır,
- Yüksek mekanik direnç sağlar.

### 1.11.6. Polimetil Metakrilat

Piyasada daha çok akrilik cam ya da pleksiglas olarak bilinen polimetil metakrilat (PMMA) renksiz ve şeffaf bir termoplastik polimerdir. Ucuz olması ve kolay işlenebilirliği sayesinde tercih edilse de kırılğan bir yapıya sahip olduğu için kullanım alanı biraz kısıtlıdır. Polimetil Metakrilat (PMMA)'nın teknik özellikleri kullanım kılavuzunda yer aldığı şekliyle Tablo 1.7'de verilmiştir.

Tablo 1.7. Polimetil Metakrilatın teknik özellikleri

Yapı	Amorf
Yoğunluk	1.16 g/cm <sup>3</sup>
Erime Sıcaklığı	137 °C
Camsılaşıma Sıcaklığı	114 °C
Doğrusal Genleşme Katsayısı (CTE)	81.1 µm/m-°C
Yük Altında Eğilme Sıcaklığı (HDT)	0.46 MPa
Azami Servis Sıcaklığı (Hava)	89 °C
Dielektrik Dayanımı	17 kV/mm
Saydamlık	Saydam

### 1.12. Polimer Katkısının Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi

#### 1.12.1. Polimer Katkısının Betonların Basınç Dayanımına Etkisi

Khamput ve Suweero 2011 yılında yaptıkları çalışmada amonyak konsantreli lateksi 7 farklı polimer/çimento oranında (%0, %2.5, %5, %7.5, %10, %12.5, %15) kullanarak çimento hamuru hazırlamış ve numunelerin basınç dayanımını incelemişlerdir. 28 gün sonunda numuneler basınç dayanımına tabi tutulduğunda polimer/çimento arttıkça basınç dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Özellikle amonyak konsantreli lateks %15 oranında kullanıldığında basınç dayanımında yaklaşık %50 oranında bir düşüş görülmüştür.

1998 yılında yaptığı çalışmada Ohama, 3 farklı polimer malzeme (Polivinil Asetat (PVAC), Stiren Bütadiyen Kauçuğu (SBR), Poliakrilik Ester (PAE)) kullanarak polimer/çimento oranı %15 olan numuneler hazırladıktan sonra 3 farklı kür koşulunda (2 gün nemli-5 gün su kürü-21 gün kuru kür, 2 gün nemli-26 gün kuru kür, 2 gün nemli-26

gün su kürü) 28 gün boyunca bekletmiş ve basınç dayanımlarını incelemiştir. Deneyler sonucunda SBR kullanılarak hazırlanan numunelerin basınç dayanımı kontrol numuneleri ile kıyaslandığında yaklaşık %30 daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

Hyun vd., 2012 yılında yaptıkları çalışmada farklı kür sıcaklıklarının, sürelerinin ve doymamış polyester (UP) ve metil metakrilat (MMA) polimerlerinin farklı oranları kullanılarak hazırladığı numunelerin basınç dayanımlarındaki değişimi gözlemlemiştir. Yapılan deneyler ışığında kür sıcaklığının polimerle iyileştirilmiş betonun basınç dayanımında önemli ölçüde etkili olduğu sonucuna varılmış ve -21 °C ila 21 °C arasında basınç dayanımında yaklaşık %30 oranında bir düşüş olduğu görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada UP-MMA ile iyileştirilmiş betonlarda kür ısı gerektirmeyen ve -21 °C gibi düşük sıcaklıkta bile 42-65 MPa basınç dayanımı elde edilebilmiş bu da normal betonun tamiri için kullanılabileceği sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Farklı oranlarda SBR kullanarak polimerle iyileştirilmiş harç numuneleri hazırlayan Barlunga ve Hernandez-Olivares (2004) ve 3 farklı sürede (7 gün, 28 gün ve 56 gün) kür ettikten sonra basınç dayanımlarını incelemiştir. Deneyler sonucunda polimer oranı arttıkça basınç dayanımında bir azalma görülmüştür. Ancak kür süreleri kıyaslandığında kür süresi arttıkça basınç dayanımında bir artış gözlemlenmiştir.

### **1.12.2. Polimer Katkısının Betonların Eğilme Dayanımına Etkisi**

Ohama, 1998 yılında yaptığı çalışmada 9 farklı polimer malzeme kullanarak hazırladığı numuneleri 3 farklı kür koşulunda (2 gün nemli-5 gün su kürü-21 gün kuru kür, 2 gün nemli-26 gün kuru kür, 2 gün nemli-26 gün su kürü) 28 gün boyunca bekletmiş ve eğilme dayanımlarını incelemiştir. Deneyler sonucunda en uygun kür koşulunun 2 gün nemli-5 gün sisli-21 gün kuru kür olduğu görülmüş ve kontrol numunesi ile kıyaslandığında polimerle iyileştirilmiş betonların eğilme dayanımlarının yaklaşık %45 daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

2013 yılında yaptıkları çalışmada Ming Kong vd., 3 farklı oranda (%0, %1, %3) 3 farklı polimer malzeme kullanarak polimerle iyileştirilmiş harç numuneleri hazırlamış ve eğilme dayanımlarını incelemiştir. Deneyler sonucunda %1 polimer ilaveli numuneler eğilme dayanımlarında katkısız numunelere göre %25'e varan artışlar göstermelerine rağmen, %3 katkılı numunelerde %12'ye varan düşüşler gözlemlenmiş ve bunun nedeninin

de polimer lateksle birlikte harç numunelerinde hava boşluklarının oluşması olarak açıklanmıştır.

Hyun vd., 2012 yılında yaptıkları çalışmada doymamış polyester (UP) ve metil metakrilat (MMA) polimerlerinin farklı oranları kullanılarak hazırladığı numunelerin eğilme dayanımlarındaki değişimi gözlemlemişlerdir. Yapılan deneyler ışığında kür sıcaklığının polimerle iyileştirilmiş betonun basınç dayanımında önemli ölçüde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

2004 yılında yaptıkları çalışmada Barlunga ve Hernandez-Olivares farklı oranlarda SBR kullanarak polimerle iyileştirilmiş harç numuneleri hazırlamış ve 3 farklı sürede (7 gün, 28 gün ve 56 gün) kür ettikten sonra eğilme dayanımlarını incelemişlerdir. Deneyler sonucunda tüm oranlar için kür süresi arttıkça eğilme dayanımında bir artış görülmüştür.

### **1.12.3. Polimer Katkısının Betonların Sülfat Direncine Etkisi**

Stiren bütadiyen lateks kullanarak polimerle iyileştirilmiş beton numuneleri hazırlayan Shaker vd. (1997), bu numunelerin sülfat direncini incelemişlerdir. 12 ay boyunca sülfata batırılan geleneksel beton numuneleri dayanımlarının %50'sini kaybederken polimerle iyileştirilmiş numunelerin ise dayanımlarının sadece %23'ünü kaybettiği gözlemlenmiş ve polimerle iyileştirilmiş betonların geleneksel betona göre sülfat direncinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

2012 yılında yaptıkları çalışmada Muhammad ve İsmail 3 farklı oranda polimer malzeme kullanarak (%1.5, %5 ve %10) numuneler hazırlamış ve bunları 4 farklı sürede (7 gün, 28 gün, 56 gün ve 84 gün) kür etmişlerdir. Daha sonra sülfatlı ortama maruz bırakarak numunelerin dayanımlarını araştırmışlardır. Deneyler sonucunda ilk dayanım göz önüne alındığında katkısız betonun dayanımı lateksle iyileştirilmiş betondan yüksek çıkmıştır. Bunun sebebini de lateks film tabakasının henüz oluşmadığı olarak açıklamışlardır. Ancak 84 gün kür edilmiş numuneler göz önüne alındığında %1.5 oranında polimer kullanılan numunelerin dayanımları daha yüksek çıkmış ve bunun nedenini de lateksin varlığının sülfatın beton içine girmesini önlemesiyle açıklamışlardır.

2005 yılında yaptıkları çalışmada Jingang vd., emülgatör içermeyen 3 farklı polimer lateks (PVA (Polivinil Asetat), P(VA-MTC) (Polivinil Asetat Metakroksilettil-trimetil Amonyum Klorid yardımcı polimeri) ve P(VA-SA) (Polivinil Asetat-Sodyum Akrilat yardımcı polimeri)) kullanarak numuneler hazırlamış ve bu numuneleri 3 farklı kür

koşulunda (2 gün kalıpta-26 gün suda, 2 gün kalıpta-5 gün suda-21 gün dışarıda, 2 gün kalıpta-5 gün suda-20 gün dışarıda son gün vakumda) bekleterek eğilme dayanımlarını incelemiştir. Deneyler sonucunda 2 gün kalıpta-5 gün suda-21 gün dışarıda bekletilen numuneler için P(VA-MTC) katkılı numuneler en iyi eğilme dayanımı göstermiş olup katkısız numunelerle kıyaslandığında %94.5 oranında bir artış elde edilmiştir.

#### **1.12.4. Polimer Katkısının Betonların Porozitesine Etkisi**

2013 yılında yaptıkları çalışmada Ramli vd., 3 farklı polimer (Stiren Bütadiyen Kauçuğu (SBR), Poliakrilik Ester (PAE) ve Vinil Asetat Etilen (VAE)) kullanarak numuneler üretmiş ve bu numuneleri farklı kür koşullarında (6 gün su kürü, sonra deneye kadar kuru kür, 7 gün kuru kür sonra deneye kadar su kürü, 6 gün su kürü, 7 gün kuru kür döngülü) bekleterek numunelerin porozitesini incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda en iyi sonuç %15 oranında SBR kullanılarak hazırlanan numunelerden elde edilmiş ve kontrol numunesi ile kıyaslandığında porozitesi 5 kat daha küçük çıktığı gözlemlenmiştir.

#### **1.12.5. Polimer Katkısının Betonların Su Geçirimsizliğine Etkisi**

Diamanti vd., 2013 yılında yaptıkları çalışmada 2 farklı polimer/çimento oranı kullanarak polimerle iyileştirilmiş beton kaplaması hazırlamış ve bu numunelerin su geçirimsizliklerini incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda ıslak kür koşulunda polimerle iyileştirilmiş çimento kaplamalarının su geçirimsizliğini oldukça azalttığı görülmüştür.

2013 yılında yaptıkları çalışmada Ramli vd., 3 farklı polimer (Stiren Bütadiyen Kauçuğu (SBR), Poliakrilik Ester (PAE) ve Vinil Asetat Etilen (VAE)) kullanarak numuneler üretmiş ve bu numuneleri farklı kür koşullarında (6 gün su kürü, sonra deneye kadar kuru kür, 7 gün kuru kür sonra deneye kadar su kürü, 6 gün su kürü, 7 gün kuru kür) bekleterek numunelerin su geçirimsizliğine incelemiştir. Yapılan deneyler sonucunda en iyi sonuç ıslak-kuru döngülü kür koşulundan elde edilmiş kontrol numunesiyle kıyaslandığında polimerle iyileştirilmiş betonların su geçirimsizliğinde %60 oranında bir azalma olduğu gözlemlenmiştir.

### **1.13. Yüksek Sıcaklığın Betonun Isıl ve Fiziksel Özelliklerine Etkileri**

Yüksek sıcaklık, betonun özgül ısısı, ısı yayılımı, ısı iletkenliği, ısıl genleşmesi ve buhar difüzyonu direnç faktörü gibi termofiziksel özelliklerinin yanı sıra birim kütlesi ve rengi gibi fiziksel özelliklerine etki eder. Aşağıda yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonun termofiziksel ve fiziksel özelliklerindeki değişimler ayrı ayrı ele alınmıştır.

#### **1.13.1. Özgül Isı**

Bir cismin birim kütlesinin sıcaklığını 1 °C arttırmak için gerekli olan enerjiye özgül ısı denir. Ortam sıcaklığındaki normal betonun özgül ısısı 0.50 ile 1.13 kJ/kg°K (0.12-0.27 cal/g°C) arasında değişir. Normal sıcaklıklarda kullanılan agrega türü, karışım oranı ve yaşı, betonun özgül ısısını önemli ölçüde etkilemez. Özgül ısıyı etkileyen en önemli parametre betonun nem muhtevasıdır. Ayrıca yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun özgül ısısı maruz kalınan sıcaklığa, kullanılan agrega türüne göre farklılıklar gösterir. Artan sıcaklıkla birlikte serbest suyun uzaklaşması ile özgül ısı artar (Yüzer vd., 2013; Bazant ve Kaplan, 1996). Kodur ve Sultan (2003) tarafından yapılan çalışmada yüksek sıcaklık etkisinde kalan yüksek dayanımlı betonun (HSC) ısı kapasitesi araştırılmış, artan sıcaklık ile beraber özgül ısı olarak da ifade edilen betonun ısı kapasitesinin arttığı tespit edilmiştir.

#### **1.13.2. Isı İletim Katsayısı**

Isı, farklı sıcaklıklara sahip sistemler arasında enerji geçişi olarak tanımlanır. Betonda kullanılan agrega hacmi arttıkça ısı iletimi artar. Betonda kullanılan agrega türü ve miktarının yanı sıra nem oranı da ısı iletimine etki eden önemli parametrelerdendir ve nem miktarı arttıkça ısı iletimi artar. Yani betonun kuruması ısı iletimini azaltır. Sıcaklıktaki ve maruz kalma süresindeki artışla nem içeriği azaldığından çimento hamuru, harç ve betonların termal iletkenliği azalır (Baradan vd., 2012). Shin vd. (2002) tarafından yapılan deneysel çalışmada 900 °C'de betonun ısı iletim katsayısının %50 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Çimento hamurunda meydana gelen büzülme ve mikro çatlaklar, artan boşluk oranı ısı iletimini düşürmektedir (Yüzer vd., 2013 ; Bazant ve Kaplan, 1996).



### 1.13.3. Isı Yayınımı

Malzemenin birim kütlede depoladığı ısı miktarı özgül ısı ( $C$ ,  $J/kg^{\circ}C$ ) ile temsil edilirken, birim hacimde depolanan ısı enerjisi yoğunluk ile özgül ısının çarpımı ( $\rho.C$ ,  $J/m^3$   $^{\circ}C$ ) ile hesap edilir. Depolanan ısı, malzemenin ısı iletme yeteneğine göre bünyede yayılacaktır. İletilen ısının depolanan ısıya oranı ısı yayılımını ( $\alpha$ ,  $m^2/s$ ) verir. Isı iletimi yüksek veya özgül ısı düşük malzemelerde ısı yayılımı yüksektir (Yüzer vd., 2013; Çengel, 2006).

Betonun ısı yayılımı agregaya bağlıdır. Betonun ısı yayılım katsayısı agreganın %85'i kadardır ve  $0.69 \times 10^{-6} m^2/s$  ile  $1.89 \times 10^{-6} m^2/s$  arasındadır (Yüzer vd., 2013 ; Bazant ve Kaplan, 1996). Isı yayılım katsayısı sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Shin vd. (2002) tarafından yapılan deneysel çalışmada  $900^{\circ}C$ 'de betonun ısı yayılım katsayısındaki azalmanın %50 oranında olduğu tespit edilmiştir.

### 1.13.4. Genleşme Katsayısı

Malzemelerin şekil değiştirmesini de etkileyen ısıya ilişkin bir diğer özelliği de ısı genleşmesidir. Betonun genleşme katsayısı, üretimde kullanılan agregaların genleşmesine, agregaların ısı genleşme katsayısı da içerdiği silis oranına bağlıdır. Yüksek oranda silika içeren kuvars gibi doğal taşların ısı genleşme katsayısı kalkere göre daha yüksektir. Yüksek sıcaklık etkisi altında çimento hamurunda  $150-300^{\circ}C$  üzerinde büzülme gözlenirse de betonun ısı genleşmesi artar. Bunun sebebi agregada gözlenen genleşmenin çimento hamuru büzülmesine oranla daha baskın olmasıdır (Yüzer vd., 2013; Bazant ve Kaplan, 1996). Papayianni vd. (2005) tarafından  $150$  mm çapında  $300$  mm yüksekliğindeki silindir beton numunelerde yüksek sıcaklık etkisi esnasında yapılan ölçümlerde yüksüz durumda  $400^{\circ}C$ 'ye kadar büzülme daha sonra genleşme gözlenmiştir.

Yüksek sıcaklıklarda termik genleşmelerdeki farklılıklardan dolayı oluşan gerilmeler çimento hamuru ile agregaya ara yüzünde çatlamalara neden olur. Kullanılan agregaya türü yüksek sıcaklık etkisi altında kalan betonun genleşmesinde önemli rol oynar. Örneğin  $600^{\circ}C$ 'ye maruz silis esaslı agregaya ile üretilen betonun genleşmesi kalker esaslı agregaya ile üretilen betonun yaklaşık iki katı kadardır. Birçok betonda  $600-800^{\circ}C$ 'den sonra genleşme gözlenmez. Bu sıcaklıklarda çimento hamuru ve agregadaki kimyasal ve fiziksel dönüşümler betonun büzülmesine neden olur (Yüzer vd., 2013 ; Bazant ve Kaplan, 1996).

### 1.13.5. Isı Şoku Parametresi

Gevrek malzemelerde sıcaklık değişimleri hızlı ve sıcaklık gradyanı (sıcaklığın her 100 m'de gösterdiği değişim miktarı) yüksek ise büyük ısı gerilmeler ve dolayısıyla çatlamlar oluşabilir. Isıl şoku denilen bu olay ısı iletimine ve ısı genleşmeye büyük ölçüde bağlıdır. Isı iletimi yüksek ve ısı genleşmesi küçük malzemelerde ısı enerji hızla çevreye yayılır. Bu nedenle sıcaklık gradyanı düşük, boyut değişimleri az, dolayısıyla gerilmeler küçük olur. Isıl şoka dayanıklılık, yüksek ısı iletimli ve yüksek çekme mukavemetli malzemelerde büyük, ısı genleşmesi ve elastisitesi büyük olan malzemelerde ise küçük olur (Onaran, 1999). Ani sıcaklık değişimlerinde oluşan termal şok, betonda büyük termal gerilmeler ve çatlaklar oluşturmakta, buna bağlı olarak yüksek sıcaklık etkisi sonrası suda soğutulan betonların havada soğutulan betonlara göre dayanımındaki kayıp oranı daha fazla olmaktadır (Yüzer vd., 2011; 2013; Shackelford, 2005).

### 1.13.6. Buhar Difüzyonu

Malzemenin su buharı difüzyonuna gösterdiği direnç, su buharı difüzyon direnç faktörü olarak tanımlanır ve yapı malzemesi için TS EN 12086'ya göre belirlenir. Kearsley ve Wainwright (2001) tarafından yapılan çalışmada yoğunluğun artması ile betonun su buharı geçirimsizliğinin azaldığı dolayısı ile su buharı difüzyon direncinin arttığı ifade edilmiştir. Diğer bir deneysel çalışmada da betona hava sürükleyici katılması durumunda toplam porozite arttıkça su buharı difüzyon direnç faktörünün %30 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Kabay, 2009). Yukarıda anlatılan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere betonda boşluk oranının artması buhar difüzyonu direnç faktörünü azaltır. Buhar difüzyon direncinin azalması, yüksek sıcaklık etkisinde buhar basıncının azalmasına dolayısıyla parça atma hasarının engellenmesine katkı sağlayacaktır (Xiao ve Falkner, 2006).

Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonda gerek çimento hamurunda gerekse çimento hamuru-agrega arayüzünde oluşacak çatlaklar poroziteyi arttıracığından buhar difüzyonu direnç faktörünün azalmasına neden olacaktır. Vejmelkova vd. (2008) tarafından yapılan deneysel çalışmada, yüksek dayanımlı beton numuneler 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Deney sonucunda betonun su buharı difüzyonunun termal etki sonrası oluşan çatlaklardan dolayı %50 oranında arttığı tespit edilmiştir.

### **1.13.7. Birim Kütle**

Sıcaklığın artması ile boşluklardaki suyun buharlaşması sonucu kütle azalır, genişleme nedeniyle hacim artar (Yüzer vd., 2013; Aköz vd., 1995). Porozite ve su içeriği betonun yangından sonraki hasar kontrol parametreleridir (Alonso vd., 2003). Isıtma sırasında betondaki ağırlık kaybı genellikle porozitenin artmasıyla sonuçlanır. Bu artış normal ve yüksek dayanımlı betonlar için yaklaşık lineer bir artıştır. Buna karşın ultra yüksek dayanımlı betonlar için bu geçerli değildir. Anhidrit çimento tanelerinin çokluğu ve kılcal boşlukların neredeyse olmaması buharın salıverilmesini zorlaştıran nedenlerdir, fakat ağırlık kaybının derecesi arttıkça porozite etkili bir şekilde artar (Alonso vd., 2003). Anderberg-Thelanderson sıcaklığın etkisi ile birim ağırlığın azalmasına sebep olan ağırlık kaybını silis esaslı agrega ile üretilen betonda araştırmıştır. Schneider ve Bazant yaptıkları çalışmada 1000 °C'ye kadar yoğunluğun %11-13 arasında azaldığını belirtmişlerdir.

### **1.13.8. Renk**

Renk cisimlerin fiziksel özelliklerinden biridir. Rengin görülmesi kaynağından çıkan ışığın yüzeyden yansyarak göze ulaştığında, gözdeki ağ tabaka üzerinde oluşturduğu etkinin beyin tarafından algılanması ile olur (Paksoy, 1999). Yüksek sıcaklığın etkisinde kalan betonun renginde bazen önemli değişiklikler meydana geldiği, bu değişikliklere bakılarak kalker ve silis esaslı agregalı betonun maruz kaldığı en büyük sıcaklığın tahmin edilebildiği, özellikle silisli nehir agregaları ile üretilen betonlarda renk değişiminin belirgin olarak görüldüğü, örneğin renk pembe veya kırmızı ise sıcaklığın 300-600 °C'ye, gri ise 600-900 °C'ye yükseldiği önceki çalışmalarda ifade edilmiştir (Baradan, 2010; Cioni, 2001).

Yüksek sıcaklık etkisinde kalan harç ve betonlar üzerinde yapılan çalışmalarda, renkteki değişimin betonun yapısında ve bileşimindeki değişikliklerin bir sonucu olduğu, basınç dayanımındaki azalmaya bir referans olabileceği sonucuna varılmıştır (Yüzer vd., 2013; 2007a; 2007b; 2005; 2001; Li vd., 2004; Onaran, 1999; Lin vd., 2007).

### **1.14. Yüksek Sıcaklığın Betonun Mekanik Özelliklerine Etkileri**

Betonarme yapılar, yangın, termal şok, endüstriyel uygulamalar vb. durumlarda yüksek sıcaklığa maruz kalmaktadır. Çoğu durumda yüksek sıcaklık beton elemanlarda ve

taşıyıcı duvarlarda önemli hasarlara yol açmaktadır (Yüzer vd., 2013; Cülfik ve Özturan, 2001). Betonarme yapılarda ana taşıyıcının beton olduğunu düşünürsek, betonun yüksek sıcaklıklardaki mekanik özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Yüksek sıcaklığın betonun basınç dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü gibi mekanik özelliklerine etkisi ayrı ayrı incelenecektir.

#### **1.14.1. Basınç Dayanımı**

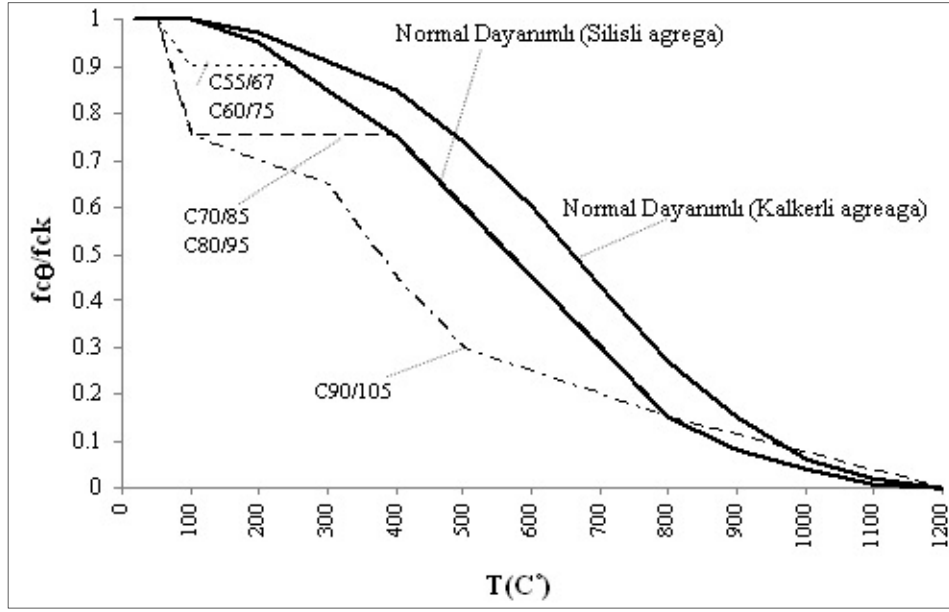
Yüksek sıcaklığın betonun basınç dayanımına etkisi şu şekilde özetlenebilir; basınç dayanımı 90 °C'de azalır, bu azalma %10-35 oranındadır. Bu sıcaklıktan sonra 200 °C'ye kadar dayanımda artış gözlenirken 200 °C'den sonra beton dayanımı sürekli olarak azalır (Yüzer vd., 2013; Bazant ve Kaplan, 1996). Savva vd. (2005) ise betonda 300 °C'ye kadar olan dayanım artışına dikkat çekmişler, dayanımdaki artışın silis esaslı agregası ile üretilen betonlarda daha fazla olduğunu ve bunun nedeni olarak çimento ile agregası arasındaki aderansın silisli agregalarda daha yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. 800 °C'de dayanım kaybı %70-90 arasındadır. Dayanımdaki bu değişimi beton üretiminde kullanılan agregası türü ve oranı doğrudan etkiler. Kalker esaslı agregası ile üretilen betonlar yüksek sıcaklık etkisi altında, silis esaslı agregası ile üretilen betonlardan daha iyi performans gösterirler. Agregası türünün yanı sıra beton karışımına giren agregası oranı da basınç dayanımındaki değişime etki eder ve bu oran arttıkça betonun dayanıklılığı artar. Isıtma ve soğutma hızı da basınç dayanımına etki eder ve soğutma hızı arttıkça dayanımdaki kayıp oranı artar. Buna göre su ile soğutulan numunelerin basınç dayanımlarındaki azalma havada soğutulan numunelere nazaran daha fazladır (Bazant ve Kaplan, 1996; Yüzer vd., 2004; Lee vd., 2008). Deneysel çalışmalar sonucunda yüklü durumda yüksek sıcaklığa maruz kalan betondaki dayanım kaybının yüksüz olarak ısıtılan betonlardan daha az olduğu tespit edilmiştir. Dayanıma numune boyutu ve biçimi de etki eder. Küp numunelerin etki sonrası dayanımları prizma şeklindeki numunelere göre daha fazladır. Ancak numune boyutu küçüldükçe dayanım kaybı artar. Agregası boyutu ve biçimi de yüksek sıcaklığa maruz kalan betonların basınç dayanımını etkiler (Yüzer vd., 2013; Bazant ve Kaplan, 1996).

Kim vd. (2009), farklı sıcaklıklar altında, uçucu kül ve silis dumanı katkılı yüksek dayanımlı betonların mekanik davranışlarını incelemiştir. 100-700 °C arasındaki sıcaklıklarda yaptıkları çalışma sonucu, betonun 100 °C'de dayanımının %20'sini kaybettiği, beton dayanımını arttıkça bu oranın arttığı, ilk dayanım kaybından sonra 200-300

°C arasında basınç dayanımında bir toparlanma meydana geldiği (%8-13), beton dayanımı arttıkça bu toparlanma noktasının yükseldiği belirtilmiştir. Beton 400 °C'ye kadar dayanımının büyük kısmını kaybetmiş, 700 °C'de dayanım kaybı %55'e ulaşmıştır.

Yüksek sıcaklık etkisinde beton basınç dayanımındaki azalma, artık yapısal yangın tasarımının referans alındığı standarta da girmiştir (TS EN 1992-1-2, 2006). Bu standartta normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı betonlar ayrı ayrı ele alınmış; normal dayanımlı betonlar kalker ve silis esaslı agregalı olmak üzere ikiye, yüksek dayanımlı betonlar C55/67-C60/75 (1.sınıf), C70/85-C80/95 (2.sınıf), C90/105 (3.sınıf) olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Beton sınıflarının yüksek sıcaklık etkisinde, sıcaklık sonrası kalan dayanımları ( $f_{c\theta}$ ) Şekil 1.11'de verilmiştir. Buna göre normal dayanımlı beton için kritik sıcaklık olarak belirtilen 600 °C'de silis ve kalker esaslı agregaya ile üretilen betonlarda dayanım kaybı sırası ile %55 ve %45 iken 3. sınıf yüksek dayanımlı beton için bu oran %75'e düşmektedir. 1. ve 2. sınıf yüksek dayanımlı betonlar için önerilen tasarım değerleri ise sırası ile 300 °C ve 400 °C'den sonra silis agregalı beton için verilen değerler ile aynıdır (TS EN 1992-1-2, 2006). Bu standartta göre 900 °C sıcaklığa maruz kalmış betonların dayanım sınıfına bakılmaksızın taşıyıcılığının gözden çıkarıldığı söylenebilir.

Li vd. (2004) C40, C60 ve C70 betonlarının yüksek sıcaklık etkilerinden sonra basınç, çekme ve eğilme mukavemetlerini incelemiştir. Üretilen numuneler 200 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C sıcaklıklara kadar ısıtılmış, hedef sıcaklığa ulaşıldığında fırın kapatılarak numuneler oda sıcaklığına soğutulmuştur. Bahsedilen sıcaklıklarda C70 betonu başlangıç basınç mukavemetinin sırasıyla %82.3, %62.3, %58.1 ve %27.3'ünü koruyabilmiştir. Numune boyutu arttıkça mukavemetteki kaybın daha az olduğu da belirtilmiştir. Ayrıca 800 °C üzerinde betonun su içeriğinin basınç mukavemeti üzerinde çok etkisi olmadığı ifade edilmiştir (Li vd., 2004; Çavdar 2012; 2013).



Şekil 1.11. Sıcaklık-kalan basınç dayanımı ilişkisi (TS EN 1992-1-2, 2006)

#### 1.14.2. Çekme Dayanımı

Yüksek sıcaklık etkisinde yarma deneyi ile elde edilen çekme dayanımlarında 100 °C'den itibaren önemli düşüşler olmakta ve 600 °C'de kayıp %70'lere varmaktadır (Behnood ve Ghandehari, 2009). Guise vd. (1996) tarafından yapılan deneysel çalışmada ise uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkılı ve katkısız beton numunelerde, 200 ve 300 °C'de eğilmede çekme dayanımında önemli ölçüde azalma olduğu görülmüştür.

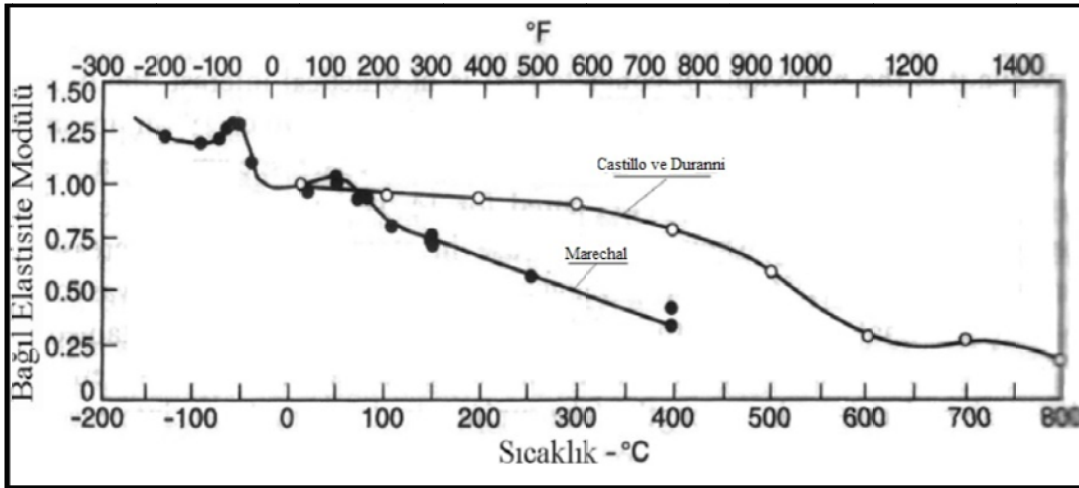
Kızılkant tarafından yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun yarmada çekme dayanımının araştırıldığı çalışmada, 200 °C'den itibaren dayanımın azalmaya başladığı, sıcaklık 900 °C'ye ulaştığında yalnızca hidratların dehidratasyonu dolayısı ile değil özellikle agrega ile çimento hamuru arasındaki termal uyumsuzluktan dolayı yarmada çekme dayanımındaki azalmanın %80'lere kadar ulaştığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada silis esaslı agrega ile üretilen betondaki dayanım kaybının kalker esaslı agrega ile üretilen numunelerden daha fazla olduğu, suda soğutmanın havada soğutmaya göre daha zararlı olduğu belirtilmiştir.

Chen ve Liu (2004) yüksek dayanımlı ve lifli yüksek dayanımlı betonların (YDB) yüksek sıcaklık etkilerinden sonra arta kalan mukavemetlerini incelemiştir. Hazırladıkları numuneleri 20 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklıklara üçer saat süreyle maruz bırakmışlardır. Numuneler doğal yolla oda sıcaklığına soğutulmuş olarak çekme mukavemeti belirlenmiştir. YDB'de yüksek sıcaklıklarda patlayarak parçalanma

görülmüştür. Karbon ve çelik lif kullanımının patlama zamanını geciktirdiği, polipropilen lifin ise bu olayı ortadan kaldırdığı belirtilmiştir. Lifli YDB'lerin arta kalan çekme mukavemetlerinin lifsiz YDB'larinkinden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Yüksek erime noktalı (karbon veya çelik gibi) liflerin düşük erime noktalı (polipropilen gibi) lifler ile karıştırılarak kullanılmasının YDB'lerin yüksek sıcaklık etkilerinden sonraki özellikleri üzerinde belirgin iyileştirici katkı sağladığı vurgulanmıştır.

### 1.14.3. Elastisite Modülü

Betonarme yapıların davranışı betonun elastisite modülüne bağlıdır ve bu modül sıcaklıktan oldukça etkilenir. Sıcaklığın betonun elastisite modülüne etkisi Şekil 1.12'de verilmiştir. Kütle halinde kür edilmiş betonlarda 21-96 °C arasında elastisite modülünün değerinde herhangi bir değişiklik yoktur. Ancak sıcaklık 121 °C'ye ulaştığında elastisite modülünün değeri azalmaktadır. Su betondan uzaklaştığında, 50-800 °C arası elastisite modülündeki azalma giderek artmaktadır. Genel olarak dayanımdaki azalma ile elastisite modülündeki azalma benzer eğilim göstermektedir (Neville, 2000).



Şekil 1.12 Betonun elastisite modülünün sıcaklıkla değişimi (Neville, 2000)

Cheng vd. (2004) kalker ve silis esaslı agregalarla üretilmiş, basınç dayanımları 75-84 MPa arasında değişen, yüksek dayanımlı betonlar üzerine yaptıkları çalışmada sıcaklığın betonun elastisite modülüne olan etkilerini incelemiştir. Buna göre sıcaklığın en büyük şekil değiştirme üzerinde etkisinin olduğu ve kalker esaslı agrega ile üretilen betonun en büyük şekil değiştirme değerinin silis esaslıya göre %40 daha fazla olduğu

görülmüştür. Benzer sonuç, Savva vd. (2005) tarafından farklı tür ve oranda puzolan katkılı silis esaslı ve kalker esaslı agrega ile üretilen betonlarda yapılan deneysel çalışmada da gözlenmiştir. Bu çalışmada puzolanların elastisite modülüne etkisi açıkça görülmemiştir. Ancak uçucu kül kullanılarak yapılan bir çalışmada, yüksek sıcaklık etkisinden sonra elastisite modülündeki azalmanın uçucu kül içeren betonlarda daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Papayianni ve Valliasis, 2005).

#### **1.14.4. Eğilme Dayanımı**

Zoldners and Wilson (1973) yaptıkları çalışmada, genişmiş şist ve cüruf agregaları kullanarak hazırladıkları beton karışımlarını yüksek sıcaklık etkilerine maruz bırakmışlardır. Bazı karışımlarda çimento yerine %25-40 arasında oranlarda uçucu kül, silis dumanı, şist külü gibi mikrofiller malzeme kullanılarak bu malzemelerin beton davranışına etkisi incelenmiştir. Numuneler fırında oda sıcaklığından 1000 °C'ye kadar sıcaklıklara ısıtılmış, sonra kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda farklı sıcaklık etkilerinde, tam hafif betonların yarı hafif betonlara göre daha iyi dayanım gösterdiği, yüksek fırın cürufu kullanılmasının yangın etkilerinde bir katkı sağlamayıp aksine betonun eğilme mukavemetini olumsuz yönde etkilediği belirtilmiştir. Ayrıca portland çimentosu yerine mikrofiller malzeme kullanımının 500 °C'ye kadar hafif betonun ısı dayanımını iyileştirdiği, silis dumanının basınç mukavemetinde %20, eğilme mukavemetinde %10 artış sağlayarak en belirgin iyileştirmeye sebep olduğu bildirilmiştir.

Hüsem (2006) tarafından normal ve yüksek dayanımlı mikro harçların yüksek sıcaklıklar altında eğilme mukavemeti değişimleri incelenmiştir. Harç numuneleri 200 °C, 400 °C, 600 °C, 800 °C ve 1000 °C sıcaklık etkilerine bir saat süreyle maruz bırakılmışlardır. Daha sonra numunelerin bir kısmı havada bir kısmı ise suda soğutulmuştur. Prizmalar üzerinde eğilme deneyi yapılmıştır. Normal ve yüksek dayanımlı betonlarda sıcaklığın artmasıyla eğilme mukavemetlerinin azaldığı, bu azalmanın suda soğutulan numunelerde daha fazla olduğu belirtilmiştir (Hüsem, 2006; Çavdar, 2012; 2013).

#### **1.15. Polimer Katkısının, Yüksek Isıya Maruz Betonların Özelliklerine Etkisi**

Oussama vd., 2012 yılında yaptıkları çalışmada epoksi reçinesi kullanarak polimer betonu numuneleri hazırlamış ve bu numuneleri 3 saat boyunca 100 °C, 150 °C, 200 °C,



225 °C ve 250 °C sıcaklıklara maruz bırakarak numunelerin kütle kaybı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı gibi mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Deneyler sonucunda 250 °C sıcaklığa maruz kalan numuneler, geleneksel betonla kıyaslandığında daha yüksek mekanik dayanımlar sergilemişlerdir.

2013 yılında yaptıkları çalışmada Yonar vd., 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C sıcaklığa maruz bıraktıkları numuneleri 24 saat boyunca polimer emdirdikten sonra basınç dayanımı ve ultrases deneylerine tabi tutmuşlardır. Deneyler sonunda basınç dayanımları incelendiğinde, 200 °C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra polimer emdirilmiş betonda en yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmiştir. 200 °C'deki numunelerin kontrol numunesine göre basınç dayanımında % 31.08 artış görülmüştür. Ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde de en yüksek ultrases hızı değeri yine 200 °C'deki polimer emdirilmiş beton numunelerde elde edilmiştir. 28 günlük kontrol numunesine göre ultrases hızı değerinde polimer emdirilmiş numunede %18.2 artış görülmüştür.

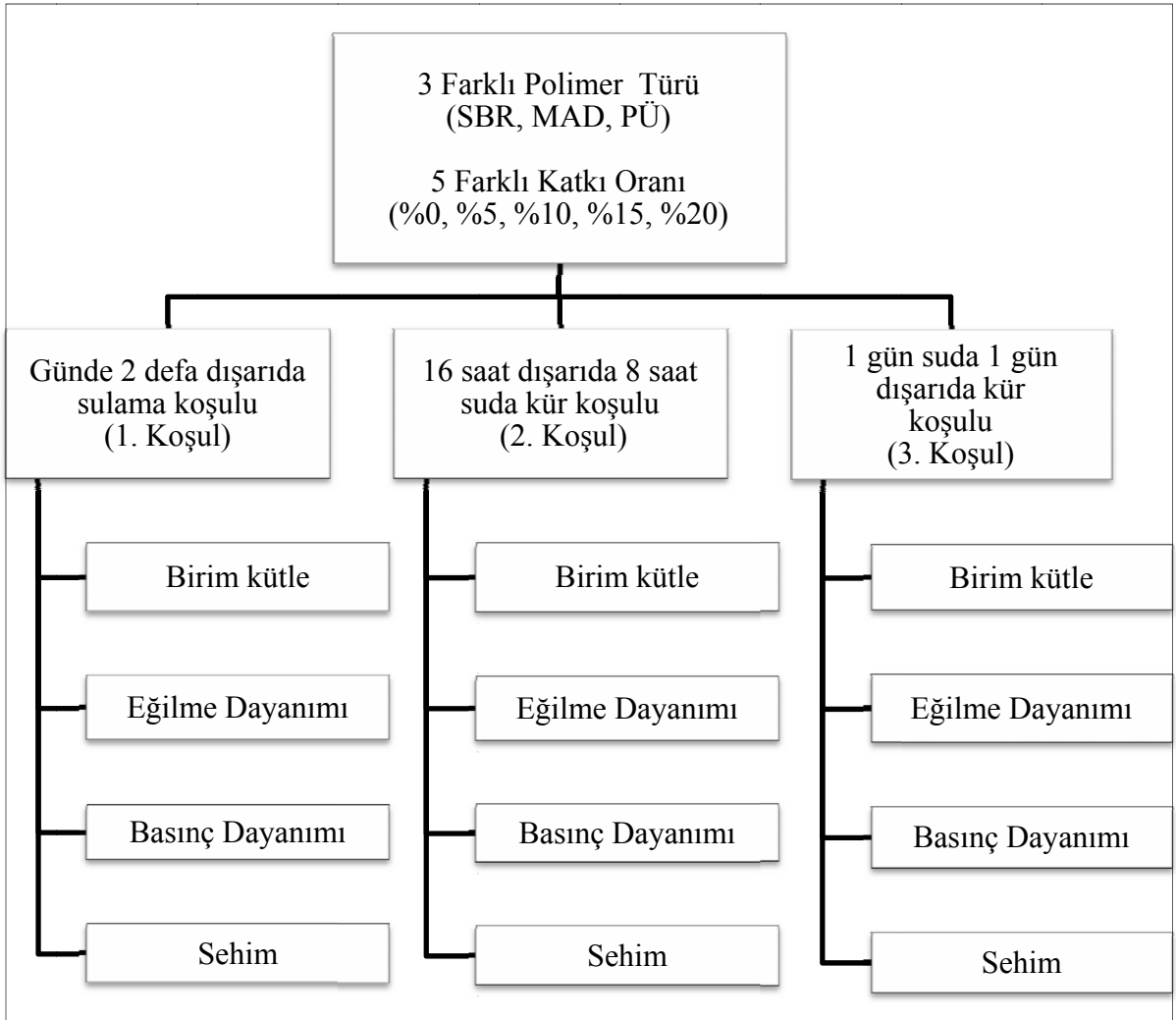
Ming Kong vd. (2013) polimerle iyileştirilmiş beton harcı üretmek için, çalışmalarında manyetiğe duyarlı içi akrilat/stiren yardımcı polimer kabuğu ile kapsüllenmiş  $Fe_3O_4$  içeren polimer lateks kullanmışlardır. Yapılan bu çalışmada Polimer/Çimento oranı %0 ve %3 olan numunelerin yanı sıra manyetik polimer lateksle numuneler üretilmiş ve 550 °C'ye kadar sıcaklığa maruz bırakılmış ve kütle kayıpları incelenmiştir. 400 °C'ye kadar sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin içinde en düşük kayıp %10'luk bir kütle kaybı ile manyetik polimer lateks numunelerinde görülürken bu numunelerde 500 °C'de %75'lik çok ani ve büyük bir kütle kaybı görülmüştür. %0 ve %3 polimer/çimento oranlı numuneler ise birbirlerine çok yakın kütle kaybı göstermişlerdir ve 550 °C sıcaklık için bu kayıp sadece %15 civarında olmuştur.

Muhammad vd. 2011 yılında yaptıkları çalışmada doğal lateks kauçuğunun çimento hamuru üzerindeki elastomerik etkisini incelemişlerdir. Bunun için 3 farklı polimer/su oranında (%0, %10 ve %20), su ve çimento yerine sadece lateks kullanılan ve çimento lateks karışımli numuneler hazırlanmış ve 6 ay boyunca kür edilmiştir. 6 ay sonunda bu numuneler 25-900 °C arasındaki sıcaklıklara maruz bırakılmış ve mikro yapıları incelenmiştir. Ayrıca kütle kayıpları incelendiğinde doğal lateks kauçuğu kullanıldığında 350-430 °C arasında kütle kaybı %5'lik bir düşüş gözlemlenmiş olsa da polimerle iyileştirilmiş betonların yüksek sıcaklık direncinin, elastomer içermesi sayesinde katkısız betona kıyasla önemli ölçüde yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

## 2. MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DENEYSEL YÖNTEM

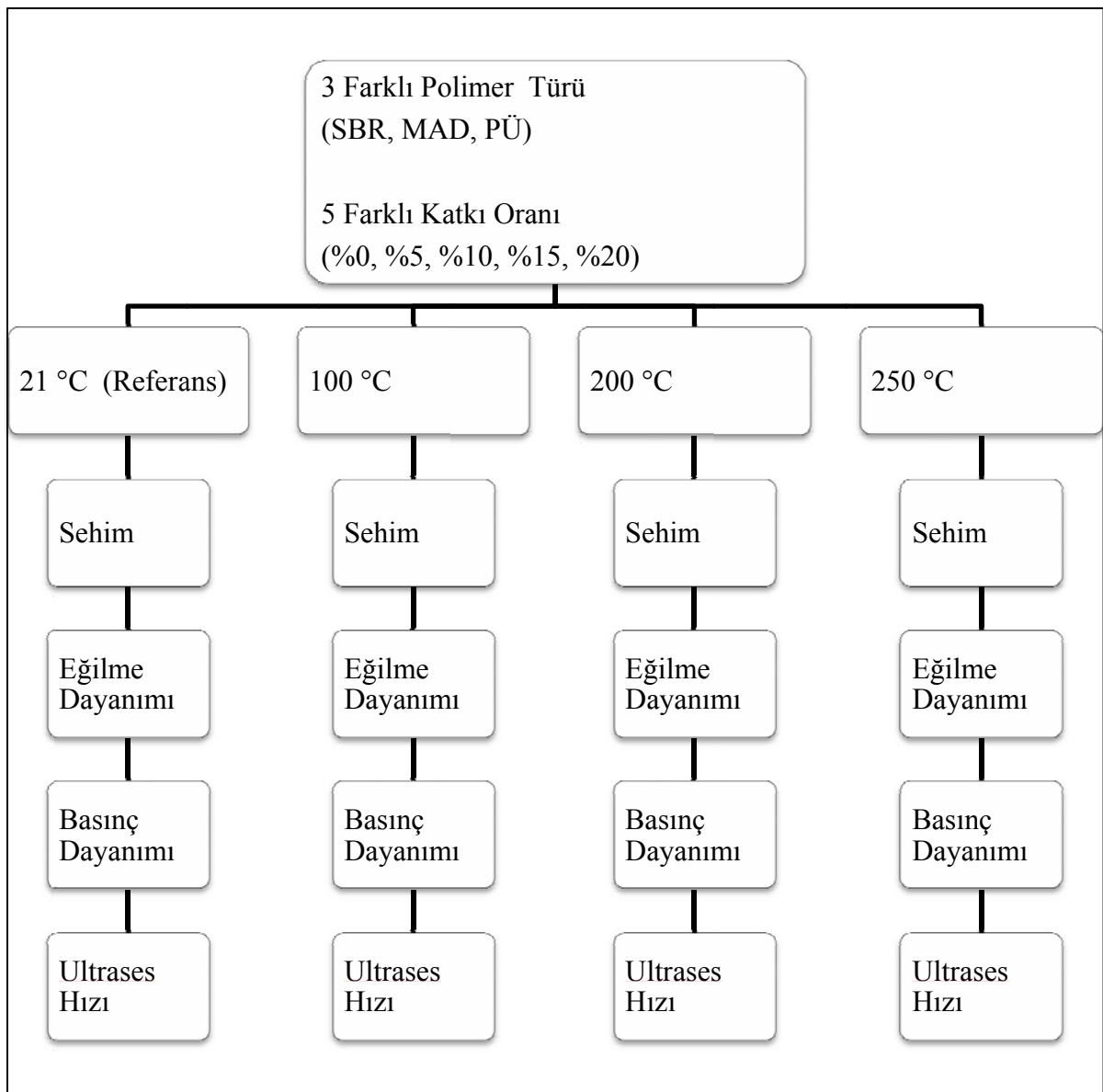
### 2.1. Deney Yönergesi

İki kısımdan oluşan bu çalışmada, ilk kısımda 3 farklı polimer (SBR, MAD, PÜ) çimento harçlarına 5 farklı oranda (%0, %5, %10, %15, %20) katılarak, 3 farklı kür koşulu için çimento harçları hazırlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak 1. kısım deney yönergesi (Şekil 2.1) tasarlanmıştır. Her bir kür koşulu için hazırlanan numunelere birim kütle, eğilme, basınç ve sehim deneyleri uygulanmıştır. Böylece çimento hamuruna en iyi mekanik özellikler kazandıran en uygun kür koşulu tespit edilmiş olup fiziksel özelliklerin değişimi gözlemlenmiştir.



Şekil 2.1. 1. Kısım deney yönerge şeması

Çalışmanın ikinci kısmında çimento harçlarına 3 farklı polimer (SBR, MAD, PÜ) 5 farklı katkı oranında (%0, %5, %10, %15, %20) ilave edilmiştir. Ardından ilk kısımda belirlenen en uygun kür koşulu ile 28 gün boyunca kür edilmiştir. Kür işleminden sonra 4 farklı sıcaklık (21 °C, 100 °C, 200 °C ve 250 °C) için hazırlanan numuneler deney uygulaması için etüve yerleştirilmiş ve her sıcaklığa 1 saat boyunca maruz bırakılmıştır. 1 saatin sonunda polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının mekanik özellikleri ve ultrases hızları incelenmiştir. Bu amaca yönelik olarak 2. kısım deney yönergesi (Şekil 2.2) tasarlanmıştır.



Şekil 2.2. 2. Kısım deney yönergesi

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Çimento Harcının Hazırlanması

Deneyleer için hazırlanan çimento harç numuneleri, TS EN 196-1 “Çimento deney metodları” standartına uygun olarak Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında üretilmiştir. Buna göre numuneler, boyutları 160 mm × 40 mm × 40 mm olacak biçimde tasarlanmış üçlü prizma kalıplara dökülmüştür.

Harcın bileşim oranları kütlece bir kısım çimento, üç kısım standart kum ve 1/2 kısım su (su/çimento oranı: 0.50) şeklinde standartta yer almaktadır. Fakat harç bileşimlerine katılan polimer malzemenin hava sürükleyici etkileri ve akışkanlaştırıcı etkileri sebebiyle karma suyunun katılan polimer kütlelerinin %50’si oranında kısılması yoluna gidilmiştir (Tablo 2.1). Polimer katkı oranları çimento kütlelerine nispet edilmiştir.

Tablo 2.1. Polimer katkılı numunelerin karışım tasarımı

Polimer Katkı Oranı (%)	Çimento (g)	Kum (g)	Polimer Malzeme (g)	Su (g)	S/Ç
0%	450	1350	0	225	0.5
5%	450	1350	22.5	213.75	0.475
10%	450	1350	45	202.5	0.45
15%	450	1350	67.5	191.25	0.425
20%	450	1350	90	180	0.4

Deney programında yer aldığı üzere, birinci kısımda harç numunelerine 5 farklı kütle oranında (%0, %5, %10, %15 ve %20) SBR, MAD ve PÜ polimer ilaveleri yapılmıştır (Şekil 2.2). Polimer katma işlemi harca standart kumun ilavesinden hemen önce gerçekleştirilmiş olup, karışımın tam bağdaşık bir biçimde olabilmesi için standarttaki sürelerle ilaveten 30 saniye daha yüksek hızda karıştırma işlemi devam ettirilmiştir. Daha sonra bu bileşim, adı geçen standarda uygun olarak özel karıştırıcı (Şekil 2.3) içerisinde 2 dakika 30 saniye süreyle karıştırılmıştır.



Şekil 2.3. Özel tasarım çimento harç karıştırıcısı

Hazırlanan harç bekletilmeden kalıplara doldurulup sıkıştırılmıştır. Bu işlem iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada bir miktar harç üçlü prizma kalıba konulup kalıba yayılarak, titreşim masasında yeterli bir süre (polimer oranına bağlı olarak 2-5 dakika) sıkıştırılmış, ikinci aşama olarak yaka kaldırılıp, kalıbın yüzeyi sıyrılarak, düzeltilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Sıkıştırıldıktan sonra yüzeyi düzeltilmiş harç örneği

### 2.2.2. Numunelere Uygulanan Farklı Kür Koşulları

TS EN 196-1'de belirtilen standart kür şartlarına göre; numuneler nem ortamında ( $23\pm 1$  °C'de) 24 saat bekletildikten sonra kalıpları sökülür, bu süreç sonunda kalıplar çıkarılır ve prizmatik harç numuneleri musluk suyu ile dolu bir kür havuzunda 28 güne kadar muhafaza edilir.

Ancak standartlardan farklı olarak bu çalışmadaki numuneler 28 gün boyunca farklı şartlar altında kür edilmiştir. Bu uygulamanın temel sebebi polimer katkı malzemesinin su içerisinde sertleşme özelliği gösterememesidir. Bunun için numunelerin su ile temas halinde kalma süreleri esas alınarak 3 farklı kür koşulu uygulanmıştır.

1. *Kür koşulu:* Üretilen numuneler 28 gün boyunca günde 2 kez dışarıda sulama yapılarak kür edilmiştir.

2. *Kür koşulu:* Üretilen numuneler 16 saat dışarıda 8 saat kür havuzunda bırakılarak kür edilmiştir.

3. *Kür koşulu:* Üretilen numuneler 1 gün dışarıda 1 gün kür havuzunda kür edilmiştir. Bu 3 kür koşulu uygulanarak numuneler deneylere hazır hale getirilmiştir. Bu yönerge birinci kısım için uygulanmıştır.

### 2.3. Deneylerin Uygulanması

Hazırlanan numuneler farklı kür koşullarında bekletildikten sonra mekanik olarak iki deneye tabi tutulmuştur. Bunlar eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleridir. Eğilme deneyi sırasında numunelerin kırılmada yaptığı sehimde ayrıca belirtilmiştir. Daha sonraki işlemlerde ise numunelerin fiziksel özelliklerinin değişimi incelenmiştir. İlk kısım deneyleri uygulanıp en uygun kür koşulu belirlendikten sonra yüksek sıcaklık deneylerini kapsayan ikinci kısma geçilmiştir. İkinci kısmın sonunda yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerin mekanik özellikleri ve ultrases hızı değerleri gözlemlenmiştir. Son olarak ise silindir olarak hazırlanan numuneler su işleme derinliği deneyine tabi tutulmuştur.

#### 2.3.1. Eğilme Dayanımı Deneyi

Boyutları 40 mm × 40 mm × 160 mm olan prizma numuneler deney aletine (Şekil 2.5) yan yüzeylerden biri üzerine ve uzunluğuna, eksenine mesnet silindirlerinin eksenine dik olacak şekilde yerleştirilir. Yükleme, yükleyici silindir aracılığı ile yan yüzünden eksenine

dik olarak uygulanır ve  $50 \pm 10$  N/s hızında artırılarak numune kırılıncaya kadar sürdürülür. İki parçaya bölünmüş olan yarım prizmalar basınç dayanım deneyine kadar ıslak bir bezle sarılarak muhafaza edilir.



Şekil 2.5. Eğilme dayanımının ölçülmesi

Eğilme dayanımı  $R_f$ ,  $N/mm^2$  olarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$R_f = \frac{1.5 \times F_f \times l}{b^3} \quad (2.1)$$

Burada;

$R_f$ ; Eğilme dayanımı ( $N/mm^2$ ),

$b$ ; Prizma kare kesitinin kenar uzunluğu (mm),

$F_f$ ; Prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanan en büyük yük kuvveti (N),

$l$ ; Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık (mm)'dir.

### 2.3.2. Sehim Ölçümü

Polimer katkısı ile numunelerin sehim değerlerindeki değişimlerin incelenmesi amacıyla bu değerler tespit edilmiştir. Eğilme cihazı şekil değiştirme kontrol donanımına sahip olmadığından bu işlem bir dijital şekil değiştirme ölçer (ekstansometre) yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Eğilme deneyinde sehim ölçümü

### 2.3.3. Basınç Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımı sonrası kırılan numunenin iki yarım parçası ayrı ayrı basınç dayanımına tabi tutulurlar (Şekil 2.7). Böylece bir seferde üç kalıp halinde dökülen bir harç numunesinden altı farklı değer elde edilmiş olur. Yarım prizmalar, cihazın plakaları arasına  $\pm 0.5$  mm'den fazla taşmayacak şekilde merkezlenerek ve prizmanın arka yüzü plakadan veya yardımcı plakalardan 10 mm taşacak şekilde uzunlamasına yerleştirilir.



Şekil 2.7. Basınç dayanımının ölçülmesi



Basınç aletinin çene alanı 40 mm × 40 mm'dir. Yükleme 2400±200 N/s hızla, prizma kırılincaya kadar artırılarak sürdürülür.

Basınç dayanımı  $R_c$ , aşağıdaki eşitlik (2.2) yardımıyla hesaplanır:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (2.2)$$

Burada;

$R_c$ ; Basınç dayanımı (N/mm<sup>2</sup>),

$F_c$ ; Kırılma anındaki en büyük yük kuvveti (N),

1600; Plâkaların veya yardımcı plâkaların (40 mm × 40 mm) alanı (mm<sup>2</sup>)'dir.

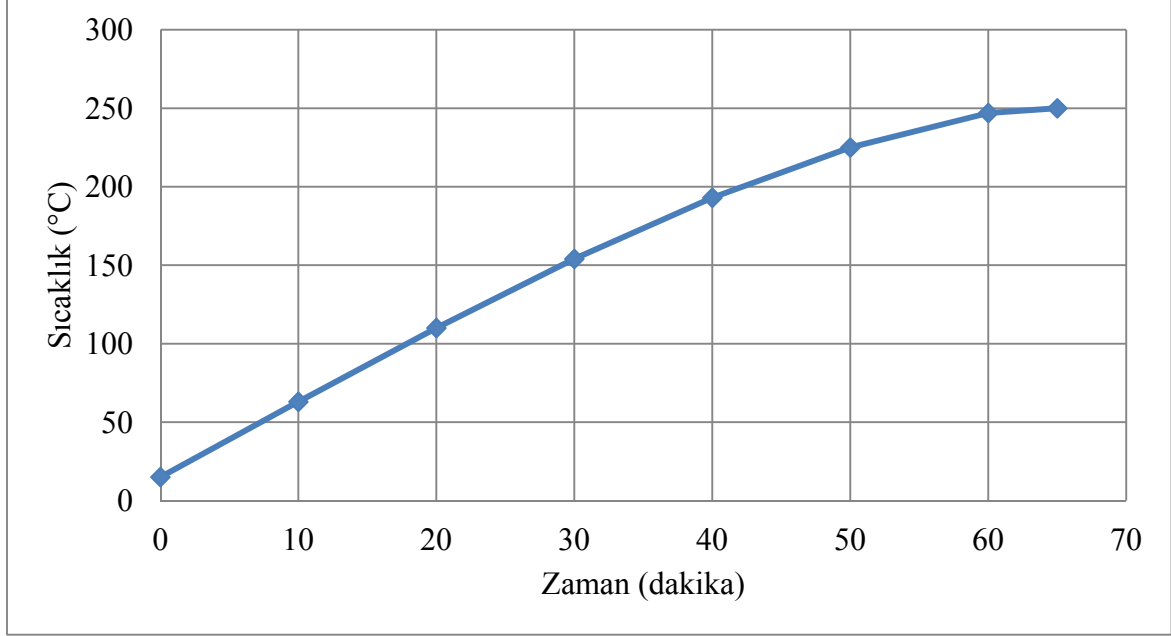
#### 2.3.4. Numunelerin Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılması

Birinci kısımda belirlenen kür şartı ile 28 gün boyunca kür edildikten sonra numuneler çalışmanın amacına uygun olarak 4 farklı sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Bu deney için etüve yerleştirilen numuneler Şekil 2.8'deki zaman-sıcaklık diyagramına bağlı olarak ulaştıkları 100 °C, 200 °C, 250 °C sıcaklıklarda ayrıca 1 saat bekletilmişlerdir (Şekil 2.9).



Şekil 2.8. Numunelerin etüve yerleştirilmesi

Yüksek sıcaklığa maruz kalma işlemi tamamlandıktan sonra numunelerin mekanik özelliklerinin değişimi gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra yüksek sıcaklığa maruz kalan numunelerin ultrases hızları ölçülmüştür. Şekil 2.9’da kullanılan etüvün Zaman-Sıcaklık diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.9. Kullanılan etüvün Zaman-Sıcaklık diyagramı

Yüksek ısı deneyleri sırasında polimerlerin ergime sıcaklığına yaklaştıkça polimerle iyileştirilmiş harçlardan koku ve duman çıkışı gözlemlenmiştir. Bu durum özellikle 200 °C’den başlayarak 250 °C’de büyük artış göstermiştir.

### 2.3.5. Ultrases Hızı Deneyi

Bu yöntemde, ultrases 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 (Erdoğan, 2003). Çalışmanın ikinci kısmında bu yöntem, her sıcaklık için 3’er adet 40 x 40 x 160 mm ölçülerindeki prizma numuneler üzerinde uygulanmıştır. Beton numunenin bir yüzeyinden gönderilen ses üstü dalganın diğer yüzeyine ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra, dalga hızı aşağıda verilen

eşitlik (2.3) kullanılarak hesaplanmaktadır (Erdoğan, 2003; ASTM C 597, 1994; Yonar vd., 2013).

$$V = \frac{S}{t} \times 10^3 \quad (2.3)$$

Burada;

$V$ ; Ses üstü dalga hızı (km/s),

$S$ ; Numunenin ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (m),

$t$ ; Ses üstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı diğer yüzeye kadar geçen zaman (mikro saniye)



2.10.Ultrasonik test cihazı

### 2.3.6. Numune Kütle Değişimlerinin Tespiti

Çimento harç örneklerinin, mekanik özellikleriyle ilişkisini ortaya koymak üzere bazı fiziksel özellikleri (havadaki kütle, su içerisindeki kütle, etüv kurusu kütle) belirlenirken, TS EN 12390-7 standardında yer alan ilkeler temel alınmıştır.

Numunenin havadaki kütlesi, aşağıda verilen işlem kullanılarak belirlenir.

Numune, terazinin kefesinden alınır ve nemli bez kullanılarak yüzeylerdeki su kurulanır. Numune teraziye yerleştirilir ve havadaki kütle belirlenerek ( $m_a$ ), gram cinsinden kaydedilir.

Numunenin su içerisindeki kütlesi, aşağıda verilen işlem kullanılarak belirlenir.

Boş numune kefesi su içerisine tamamen batacak ancak depo tabanına değmeyecek şekilde su deposu, yukarıya kaldırılır. Numune kefesinin görünür kütlesi ( $m_{st}$ ), gram olarak kaydedilir.

Suya batırılmış numune ve kefenin toplam görünür kütlesi ( $m_{st} + m_w$ ), gram olarak kaydedilir.

Etüv kurusu kütle; numunenin 24 saat ve/veya kütlesi sabit kalıncaya kadar, fırında (etüv) 100-110 °C sıcaklıkta kurutulduktan sonra bulunan kütlesidir.

Numune hacmi, aşağıda verilen eşitlik (2.4) kullanılarak hesaplanır:

$$V = \frac{m_a - [(m_{st} + m_w) - m_{st}]}{\rho_w} \quad (2.4)$$

Numune birim kütlesi ise, aşağıda verilen eşitlik (2.5) kullanılarak hesaplanır:

$$\rho_c = \frac{m_a}{V} \quad (2.5)$$

Burada;

$V$ ; Numunenin hacmi ( $m^3$ )

$m_a$ ; Numunenin havadaki kütlesi (g)

$m_{st}$ ; Kefenin su içerisindeki görünür kütlesi (g)

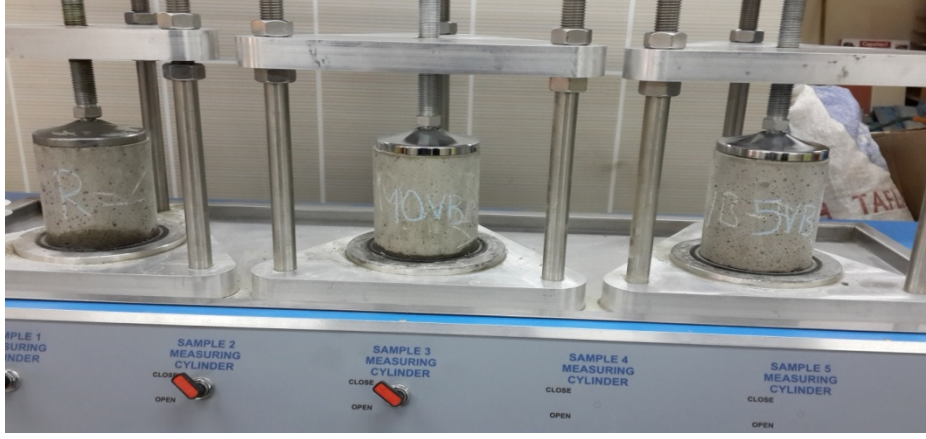
$m_w$ ; Numunenin su içerisindeki görünür kütlesi (g)

$\rho_w$ ; Suyun 998  $kg/m^3$  olarak kabul edilen, 20 °C sıcaklıktaki yoğunluğu

$\rho_c$ ; Numunenin birim kütlesidir ( $g/cm^3$ ).

### 2.3.7. Su İşleme Derinliği Tayini Deneyi

Su geçirimsizlik betonun fiziksel özelliklerinden biridir. Polimer katkı malzemesinin betonun geçirimsizlik özelliğine etkisini incelemek için TS EN 12390-8'e göre 10 cm çapında numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler su işleme derinliği tayin cihazına üçerli gruplar halinde (Şekil 2.11) yerleştirilir. Numuneler 72 saat boyunca 5 bar basınç altında bekletilir.



Şekil 2.11. Su işleme derinliği deney cihazı

72 saat sonunda suyun numuneler içindeki ilerleme miktarını bulmak için yarmada çekme deneyi yapılmış ve kırılan numunelerin iç yüzeyi incelenerek suyun işleme derinliği tespit edilmiştir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12. Su işleme derinliğinin belirlenmesi

### 2.3.8. İnce Kesit Örneklerinin Hazırlanması ve İncelenmesi

Sertleşmiş harç örneklerinin mineralojik incelemeleri, Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Taş Kesme ve Parlatma Laboratuvarı ve Optik Mineraloji Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan 0.02 mm kalınlığındaki ince kesit örnekleri ise “Leica DM EP” marka polarizon mikroskop yardımıyla incelemeye geçirilmiştir.

Söz konusu örneklerde özellikle hamur yapıları ve hamur içerisindeki boşluklarda polimer oluşumlar tanımlanmaya çalışılmıştır. Prizma harç örneklerinden kesit alınırken, daha çok yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan ve bu etkiyle meydana gelen oluşumların daha belirgin olacağı yüzeye yakın yerler seçilmiştir.

## 2.4. Malzeme Özellikleri

### 2.4.1 Portland Çimentosu

Portland çimentosu klinkeri, kütlece en az 2/3 oranında kalsiyum silikatlardan ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  ve  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) ve geri kalanı alüminyum ve demir ihtiva eden klinker fazları ile diğer bileşiklerden oluşan hidrolik bir maddedir. Kütlece  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  oranı 2.0'den az olmamalıdır. MgO muhtevası kütlece % 5'den fazla olmamalıdır (TS EN 197-1, 2002).

Deneyler sırasında Aşkale Gümüşhane Çimento Fabrikası tarafından üretilen CEM I 42.5 R türü çimento kullanılmıştır. Bu çimentonun kimyasal özellikleri (Tablo 2.2)'te verilmektedir. Bu Çizelgede görüldüğü gibi MgO oranı standartta belirtilen sınırın oldukça altında kalmakta ve  $\text{CaO}/\text{SiO}_2$  oranı da istenilen şartları sağlamaktadır ( $2.85 > 2.00$ ).

Deneyler EN 196'ya göre yapılmıştır, bu yüzden harçlarda agrega olarak CEN-standart kumu kullanılmıştır.

Tablo 2.2. CEM 42.5 R tipi çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Analiz (%)		Özgül Yüzey ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	4050
$\text{SiO}_2$	21.21	Katılma Başlangıcı (dak.)	140
$\text{Al}_2\text{O}_3$	3.23	Katılma Sonu (dak.)	195
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1.37	Özgül Kütle ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	3.08
CaO	60.44	Le Chatelier Genleşmesi (mm)	2
MgO	3.51	Basınç Dayanımı (MPa)	
$\text{SO}_3$	2.90	1. Gün sonunda	17.8
LOI	3.34	2. Gün sonunda	28.8
Toplam	96.00	3. Gün sonunda	60.5

### 2.4.2. Standart Kum

CEN referans kumu, tercihen yuvarlak tanecikli ve silisyum dioksit miktarı en az %98 olan doğal silis kumu olmalıdır. Tanecik büyüklük dağılımı Tablo 2.3'te verilen

sınırlar dahilinde olmalıdır. CEN standart kumu her tanecik büyüklüğüne göre ayrı ayrı veya önceden karıştırılmış deneye hazır halde 1350 g'lık torbalar içinde hazır bulunmaktadır.

Tablo 2.3. CEN referans kumunun tanecik büyüklüğü dağılımı

Kare göz açıklığı (mm)	Kümülatif elekte kalan (%)
2.0	0
1.60	7 ± 5
1.00	33 ± 5
0.50	67 ± 5
0.16	87 ± 5
0.08	99 ± 1

#### 2.4.3. Karışım Suyu

Deneysel çalışma süresince, karışımların tasarımında ve deney numunelerinin üretiminde Gümüşhane şehir şebekesi içme suyu kullanılmıştır. Karışım suyu herhangi bir bekletme, dinlendirme gibi işlemlere tabi tutulmadan şebekeden alındığı gibi kullanılmıştır.

#### 2.4.4. Polimer Katkılar

Çalışmada 3 farklı tür polimer katkı malzemesi kullanılmıştır. Bunlar çalışmada SBR, MAD ve PU olarak isimlendirilmiş olup bazı kimyasal ve teknik özellikleri Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Kullanılan polimerlere ait teknik özellikler

Teknik özellikler	Katkı malzemeleri		
	SBR	MAD	PU
Özgül Kütle (kg/l)	1.005-1.025	1.08	1.02-1.11
pH Değeri	8-12	7-10	10-13
Renk	Beyaz	Beyaz	Bal Sarısı
Alkali Direnci	Yüksek	Yüksek	Normal
Polimer Filminin Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	6	-	-



Stiren Bütadiyen Kauçuğu (SBR)



Modifiyeli Akrilik Dispersiyon (MAD)



Poliüretan (PÜ)

Şekil 2.13. Kullanılan polimer katkı malzemeleri



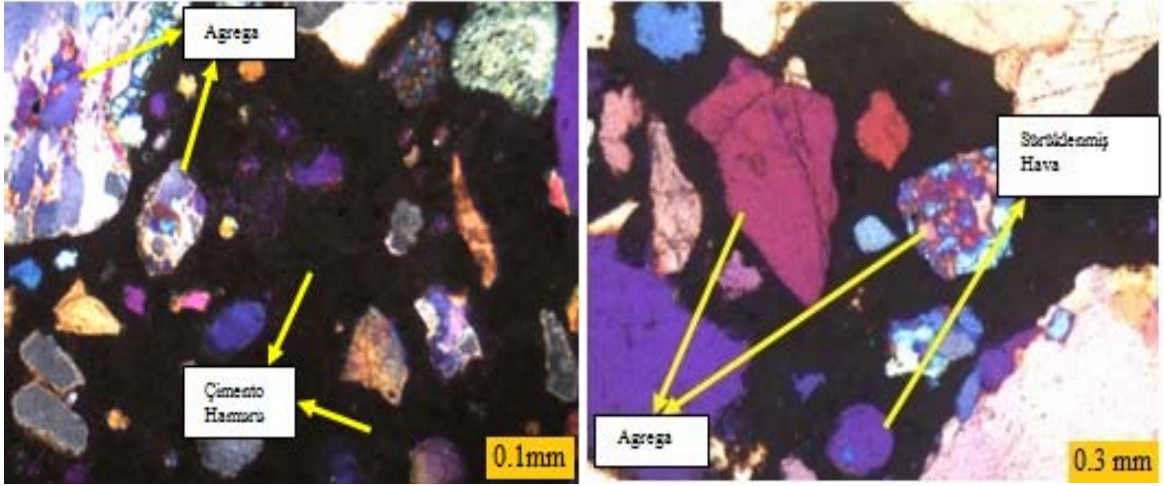
### **3. BULGULAR VE İRDELEMELER**

Çalışmanın amacına uygun olarak birinci aşamada farklı oranlarda polimer malzemeler harca eklenerek mekanik özellikler bakımından en uygun kür koşulu bulunmuştur. Daha sonra ise en uygun kür koşulu ve polimer katkı oranlarına bağlı olarak numunelerin yüksek sıcaklık etkisi altındaki fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

#### **3.1. Polimer Katkısının, Harçların Fiziksel Özelliklerine Etkisi**

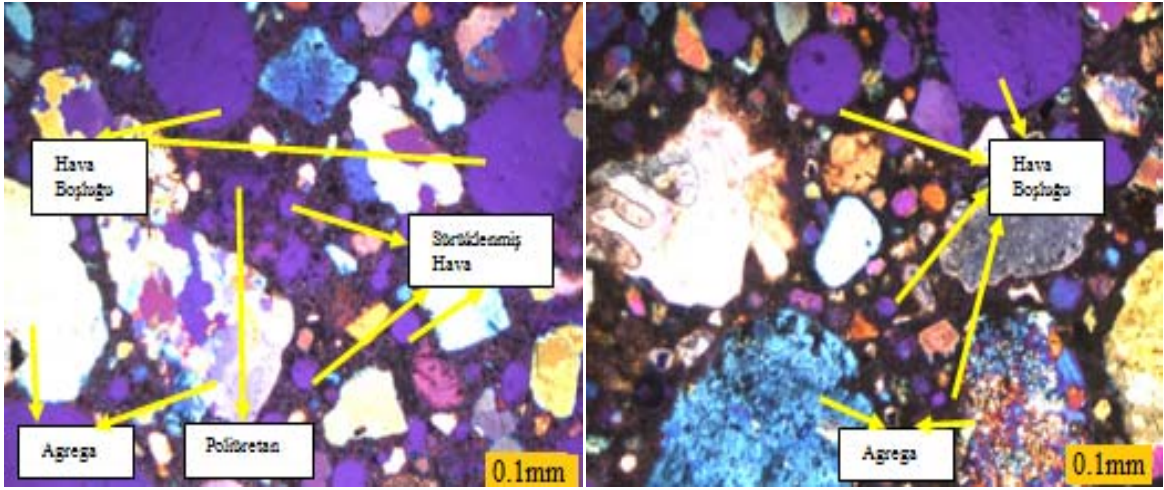
##### **3.1.1. Polimerle İyileştirilmiş Çimento Harçlarının Petrografik Özellikleri**

Numunelerden alınan ince kesit örneklerinde polimer katkıların çimento hamuru içerisindeki dağılımı Şekil 3.1’de görülmektedir. Görüldüğü gibi PÜ katkılı numunelerde katkısız numunelerle kıyaslandığında çok boşluklu bir yapı oluşurken, SBR ve MAD içeren örneklerdeki renk değişimi polimerlerin harç içinde homojen dağıldığı yönünde önemli bir ipucu vermektedir. Ayrıca köpük önleyici katkı maddesi kullanılmadığı için numunelerde hava boşlukları oluşmuş ve bu da özellikle PÜ katkılı numunelerde önemli basınç dayanımı düşüşlerine sebep olmuştur.



Kontrol Numunesi

MAD Katkılı Numune



PÜ Katkılı Numune

SBR Katkılı Numune

Şekil 3.1. Numunelerin ince kesit görüntüleri

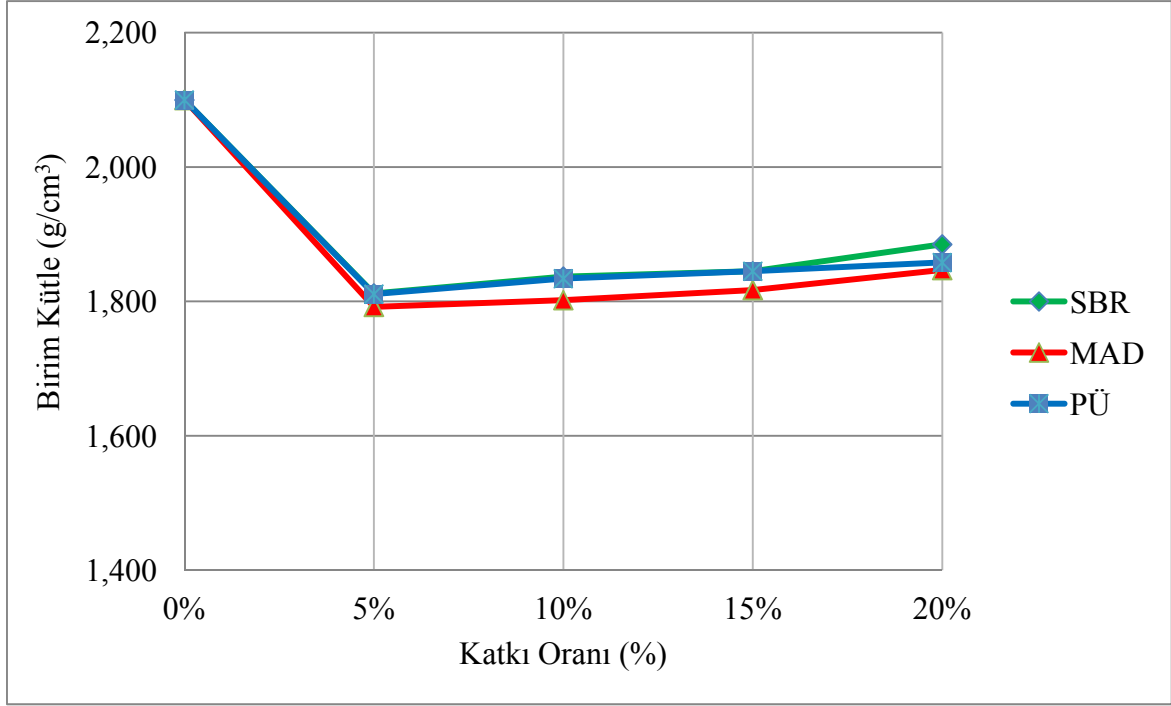
### 3.1.2. Polimer Katkısının, Harçların Birim Kütlelerine Etkisi

Polimer katkısının harçların birim kütlelerine etkisinin incelenmesi için 3 farklı polimer (SBR, MAD ve PÜ), 5 farklı oranda (%0, %5, %10, %15, %20) çimento harcına katılarak harçların birim kütlelerindeki değişim gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda numunelerin birim kütle değişimleri Tablo 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Yapılan deneyler sonucu kontrol numunelerinin (%0) birim kütle değeri  $2.10 \text{ g/cm}^3$  olarak ölçülmüştür. SBR polimer katkısının %5 oranında katılması halinde birim kütle değeri  $1.812 \text{ g/cm}^3$  olarak ölçülmüştür. Bu değer, kontrol numunelerinden %13.7 oranında daha düşüktür. SBR katkısının %10 ve %15 oranında katılması halinde ise birim kütle değerleri

1.837-1.845 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüş olup bu iki katkı oranı birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir ve katkısız numuneye göre yaklaşık %12 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR polimer katkısının %20 oranında katılması halinde ise birim kütle değeri 1.885 g/cm<sup>3</sup>'ye düşmüştür ve katkısız numuneye kıyaslandığında %10 oranında bir düşüş görülmüştür. Ayrıca %5 SBR ilavesinden sonra işlenebilirlik arttığı için birim kütle de artmıştır. Boşluk oranı ve süreksizlikteki bu azalma da basınç dayanımına olumlu yönde etki sağlamıştır. MAD polimer katkısı ilk 3 katkı oranı olan %5, %10 ve %15 oranlarında oldukça yakın değerler vererek birim kütleleri değerleri sırası ile 1.792-1.802-1.817 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüş olup yaklaşık %13-14 oranında bir azalma kaydedilmiştir. MAD katkısının %20 oranında katılması halinde ise birim kütle değeri 1.847 g/cm<sup>3</sup>'ye düşerek %12 oranında azalma göstermiştir. PÜ polimer katkı malzemesinin tüm oranlarında birim kütle değerleri oldukça yakın çıkmıştır. PÜ katkı malzemesi ile üretilen numunelerin birim kütle değerleri 1.811-1.858 g/cm<sup>3</sup> arasında değişiklik göstermiş olup katkısız numuneye göre %11-13 arasında düşüş gözlemlenmiştir. Genel olarak bakıldığında, polimer katkısı ile birim kütlelerde bir düşüş gözlenmektedir. En fazla düşüş %5 oranında MAD katkılı numunelerde olmuştur.

Tablo 3.1. Polimer katkılı numunelerin birim kütle değerleri

Polimer Katkı Oranı (%)	Birim Kütle (g/cm <sup>3</sup> )		
	SBR	MAD	PÜ
0%	2.100	2.100	2.100
5%	1.812	1.792	1.811
10%	1.837	1.802	1.834
15%	1.845	1.817	1.845
20%	1.885	1.847	1.858



Şekil 3.2. Polimer katkı malzemesi ile birim kütle arasındaki ilişki

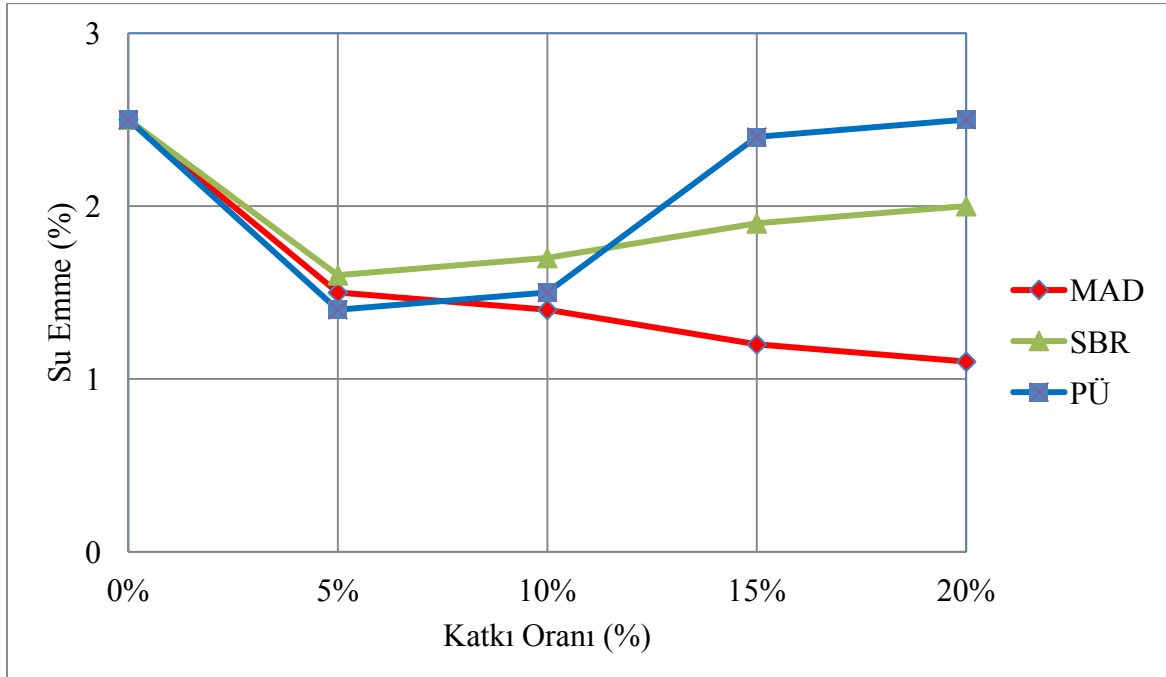
### 3.1.3. Polimer Katkısının, Harçların Su Emme Özelliklerine Etkisi

Su emme oranlarının değişimlerinin incelenmesi için 3 farklı polimer (SBR, MAD ve PÜ) ve 5 farklı oranda (%0, %5, %10, %15, %20) çimento harcına katılarak numunelerin su emme oranları gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda numunelerin su emme değişimleri Tablo 3.2 ve Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Su emme oranı kontrol numuneleri için %2.5 olarak belirlenmiştir. SBR katkısının %5 ve %10 oranlarında katılması halinde su emme oranları %1.6 ve 1.7 ölçülerek birbirine oldukça yakın sonuçlar elde edilmiş ve katkısız numuneye kıyasla yaklaşık %35 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR polimer katkısının %15 ve %20 oranlarında kullanılması halinde de su emme oranları sırası ile %1.9 ve %2.0 ölçülerek oldukça yakın değerler elde edilmiş ve katkısız numunelere göre %20-24 oranında azalmalar gözlemlenmiştir. SBR oranı arttıkça su emme oranı da artmıştır. Bunun sebebi SBR'nin numuneye ilave hava sürüklemesidir (Şekil 3.1). MAD polimer katkısının %5 ve %10 oranlarında su emme oranı %1.5 ve %1.4 olarak ölçülmüş ve kontrol numunelerinden %40-45 oranında daha düşük çıkmıştır. MAD polimer katkısının %15-20 oranlarında katılması halinde su emme oranındaki düşüş devam ederek %1.2-1.1 olarak ölçülmüş olup %52-56 oranında düşüşler gözlemlenmiştir. PÜ polimer katkı malzemesinin %5, %10 oranlarında katılması halinde su emme oranları sırası ile

%1.4-1.5 olarak ölçülmüş olup oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir ve %40-44 oranı arasında düşüşler gözlemlenmiştir. PÜ katkı malzemesinin %15 ve %20 oranında katılması durumunda ise diğer 2 orandan farklı olarak su emme oranı %2.4 ve %2.5 olarak ölçülmüştür ve neredeyse katkısız numunelerle aynı su emme oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi PÜ oranı arttıkça işlenebilirliğinin azalmasıdır. Şekil 3.1’de de görüldüğü gibi işlenebilirliğin azalmasına bağlı olarak numune içinde çok fazla boşluk oluşmuştur. Bu da su emme oranının artmasına neden olmuştur. Su emme özelliğine genel olarak bakıldığında, katkılı numunelerin hepsi, kontrol numunesinden daha düşük su emme oranına sahiptir. Ayrıca en olumlu sonuç %1.1’lik su emme oranıyla MAD polimer katkı malzemesinin %20 oranında elde edilmiştir.

Tablo 3.2. Polimer katkılı numunelerin su emme değerleri

Polimer Katkı Oranı (%)	Su Emme (%)		
	MAD	SBR	PÜ
0%	2.50	2.50	2.50
5%	1.50	1.60	1.40
10%	1.40	1.70	1.50
15%	1.20	1.90	2.40
20%	1.10	2.00	2.50



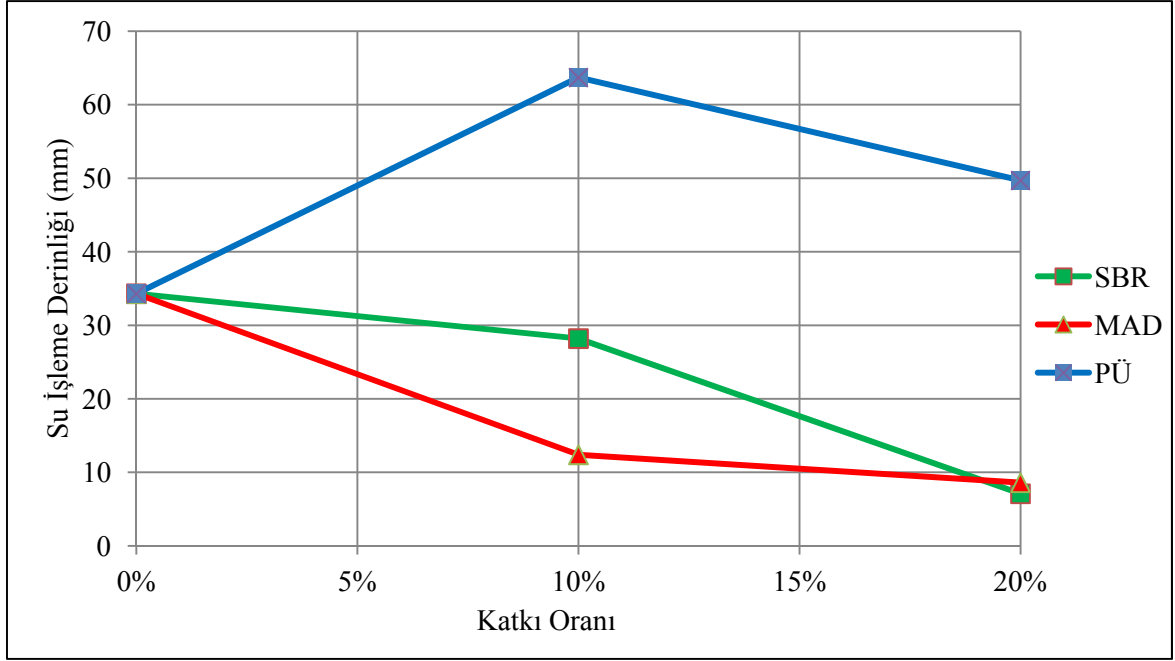
Şekil 3.3. Polimer katkı oranı ile su emme özelliği arasındaki ilişki

### 3.1.4. Polimer Katkısının, Harçların Su İşleme Derinliğine Etkisi

3 farklı polimer ve 3 farklı katkı oranı (%0, %10, %20) ile üretilen numuneler deney düzeneğinde (Şekil 2.11) 72 saat boyunca bekletildikten sonra kırımı yapılarak suyun numuneler içinde ilerleme miktarı cetvelle ölçülmüş ve değerler Tablo 3.3'te verilmiş olup değişimleri Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Yapılan deneyler sonucu kontrol numunelerinin (%0) ilerleme miktarı 3.43 cm olarak ölçülmüştür. SBR polimer katkısının %10 oranında katılması halinde su işleme derinliği değeri 2.82 cm olarak ölçülmüştür ve su ilerleme miktarı kontrol numunelerine kıyasla %17 daha düşük çıkmıştır. SBR'nin %20 oranında katılması halinde ise su işleme derinliği değeri 0.71 cm olarak ölçülmüş olup %79 oranında çok büyük bir düşüş gözlemlenmiştir. MAD polimer katkı malzemesinin %10 oranında katılması halinde su işleme derinliği değeri 1.24 cm olarak ölçülmüş olup su ilerleme miktarı kontrol numunelerinde %63 oranında daha az çıkmıştır. MAD polimer katkısının %20 oranında katılması halinde ise su işleme derinliği değeri 0.86 cm olarak ölçülmüş ve kontrol numunesine göre %74'lük büyük bir düşüş gözlemlenmiştir. PÜ katkı malzemesi ile üretilen numunelerin işleme derinliği değerleri kontrol numunelerinin üzerinde ölçülmüştür. PÜ katkı malzemesinin %10 oranında katılması halinde 6.37 cm olarak ölçülmüştür ve kontrol numunesine göre %46 daha fazla olduğu görülmüştür. PÜ katkı malzemesinin %20 oranında katılması halinde ise su işleme derinliği 4.97 cm olarak ölçülmüş olup %30 oranında daha fazla gözlemlenmiştir. Sonuç olarak SBR ve MAD katkıları, numunelerin su işleme derinliğini azaltırken, PÜ katkısının artırdığı tespit edilmiştir. Bunun sebebinin PÜ oranı arttıkça işlenebilirliğinin azalmasına bağlı olarak numune içinde çok fazla boşluk olması ve bu yüzden de birbirleriyle bağlantılı boşlukların da artmasının olduğu düşünülmektedir.

Tablo 3.3. Polimer katkılı numunelerin su işleme derinliği değerleri

Polimer Katkı Oranı (%)	Su İşleme Derinliği (mm)		
	SBR	MAD	PÜ
0%	34.3	34.3	34.3
10%	28.2	12.4	63.7
20%	7.1	8.6	49.7



Şekil 3.4. Polimer katkı oranı ile su işleme derinliği arasındaki ilişki

### 3.2. En Uygun Kür Şartının Belirlenmesi

Polimer katkı malzemesi içeren harç numuneleri için en uygun kür şartlarının belirlenebilmesi amacıyla 3 farklı kür şartı uygulanmıştır. Kür koşullarının esas numunelerin suyla temas süreleridir. 1. kür koşulunda numuneler daha az süre su ile temas ederken 2. ve 3. kür koşulunda suyla temas süreleri artırılmıştır. Bunun sonucunda her bir kür koşulunda farklı mekanik özellikler elde edilmiştir.

Uygulanan kür koşulları;

1. Kür Koşulu: Dışarıda bekletilen numunelerin günde 2 kez sulanması,

2. Kür Koşulu: Numunelerin 16 saat dışarıda (kuru ortamda), 8 saat su içinde bekletilmesi,

3. Kür Koşulu: Numunelerin 1 gün dışarıda (kuru ortamda), 1 gün su içinde bekletilmesi şeklindedir.

### 3.2.1. Kür Şartının Polimerle İyileştirilmiş Harçların Mekanik Özelliklerine Etkisi

#### 3.2.1.1 Kür Şartı İle Eğilme Dayanımı Arasındaki İlişki

3 farklı kür koşuluna tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda kür koşullarının polimerle iyileştirilmiş harçların eğilme dayanımına etkisi Tablo 3.4'te ve Şekil 3.8'de gösterilmiştir.

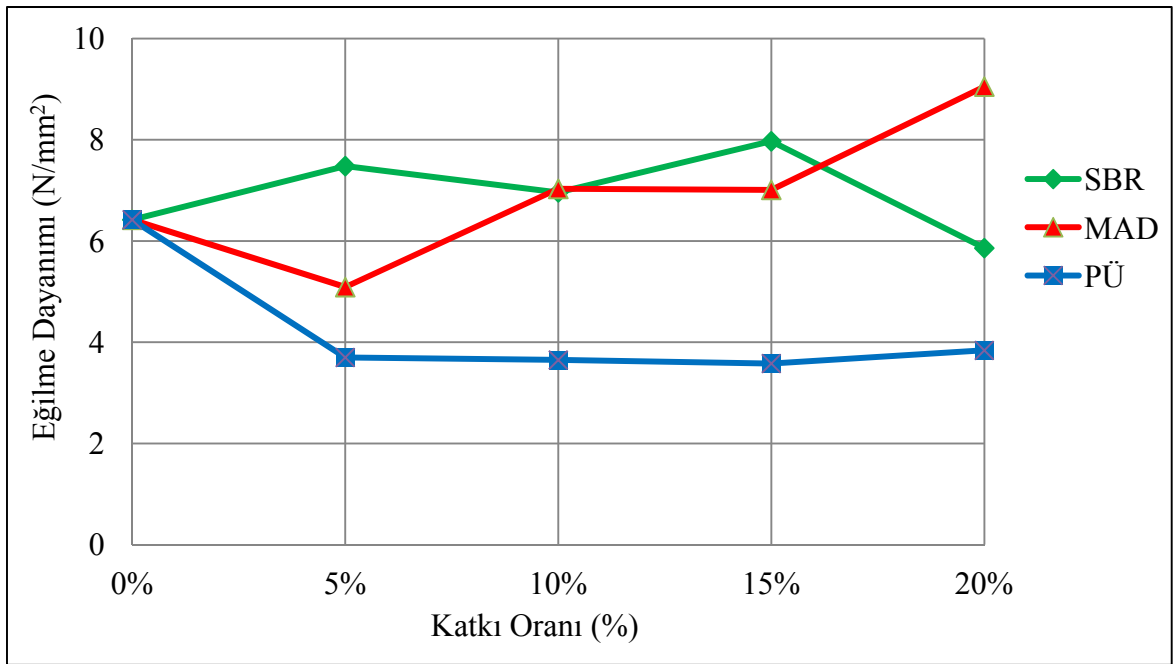
Tablo 3.4. Polimerle iyileştirilmiş harçlarda kür koşullarının eğilme dayanımına etkisi

Polimer Katkı Oranı (%)	1. Kür Koşulu			2. Kür Koşulu			3. Kür Koşulu		
	SBR	MAD	PÜ	SBR	MAD	PÜ	SBR	MAD	PÜ
0%	6.42	6.42	6.42	6.24	6.24	6.24	6.75	6.75	6.75
5%	7.48	5.09	3.7	7.03	3.18	3.79	6.78	4.57	3.7
10%	6.96	7.03	3.65	5.95	3.65	3.23	6.77	5.78	3.6
15%	7.97	7.01	3.58	5.84	4.19	3.21	5.77	5.87	3.32
20%	5.86	9.05	3.84	5.74	6.15	3.7	4.99	7.18	3.28

Bunun sonucunda 1. kür koşulu için eğilme dayanımı ile polimer katkı oranı arasındaki ilişki Şekil 3.5'te verilmiştir. Polimer malzemenin kuru ortamda polimerleşmesi özelliğinden dolayı, su ile en az temas eden 1. kür koşulunda eğilme dayanımlarında kontrol numunelerine göre önemli düzeyde artışlar gözlenmiştir. MAD katkısı sadece %5 oranında 5.09 N/mm<sup>2</sup>'ye düşerek %20 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. Diğer katkı oranlarında eğilme dayanımında olumlu yönde bir artış olmuştur. Özellikle %20 oranında katılması durumunda eğilme dayanımı 6.42 N/mm<sup>2</sup>'den yaklaşık 9.05 N/mm<sup>2</sup>'ye yükselerek yaklaşık %30 oranında bir artış meydana gelmiştir. Bu artış 1. kür koşulu için en büyük eğilme dayanımı artışıdır. SBR polimer katkı malzemesi %15 oranında katıldığında eğilme dayanımı 6.42 N/mm<sup>2</sup>'den 7.97 N/mm<sup>2</sup>'ye yükselerek %24 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Bu %24'lük artış SBR için 1. kür koşulunda ölçülen en yüksek artış oranı olmuştur. SBR polimer katkı malzemesi %5, %10, %15 katkı oranlarında eğilme dayanımında belirli miktarlarda artış meydana getirmiştir. Kontrol numunesinin (%0) eğilme dayanımı 6.42 N/mm<sup>2</sup> iken, SBR'nin %5 katılması halinde 7.48 N/mm<sup>2</sup> olarak %19'lük bir artış gözlemlenmiştir. SBR'nin %20 oranında katılmasında ise eğilme dayanımı %8 azalmış ve 5.86 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Ancak eğilme dayanımı tüm



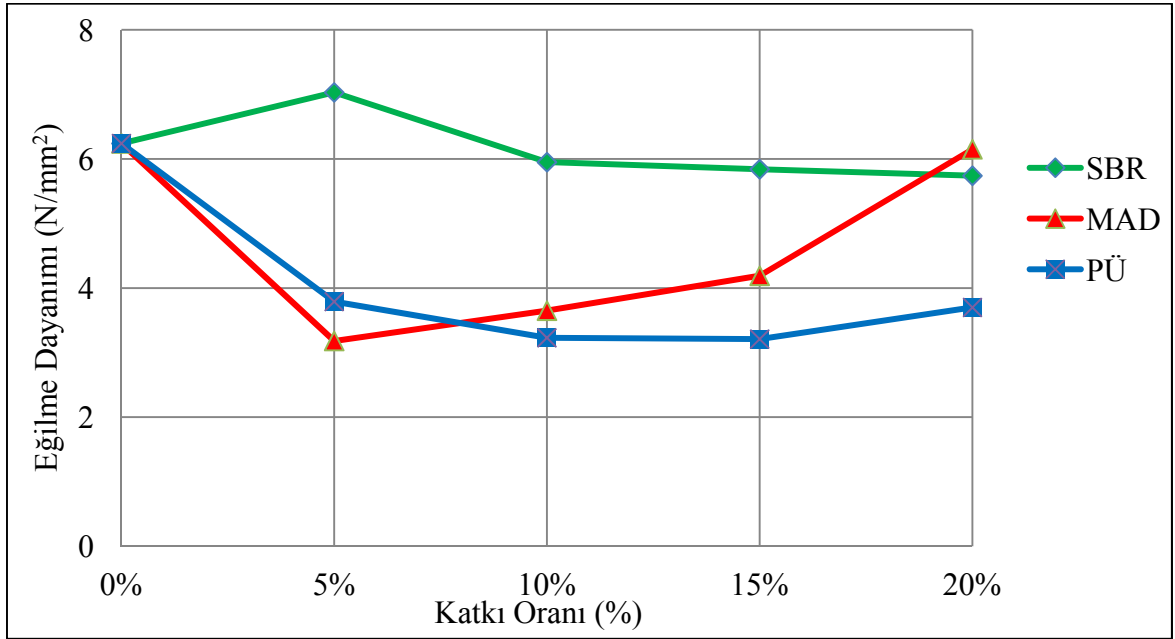
katkılı numuneler için olumlu bir katkı sağlamamıştır. Özellikle PÜ neredeyse hiçbir katkı oranında olumlu sonuç vermemiştir. PÜ'nün katılması halinde tüm oranlar için eğilme dayanımı  $6.42 \text{ N/mm}^2$ 'den düşük çıkmıştır. Özellikle %15 oranında katılması halinde eğilme dayanımı  $6.42 \text{ N/mm}^2$ 'den  $3.58 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşerek yaklaşık %44'lük bir düşüş sergilemiştir. Bu ise 1. kür koşulunda kaydedilen en büyük düşüş miktarı olmuştur. 1. kür koşulu için PÜ hariç diğer katkı malzemelerinin çeşitli oranlarında eğilme dayanımı için olumlu sonuçlar elde edilmiştir. PÜ katkıli numuneler hiçbir katkı oranında eğilme dayanımı için olumlu sonuç vermemiştir.



Şekil 3.5. 1. Kür koşulunda katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

2. kür koşulu için eğilme dayanımı ile polimer katkı oranı arasındaki ilişki Şekil 3.6'da verilmiştir. Bu kür koşulu için kontrol numunelerinin (%0) eğilme dayanımı  $6.24 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüştür. SBR katkı malzemesinin %5 oranında katılması halinde eğilme dayanımı  $7.03 \text{ N/mm}^2$ 'ye yükselerek %11'lik bir artış meydana gelmiştir. Bu artış miktarı 2. kür koşulu için ölçülen en yüksek eğilme dayanımı olmuştur. SBR katkısının %10-15-20 oranlarında katılması halinde ise eğilme dayanımları sırası ile  $5.95$ - $5.84$ - $5.74 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşerek yaklaşık %5-7 miktarında bir düşüş gözlemlenmiştir. MAD polimer katkısı %5 oranında katılması halinde eğilme dayanımı  $3.18 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşerek yaklaşık %50 oranında büyük bir düşüş göstermiştir. MAD katkısı daha sonraki 3 katkı oranında da artan bir davranış sergilese de hiçbir oranda kontrol numunesinin üstünde bir eğilme dayanımı

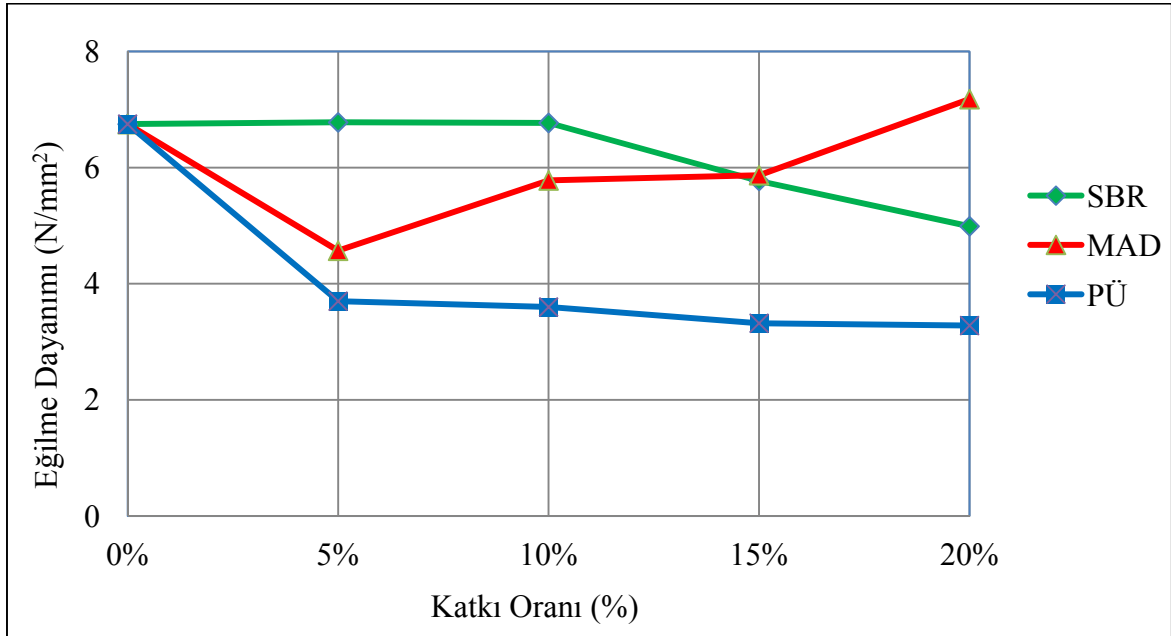
elde edilememiştir. MAD katkısı %10 oranında katıldığında  $3.65 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşerek %41 oranında, %15 ve %20 oranlarında katıldığında, eğilme dayanımları sırasıyla 4.19 ve 6.15  $\text{N/mm}^2$ 'ye düşerek %32 ve %1 oranında düşmüştür. PÜ katkısı %5 oranında kullanıldığında eğilme dayanımı  $3.79 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşerek %39'luk bir düşüş gözlemlenmiştir. PÜ katkısının %10 ve %15 oranlarında katılması halinde eğilme dayanımları sırası ile  $3.23$  ve  $3.21 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşerek yaklaşık %48'lik bir düşüş sergilemiştir. PÜ katkısının %20 oranında katılması durumunda eğilme dayanımında  $3.7 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşerek %40'lık bir azalma gözlemlenmiştir. 2. kür koşulu için genel bir bakış yapılırsa SBR katkısının %5 katılması dışında hiçbir malzemenin hiçbir katkı oranı eğilme dayanımı için olumlu sonuç vermemiştir. Özellikle PÜ polimer katkısının tüm oranlarında eğilme dayanımında büyük düşüş göstererek istenmeyen sonuçlar alınmıştır.



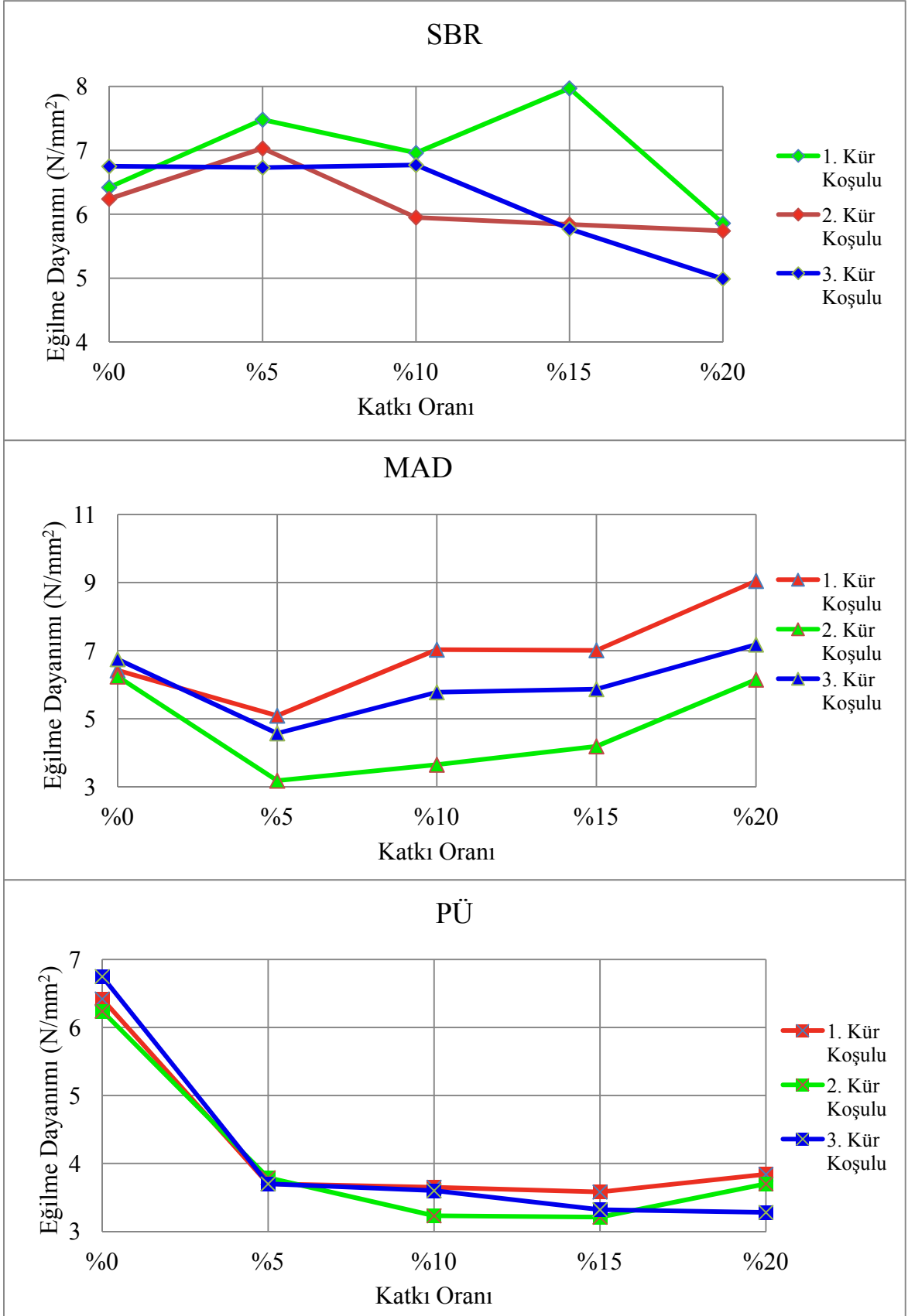
Şekil 3.6. 2. kür koşulunda katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

3. kür koşulu için eğilme dayanımı ile polimer katkı oranı arasındaki ilişki Şekil 3.7'de verilmiştir. Bu kür koşulunda kontrol numunesinin (%0) eğilme dayanımı  $6.75 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüştür. MAD polimer katkısı ilk katkı oranında düşen bir eğilme dayanımı sergilemiştir. Ancak daha sonraki oranlarda artan değerler elde edilerek son katkı oranı olan %20'de eğilme dayanımı belli bir miktar artmıştır. MAD katkısı %20 oranında kullanılması halinde eğilme dayanımı için artan bir davranış sergileyerek  $7.18 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş olup yaklaşık %6 oranında bir artış göstermiştir. Bu dayanım 3. kür koşulu

için en yüksek eğilme dayanımı olmuştur. MAD, %5 oranında kullanıldığında eğilme dayanımı  $4.57 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş ve %32 oranında bir düşüş göstermiştir. MAD polimer katkısı %10-15 katkı oranları için benzer davranış göstererek eğilme dayanım değerleri  $5.78$  ve  $5.87 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş olup yaklaşık %14'lük bir düşüş gözlenmiştir. SBR katkı malzemesinin %5-10 oranlarında katılması durumunda eğilme dayanımı  $6.77$  ve  $6.78 \text{ N/mm}^2$  olarak belirlenmiş ve hem birbiri ile hem de kontrol numuneleri ile neredeyse aynı değerde ölçülmüştür. SBR polimer katkı malzemesinin %15 oranında katılması halinde eğilme dayanımı  $5.77 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşerek %14 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. SBR katkı malzemesinin %20 oranında katılması halinde ise eğilme dayanımı  $4.99 \text{ N/mm}^2$  ölçülerek %26 oranında bir düşüş göstermiştir. PÜ daha önceki kür koşullarında olduğu gibi bu kür koşulunda da hiçbir katkı oranında eğilme dayanımı için olumlu sonuç vermemiştir. PÜ katkısı %5-10 katkı oranlarında  $3.7$ - $3.6 \text{ N/mm}^2$  çıkararak birbirine çok yakın bir davranış sergilemişlerdir. Çıkan bu değerler ile eğilme dayanımı yaklaşık %45 oranında düşüş göstermiştir. Benzer şekilde %15 ve %20 oranlarında da benzer davranış göstererek eğilme dayanımları  $3.32$  ve  $3.28 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüştür. Çıkan bu değerler ise eğilme dayanımında yaklaşık %50 oranında büyük bir düşüşe sebep olmuştur.



Şekil 3.7. 3. kür koşulunda katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 3.8. Kür şartları ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının eğilme dayanımları arasındaki ilişki

### 3.2.1.2. Kür Şartı İle Sehım Değeri Arasındaki İlişki

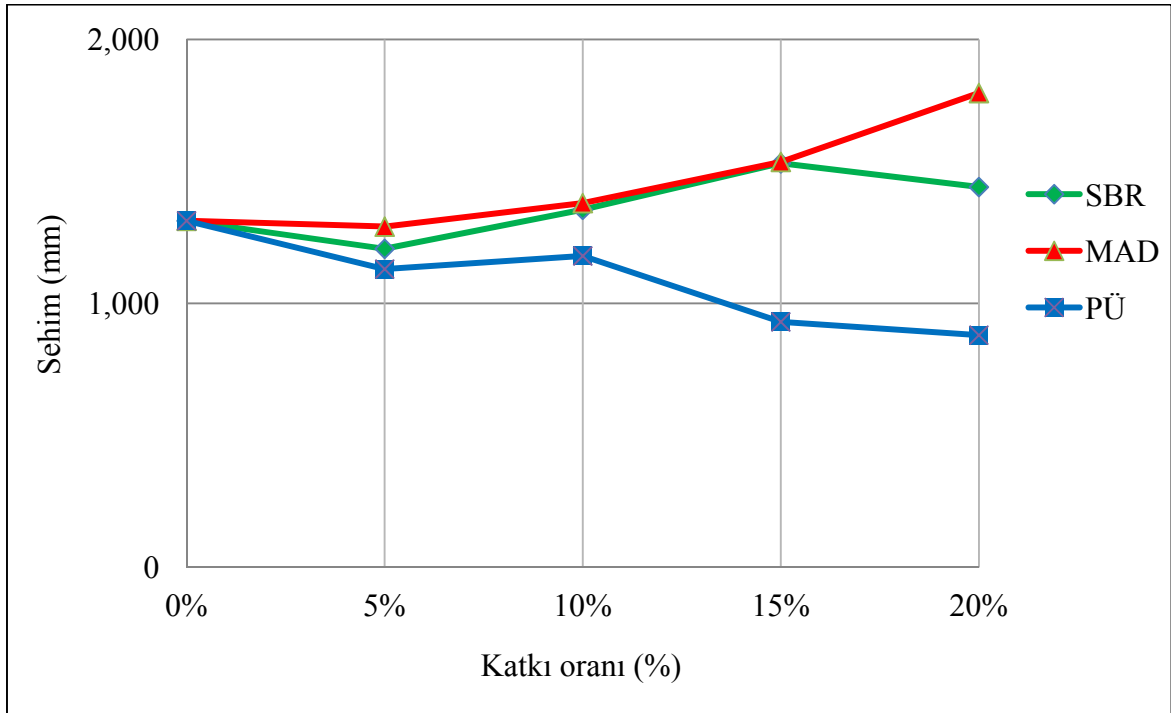
3 farklı kür koşuluna tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda kür koşullarının polimerle iyileştirilmiş harçların sehım değerine etkisi Tablo 3.5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Polimerle iyileştirilmiş harçlarda kür koşullarının sehıme etkisi

Polimer Katkı Oranı (%)	1. Kür Koşulu			2. Kür Koşulu			3. Kür Koşulu		
	SBR	MAD	PÜ	SBR	MAD	PÜ	SBR	MAD	PÜ
0%	1.313	1.313	1.313	1.300	1.300	1.300	1.782	1.782	1.782
5%	1.207	1.291	1.130	1.336	0.857	1.080	1.360	1.163	0.970
10%	1.355	1.380	1.180	1.339	1.202	1.030	1.419	1.215	0.940
15%	1.531	1.536	0.930	1.302	1.306	0.830	1.400	1.251	0.820
20%	1.441	1.797	0.880	1.181	1.414	0.800	1.296	1.495	0.680

1. kür koşulu için polimer katkılı harçların sehım değerlerinin polimer katkı oranlarına göre değişimi Şekil 3.9'da verilmiştir. Öncelikle olarak 1. kür koşulu için kontrol numunelerinin (%0) sehım değeri 1.313 mm olarak ölçülmüştür. Polimer katkı ilave edilmiş numunelerin sehım değerleri incelendiğinde MAD polimer katkısı için bu kür koşulunda olumlu sonuçlar alınmıştır. Sadece %5 katkı oranı için kontrol numunelerinin altında bir sehım değeri elde edilmesine rağmen diğer katkı oranları için sehım değerleri olumlu sonuç vermiştir. MAD polimer katkısı %5 oranında katıldığında sehım değeri 1.291 mm ölçülerek %1.6 oranında oldukça düşük bir azalma meydana gelmiştir. MAD polimer katkısı daha sonraki oranlarında sehım değerleri artan bir izleme geçmiştir. Bu katkı malzemesinin %10 oranında katılması halinde sehım değeri 1.380 mm ölçülmüş ve %4.8'lik bir artış meydana gelmiştir. MAD katkısının %15 oranında katılması halinde artış izlemi devam etmiş ve sehım değeri 1.536 mm ölçülerek %14 oranında bir artış gözlemlenmiştir. MAD polimer katkısının %20 oranında kullanılması halinde ise 1. kür koşulu için en yüksek sehım değerine ulaşılmıştır. Bu değer 1.797 mm ölçülmüş olup %26 oranında olumlu yönde bir artış gözlemlenmiştir. SBR polimer katkısının %5 oranında katılması halinde sehım değeri 1.207 mm değerinde ölçülmüş olup %8 oranında bir düşüş

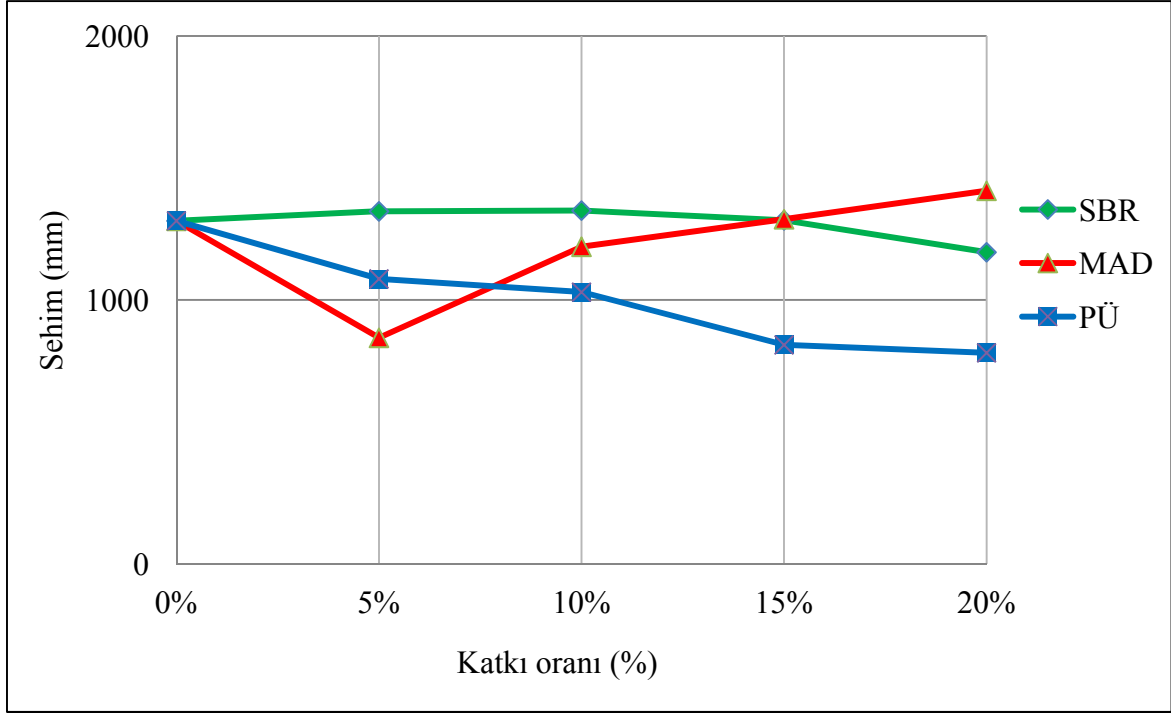
gözlemlenmiştir. SBR polimer katkı malzemesinin %10 oranında katılması halinde sehimi değeri 1.355 mm çıkarak bu oranda %3'lük artan bir izlem gözlemlenmiştir. Bu artan izlem %15 katkı oranında da devam ederek sehimi değeri 1.531 mm'ye ulaşmış ve %14'lük bir artış ile SBR katkısının bu kür koşulu için en yüksek sehimi değerine ulaşılmıştır. SBR katkısının %20 oranında katılması halinde sehimi değeri 1.441 mm olarak ölçülmüş olup %8.8 oranında bir yükseliş kaydedilmiştir. PÜ polimer katkı malzemesinin hiçbir oranında kontrol numunelerinin üzerinde bir sehimi değerine ulaşamamıştır. PÜ katkısının %5 ve %10 oranlarında katılması halinde sehimi değerleri birbirine yakın değerler vererek sırası ile 1.130-1.180 mm olarak ölçülmüştür ve yaklaşık %10-13 oranlarında bir azalma gözlemlenmiştir. PÜ katkısının %15 oranında katılması halinde sehimi değeri 0.930 mm çıkarak %29 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. PÜ polimer katkısının %20 oranında katılması halinde ise 1. kür koşulu için en düşük sehimi değeri olan 0.880 mm değeri elde edilmiş olup %32 oranında büyük bir düşüş gözlemlenmiştir. 1. kür koşuluna genel olarak bakıldığında SBR ve MAD katkı malzemeleri belirli oranlarda oldukça olumlu sonuçlar verirken PÜ katkı maddesi sehimi değerlerinde istenilen sonuçları verememiştir.



Şekil 3.9. 1. kür koşulunda katkı oranı ile sehimi değeri arasındaki ilişki

2. kür koşulu için polimer katkılı harçların sehimi değerlerinin polimer katkı oranlarına göre değişimi Şekil 3.10'da verilmiştir. Öncelikli olarak 2. kür koşulu için

kontrol numunelerinin (%0) sehim değeri 1.300 mm olarak ölçülmüştür. SBR polimer katkı malzemesinin bu kür şartında %5, %10 ve %15 oranlarında kullanıldığında sehim değerleri sırası ile 1.336-1.339-1.302 mm ölçülerek birbirlerine oldukça yakın değerler vermiş ve yaklaşık %2 oranında bir artış gözlemlenmiştir. SBR katkısının %20 oranında katılması halinde sehim değeri 1.181 mm olarak ölçülmüş olup %9 oranında bir düşüş göstererek 2. kür koşulu için SBR katkı malzemesi için en düşük sehim değeri kayıt edilmiştir. MAD polimer katkısı ilk oranlarında sehim değeri düşüş göstermiş fakat daha sonraki katkı oranlarında artan bir izlem gözlemlenmiştir. MAD katkısının %20 oranında kullanılması halinde sehim değeri 1.414 mm olarak ölçülmüş ve kontrol numunesine göre %8 oranında bir artış göstermiştir. Ayrıca bu sehim değeri 2. kür koşulu için en yüksek değer olmuştur. MAD katkısı %5 oranında katıldığında sehim değeri 0.857 mm çıkarak %34 oranında ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir. MAD katkısının %10 oranında kullanılması halinde de sehim değeri kontrol numunesinin üzerine çıkamazken 1.202 mm değerinde kalmıştır ve %7.5 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. MAD polimer katkı malzemesinin %15 oranında kullanılması halinde sehim değeri, 1.306 mm değeri ile kontrol numunelerinden %0.5 gibi küçük oranda bir artış görülmüştür. PÜ katkı malzemesinin %5 ve %10 oranlarında kullanılması halinde sehim değeri sırası ile 1.080 ve 1.030 mm değerlerinde çıkarak oldukça yakın olduğu gözlenmiştir ve kontrol numunelerinden yaklaşık %15-20 oranında daha az çıkmıştır. PÜ katkı malzemesinin %15 ve %20 oranlarında kullanılması halinde sehim değerindeki düşüş devam ederek 0.830-0.800 mm dolaylarında birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Bunun sonucunda ise kontrol numunelerinden %36-38 oranında daha az bir sehim değeri gözlemlenmiştir.

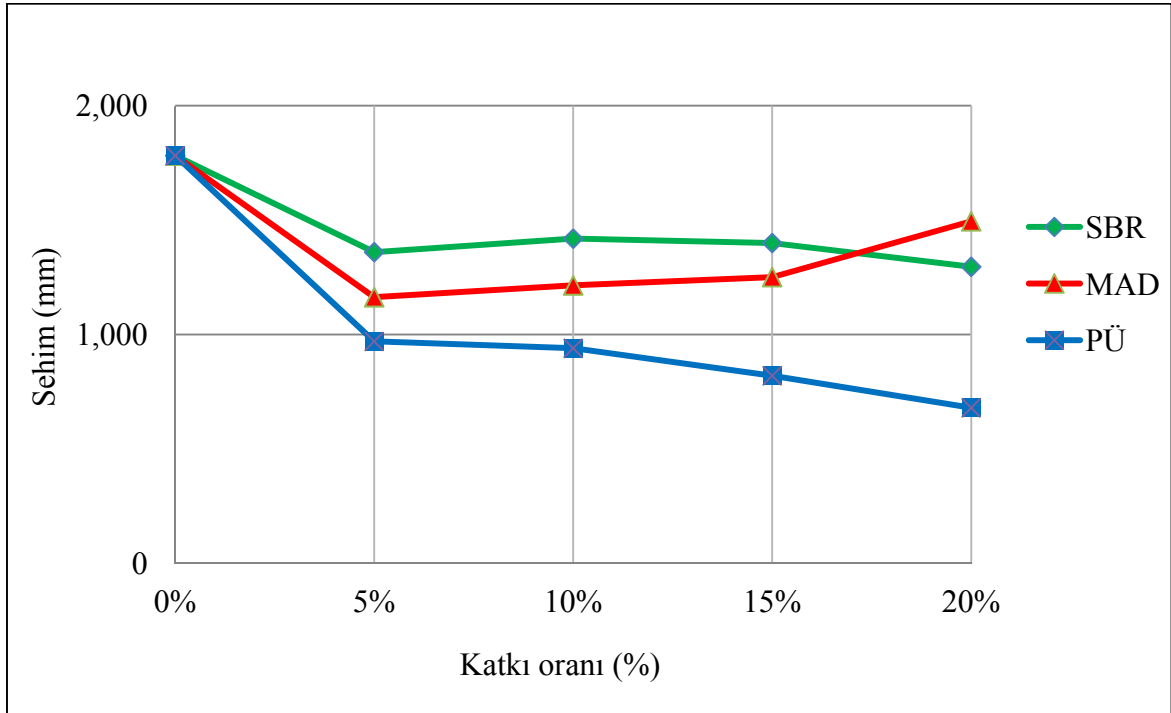


Şekil 3.10. 2. kür koşulunda katkı oranı ile sehım değeri arasındaki ilişki

3. kür koşulu için polimer katkılı harçların sehım değerlerinin polimer katkı oranlarına göre değişimi Şekil 3.11’de verilmiştir. Öncelikli olarak 3. kür koşulu için kontrol numunelerinin (%0) sehım değeri 1.782 mm olarak ölçülmüştür. Bu kür koşulu için kontrol numunelerinin ölçülen sehım değeri diğer iki kür koşulundan daha yüksek çıkmıştır. SBR katkısının %5 oranında katılması halinde sehım değeri 1.360 mm ölçülmüş olup %23 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR polimer katkısının %10 ve %15 oranında katılması halinde sehım değerleri sırası ile 1.419-1.400 mm olarak ölçülerek birbirlerine çok yakın değerler vermiş ve yaklaşık %20-21 oranında düşüş sergilemişlerdir. SBR polimer katkısının %20 oranında katılması halinde sehım değeri 1.296 mm olarak ölçülmüş ve %27 oranında ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir. MAD polimer katkı malzemesinin %5 oranında katılması durumunda sehım değeri 1.163 mm ölçülerek %34 oranında ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir. MAD polimer katkısının daha sonraki oranlarında sehım değerleri artan bir eğilim göstermesine rağmen hiçbir oranında kontrol numunelerinin üzerinde bir değere ulaşamamıştır. MAD katkısının %10 oranında katılması halinde sehım değeri 1.215 mm çıkarak %31 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. MAD katkısının %15 oranında katılması halinde ise sehım değeri 1.251 mm çıkarak %29.7 oranında bir azalma kaydedilmiştir. Son olarak MAD katkısının %20 oranında katılması halinde sehım değeri 1.495 mm ölçülmüş olup %16 oranında bir azalma meydana

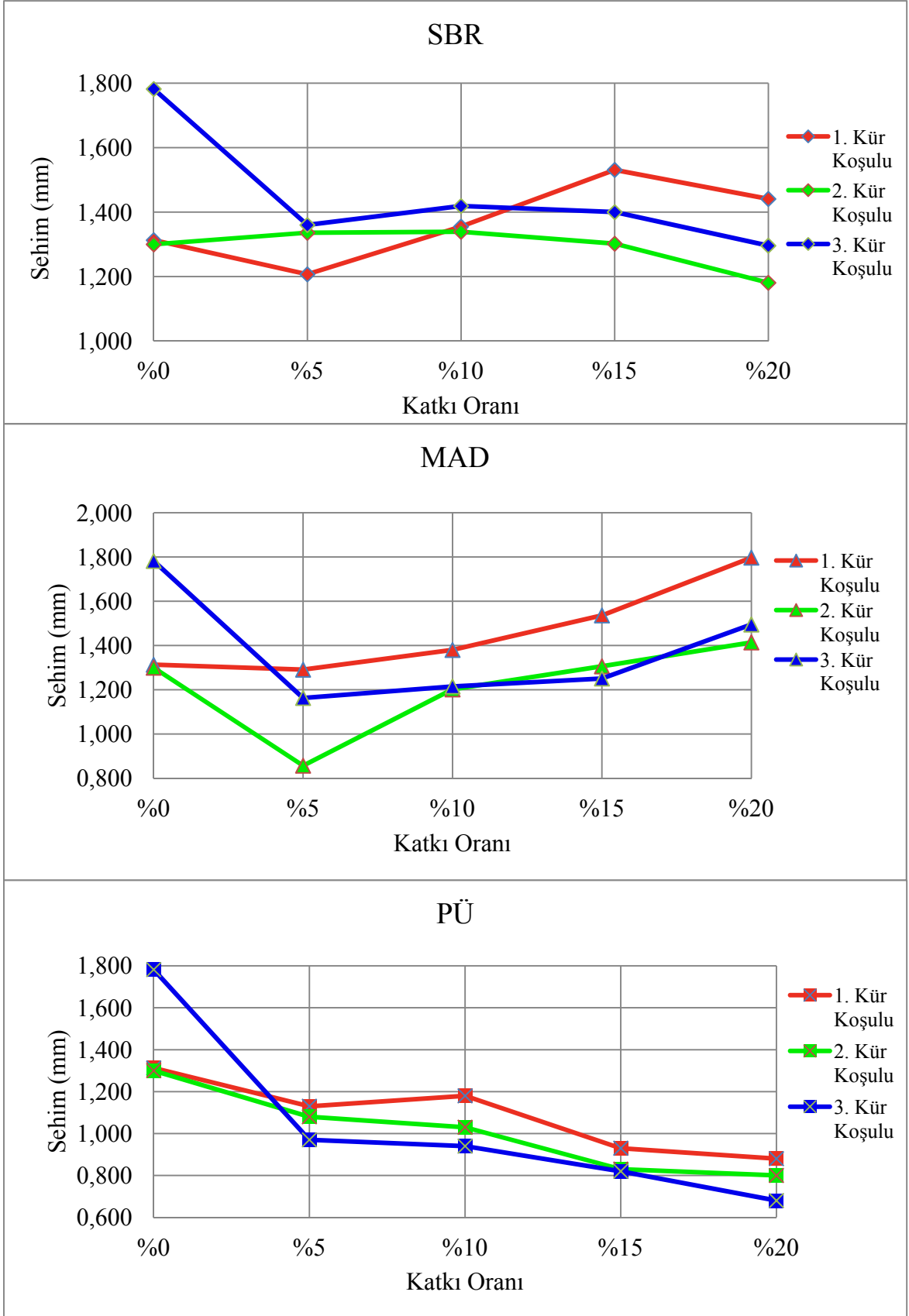


gelmiştir. PÜ katkı malzemesi katılarak üretilen numunelerin sehim değeri ile katkı oranı arasında ters ilişki gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda katkı oranı arttıkça sehim değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. PÜ katkı malzemesinin %5 ve %10 katkı oranlarında sehim değerleri 0.970-0.940 mm olarak ölçülmüş olup birbirine yakın sonuçlar vermiş ve %45-47 oranında ciddi düşüşler gözlemlenmiştir. PÜ katkısının %15 oranında katılması halinde sehim değeri 0.820 mm olarak ölçülmüş ve %53 oranında büyük bir düşüş görülmüştür. Son olarak PÜ katkı malzemesinin %20 oranında kullanılması halinde sehim değeri 0.680 mm ölçülmüş olup %62 oranında çok büyük bir düşüş meydana gelmiştir. 3. kür koşuluna genel olarak bakıldığında tüm polimer katkı malzemelerinin tüm oranlarında kontrol numunelerinin altında bir sehim değeri elde edilmiştir. Özellikle PÜ polimer katkılı numunelerin sehim değerlerinde oldukça fazla düşüşler görülmüştür.



Şekil 3.11. 3. kür koşulunda katkı oranı ile sehim değeri arasındaki ilişki

3 farklı kür koşuluna tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda kür koşullarının polimerle iyileştirilmiş harçların sehim değerine etkisi Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Kür şartları ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının sehim değerleri arasındaki ilişki

### 3.2.1.3. Kür Şartı İle Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

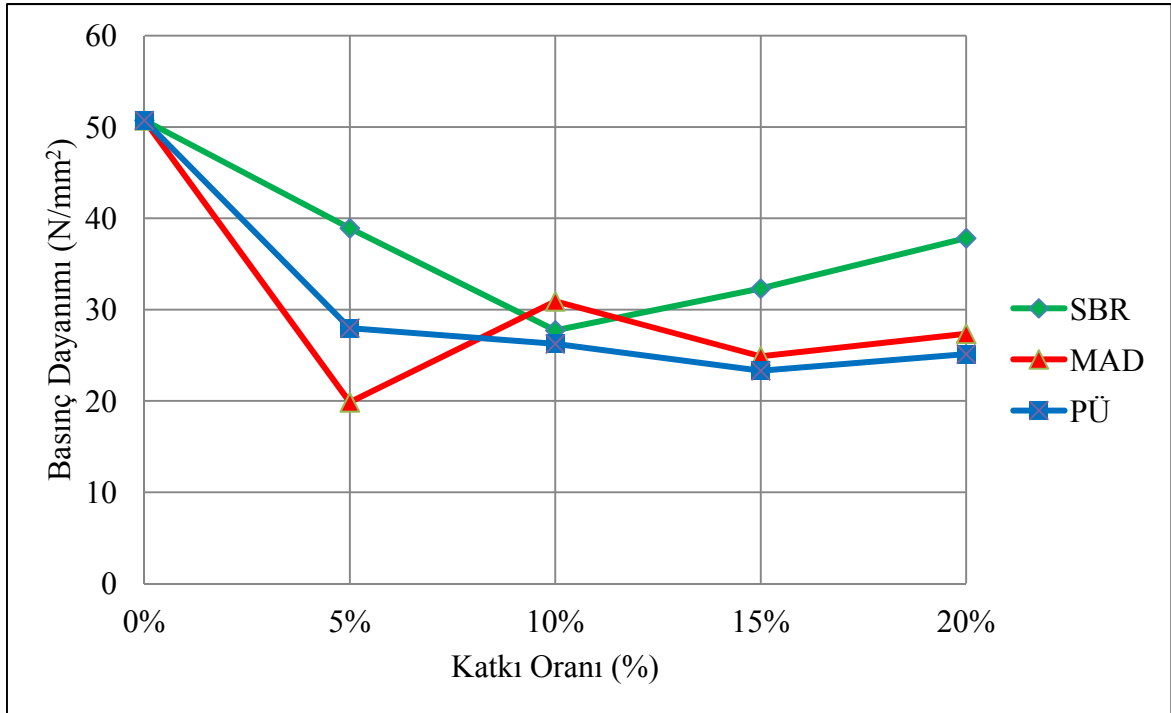
3 farklı kür koşuluna tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda kür koşullarının polimerle iyileştirilmiş harçların basınç dayanımına etkisi Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Polimerle iyileştirilmiş harçlarda kür koşullarının basınç dayanımına etkisi

Polimer Katkı Oranı (%)	1. Kür Koşulu			2. Kür Koşulu			3. Kür Koşulu		
	SBR	MAD	PÜ	SBR	MAD	PÜ	SBR	MAD	PÜ
0%	50.73	50.73	50.73	48.45	48.45	48.45	51.21	51.21	51.21
5%	38.91	19.85	27.97	38.61	27.1	17.2	37.1	26.66	11.07
10%	27.73	30.91	26.25	32.05	31.5	26.64	50.76	35.09	27.7
15%	32.31	24.89	23.3	29.51	29.1	24.79	50.84	22.64	20.39
20%	37.82	27.36	25.13	32.38	20.6	27.95	51.88	19.53	27.75

1. kür koşulu için polimer katkılı harçların basınç dayanımlarının polimer katkı oranlarına göre değişimi Şekil 3.4'de gösterilmektedir. Polimer katkı malzemesi kullanımı ile numunelerin basınç dayanımında düşüş olacağı tahmin edilmiştir ve Şekil 3.13'te görüldüğü gibi katkı malzemesi olan tüm oranlar için basınç dayanımı, değişen miktarlarda azalma göstermiştir. 1. kür koşulu için kontrol numunelerinin basınç dayanımı 50.73 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. SBR katkısının %5 oranında katılması durumunda basınç dayanımı 38.91 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür ve %23 oranında bir azalma kaydedilmiştir. SBR katkısının %10 oranında katılması durumunda basınç dayanımı 27.73 N/mm<sup>2</sup>'ye düşerek %45 oranında büyük bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR %15 oranında katıldığında basınç dayanımı tekrar artan bir izlem göstermesine rağmen bu değer kontrol numunelerinin üzerine çıkamamıştır. Bu malzeme %15 oranında katıldığında 32.31 N/mm<sup>2</sup> çıkararak kontrol numunelerinden %36 oranında daha az bir basınç dayanımı elde edilmiştir. SBR katkısının %20 oranında katılması halinde basınç dayanımında artış izlemi devam etmiş ancak yine de kontrol numunelerinin üzerinde bir değer kaydedilememiştir. Bu oranda basınç dayanımı 37.82 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş olup %25'lik bir düşüş kaydedilmiştir. MAD katkısının %5 oranında katılması halinde basınç dayanımı 29.79 N/mm<sup>2</sup>'ye düşerek %60 oranında çok büyük bir azalma meydana gelmiştir. MAD katkısı %10 oranında

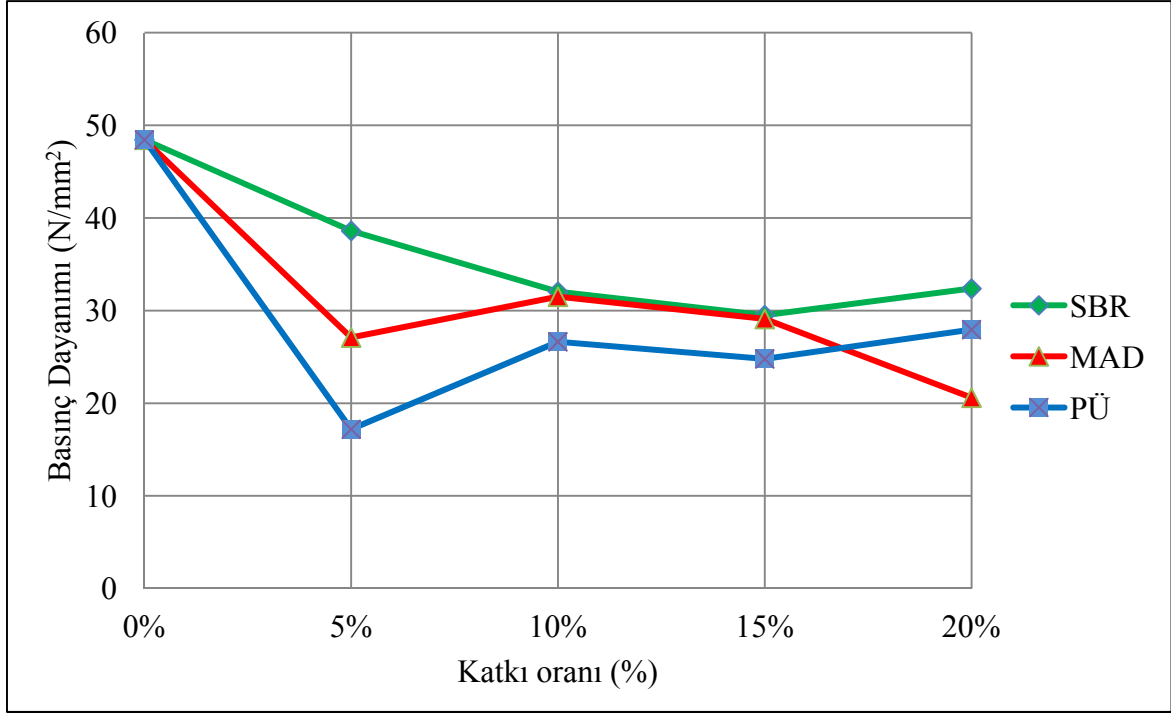
kullanıldığında basınç dayanımı  $30.91 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşerek %39'luk bir düşüş meydana gelmiştir. MAD daha sonraki %15 ve %20 oranlarında birbirine yakın değerler vererek sırası ile  $24.89$  ve  $27.36 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş olup yaklaşık olarak %45-50 dolaylarında azalmalar görülmüştür. PÜ polimer katkısı için özellikle %5-10-20 katkı oranlarında birbirine çok yakın basınç dayanımları elde edilmiştir. Bu değerler sırası ile  $27.97$ - $26.25$ - $25.13 \text{ N/mm}^2$  olarak elde edilmiştir ve %45-50 dolaylarında büyük düşüşler ortaya çıkmıştır. PÜ katkısı %15 oranında kullanıldığında ise basınç dayanımı  $23.3 \text{ N/mm}^2$  ölçülmüş olup %54 oranında çok büyük bir düşüş gözlemlenmiştir. 1. kür koşulu için basınç dayanımlarında beklenen azalmalar meydana gelmiştir fakat PÜ katkısında bu düşüş değerleri çok büyük miktarda olmuştur. Bunun sebebi de petrografik görüntüden de görüldüğü üzere PÜ katkısı harç numunelerine fazla hava sürüklemiş ve bu sürüklenen havadan dolayı harç içinde boşluklar oluşmuştur (Şekil 3.1). En az basınç değeri düşüşleri ise SBR polimer katkılarında elde edilmiştir.



Şekil 3.13. 1. kür koşulunda katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

2. kür koşulu için polimer katkılı harçların basınç dayanımlarının polimer katkı oranlarına göre değişimi Şekil 3.14'te gösterilmiştir. Bu kür koşulu için kontrol numunelerinin basınç dayanımı  $48.45 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüştür. Bu kür koşulu içinde ilk kür şartına benzer olarak basınç dayanımlarında tüm oranlarda belirli miktarlarda azalma

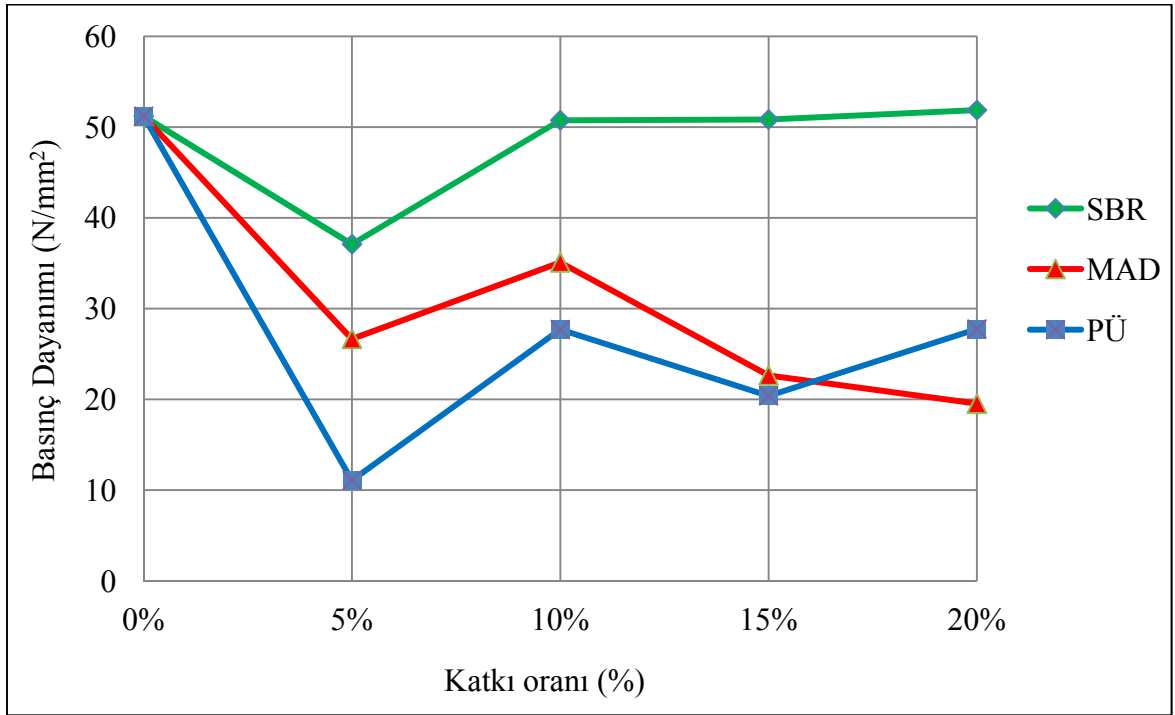
meydana gelmiştir. SBR polimer katkı malzemesinin %5 oranında katılması halinde basınç dayanımı  $38.61 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş olup %20 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR polimer katkısının %10 ve %20 oranlarında katılması halinde basınç dayanımları neredeyse aynı değeri vererek yaklaşık  $32 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş olup %33'lük bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu malzemenin %15 oranında kullanılması halinde ise basınç dayanımı  $29.51 \text{ N/mm}^2$  ölçülmüş ve %39 oranında bir azalma meydana gelmiştir. MAD polimer katkısının %5 ve %15 oranlarında katılması halinde basınç dayanımları birbirine yakın değerler vererek  $27.1-29.1 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş olup yaklaşık %40-45 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. Bu malzemenin %10 oranında katılması durumunda basınç dayanımı  $31.5 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşerek %35 oranında bir azalma meydana gelmiştir. MAD katkısının %20 oranında kullanılması halinde ise basınç dayanımı  $20.6 \text{ N/mm}^2$  çıkarak %57 oranında büyük bir düşüş meydana gelmiştir. PÜ katkısı %5 oranında kullanıldığında basınç dayanımı  $17.2 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşerek %64 oranında çok ciddi bir azalma göstermiştir. Bu katkı malzemesinin daha sonraki oranlarında basınç dayanımı biraz da olsa artan izlem göstermiş fakat kontrol numuneleri ile kıyaslandığında büyük düşüşler gözlemlenmiştir. PÜ katkısını %10, %15 ve %20 oranlarında katılması halinde basınç dayanımları sırası ile  $26.64-24.79-27.95 \text{ N/mm}^2$  ölçülmüş olup %42-48'lik düşüşler görülmüştür. Bu kür koşulunda da en az düşüşler ve en fazla düşüşler 1. kür koşuluna benzer olmuştur. En fazla düşüşler yine PÜ polimer katkısında, en az düşüşler ise SBR katkısında meydana gelmiştir.



Şekil 3.14. 2. kür koşulunda katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

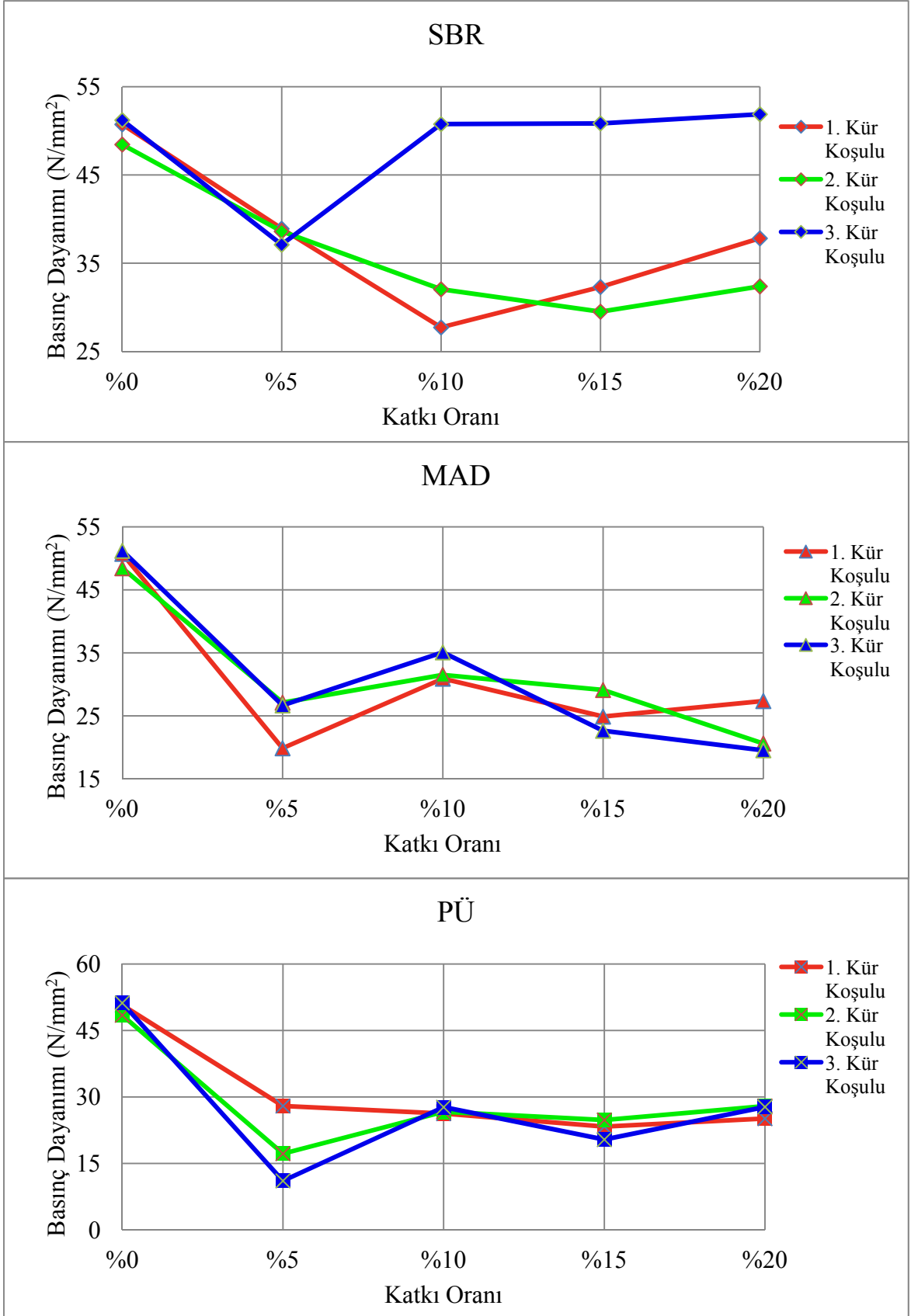
3. kür koşulu için polimer katkılı harçların basınç dayanımlarının polimer katkı oranlarına göre değişimi Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Bu kür koşulu için kontrol numunelerinin basınç dayanımı  $51.21 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüştür. Bu kür koşulu için de, ilk iki kür şartına benzer olarak basınç dayanımlarında neredeyse tüm oranlarda belirli miktarlarda azalma meydana gelmiştir. Bu kür koşulu için şaşırtıcı bir şekilde SBR katkısının %20 oranındaki basınç dayanımı kontrol numunelerinden çok az bir miktarda olsa fazla çıkmıştır. SBR katkısı %10 ve %15 oranlarında neredeyse aynı basınç değerini vererek  $50.76$  ve  $50.84 \text{ N/mm}^2$  çıkararak aynı zamanda kontrol numunelerinin basınç değeri ile yaklaşık aynı değeri vermiştir. SBR katkısının %20 oranında katılması durumunda ise numunelerin tüm kür koşulları için basınç dayanımlarında ilk kez kontrol numunelerinin üzerinde bir değere çıkmıştır. Bu değer  $51.88 \text{ N/mm}^2$  çıkmıştır ve %1 civarında küçük bir artış sergilemiştir. Ancak SBR katkısının %5 oranında katılması halinde basınç dayanımı  $37.1 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşerek %27 oranında bir düşüş görülmüştür. MAD katkısı %5 oranında kullanıldığında basınç dayanımı  $26.66 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşerek %36 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. MAD katkı malzemesinin %10 oranında katılması durumunda basınç dayanımı  $35.09 \text{ N/mm}^2$  ölçülerek %35 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. MAD polimer katkısının %15 katılması halinde basınç dayanımı  $22.64 \text{ N/mm}^2$  ölçülmüş olup %55 oranında ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir. MAD katkısının %20 oranında katılması

durumda da basınç dayanımındaki düşüş devam etmiştir. Basınç dayanımı  $19.53 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüştür ve %61 oranında ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir. PÜ katkısı %5 oranında kullanıldığında basınç dayanımı  $11.07 \text{ N/mm}^2$ 'ye düşerek %78 oranında çok büyük bir düşüş gözlemlenmiştir. PÜ katkısı %10 ve %20 oranlarında basınç dayanımı  $27.7 \text{ N/mm}^2$  olarak neredeyse iki oranda da aynı çıkmıştır ve %45 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. PÜ katkısının %15 oranında katılması halinde ise basınç dayanımı  $20.39 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüştür ve %60 oranında büyük bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu kür koşulunda SBR katkısının belirli oranlarında oldukça olumlu sonuçlar alınmıştır. Diğer kür koşullarında olduğu gibi PÜ polimer katkı malzemesinin kullanılması halinde basınç dayanım oldukça fazla düşüş göstermiştir.



Şekil 3.15. 3. kür koşulunda katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

3 farklı kür koşuluna tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda kür koşullarının polimerle iyileştirilmiş harçların basınç dayanımına etkisi Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Kır şartları ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının basınç dayanımları arasındaki ilişki



### **3.3. Polimer Katkısının, Harçların Yüksek Sıcaklık Direncine Etkisi**

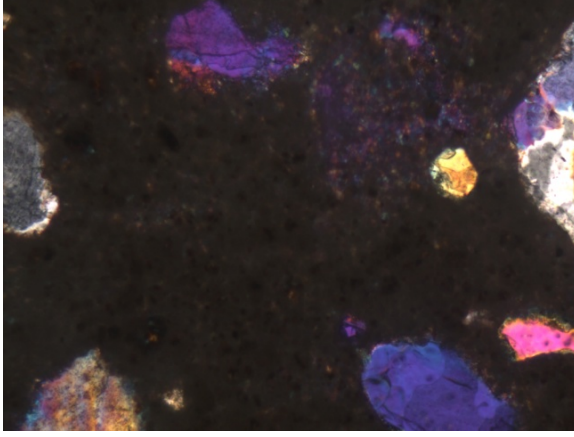
Çalışmanın birinci kısmında yapılan deneyler sonucunda en uygun kür koşulu 1. kür koşulu (dışarıda günde iki kez sulama koşulu) olarak belirlenmiştir. Bu kısımda ise 3 farklı polimer 5 farklı oranda harçlara katılarak hazırlanan numuneler 1. kür koşulu ile 28 gün boyunca kür edilmiştir ve 4 farklı (21 °C, 100 °C, 200 °C ve 250 °C) sıcaklığa maruz bırakılmıştır. 1 saat boyunca bu sıcaklıklara maruz bırakılan numunelerin eğilme ve basınç dayanımları bunun yanı sıra sehim ve ultrases hızı değişimi gözlemlenmiştir.

#### **3.3.1. Polimerle İyileştirilmiş Çimento Harçlarının Petrografik Özellikleri**

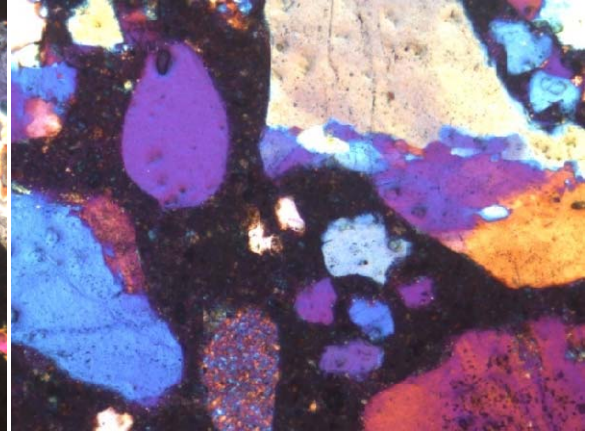
Şekil 3.17’de yüksek ısıya maruz bırakılan harçların yapılarındaki petrografik değişimler ince kesit görüntüleri yardımıyla incelenmektedir. Hem 21 °C’de hem de 100 °C’de çimento harcı matrisleri benzer olduğu için, sadece 21 °C’deki durum normal durum olarak kabul edilmiştir. Bu sıcaklıklara maruz çimento harçlarının ince kesit resimlerinde, polimer katkı malzemelerinin sıcaklıkla gösterdiği farklılıklar kolayca anlaşılabilir.

200 °C’de çimento hamuru matrislerinde bazı bozulmalar olduğu görülmüştür (Şekil 3.17). Polimer katkı malzemeleri göz önüne alındığında referans durumunda çimento matrisiyle bütünleşmiş olan ve seçilemeyen polimer katkılar, 200 °C sıcaklığa maruz kaldıklarında renk koyulaşması sebebiyle çimento hamuru içinde ayırt edilebildiği gözlemlenmiştir.

250 °C’de çimento hamuru matrisleri zayıflamıştır. Bu ısıda polimer malzemeler erime sıcaklığına geçmiş ve buharlaşmaya başlamıştır. Bu sebeple matris içinde polimer malzemeler yerinde boşluklar oluşmaya başladığı açıkça görülmektedir.

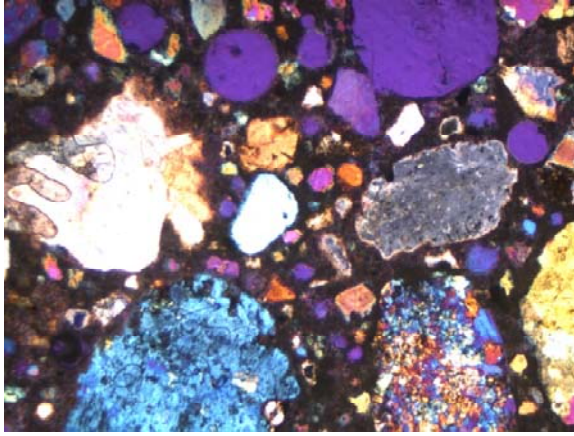


21 °C'ye Maruz Referans Numunesi

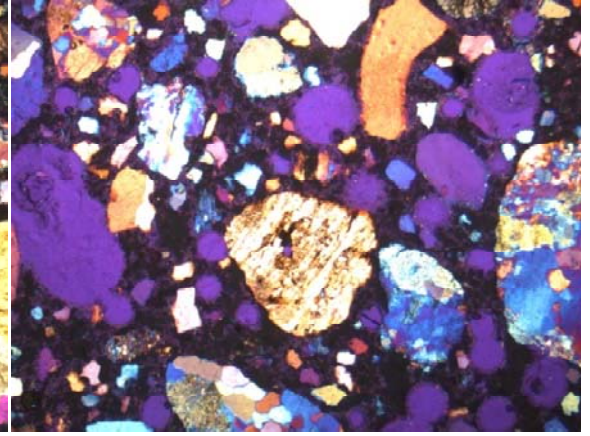


250 °C'ye Maruz Referans Numunesi

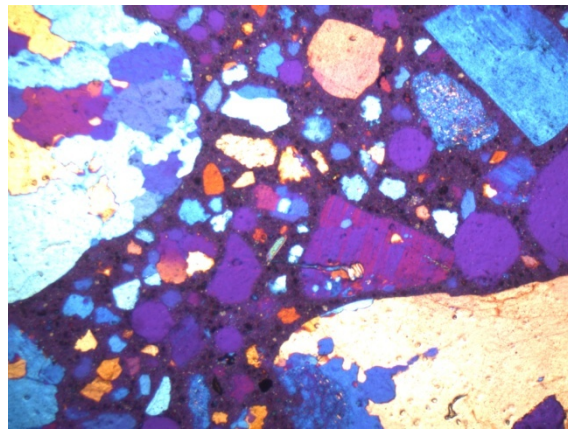
Şekil 3.17 a) Yüksek sıcaklıklara maruz kalan katkısız harçların ince kesit görüntüleri



21 °C'ye Maruz SBR Katkılı Numune

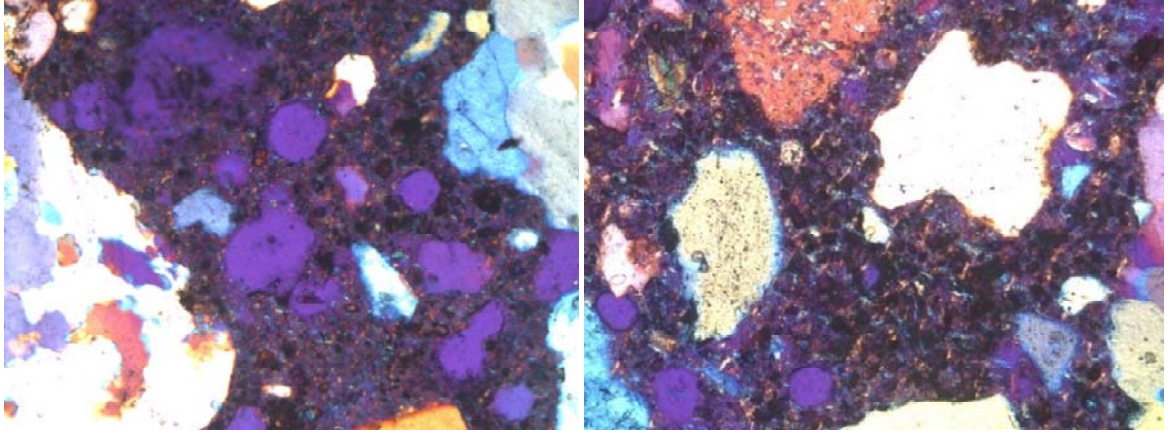


200 °C'ye Maruz SBR Katkılı Numune



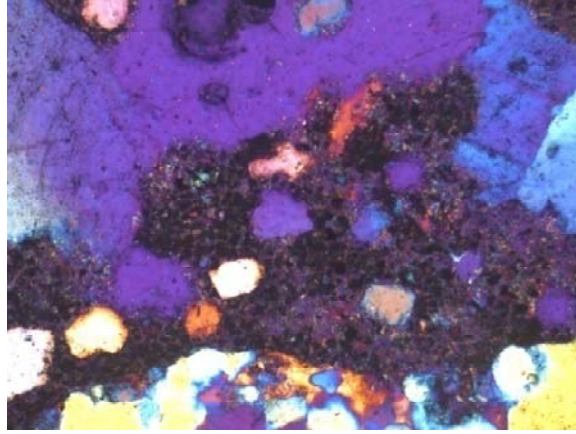
250 °C'ye Maruz SBR Katkılı Numune

Şekil 3.17 b) Yüksek sıcaklıklara maruz kalan SBR katkıli harçların ince kesit görüntüleri



21 °C'ye Maruz PÜ Katkılı Numune

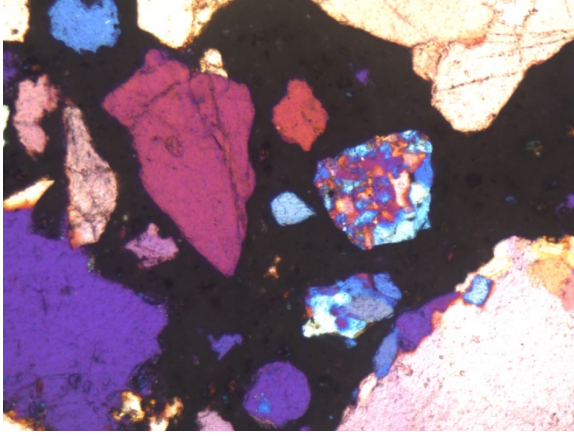
200 °C'ye Maruz PÜ Katkılı Numune



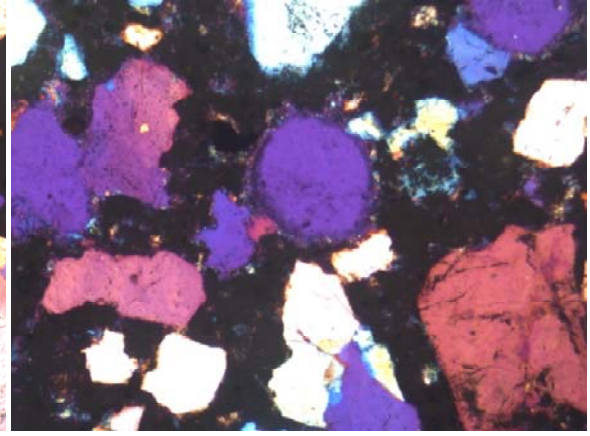
250 °C'ye Maruz PÜ Katkılı Numune

Şekil 3.17 c) Yüksek sıcaklıklara maruz kalan PU katkılı harçların ince kesit görüntüleri

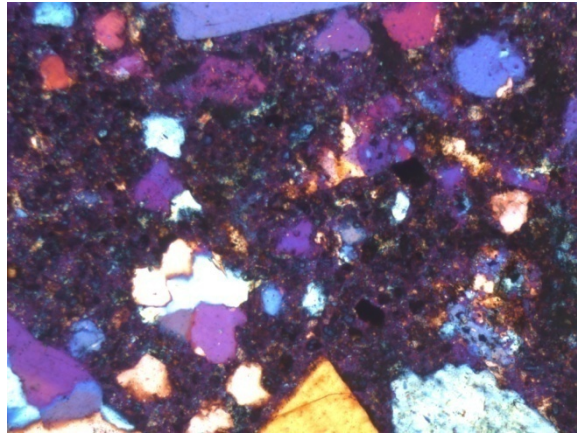




21 °C'ye Maruz MAD Katkılı Numune



200 °C'ye Maruz MAD Katkılı



250 °C'ye Maruz PÜ Katkılı Numune

Şekil 3.17 d) Yüksek sıcaklıklara maruz kalan MAD katkılı harçların ince kesit görüntüleri

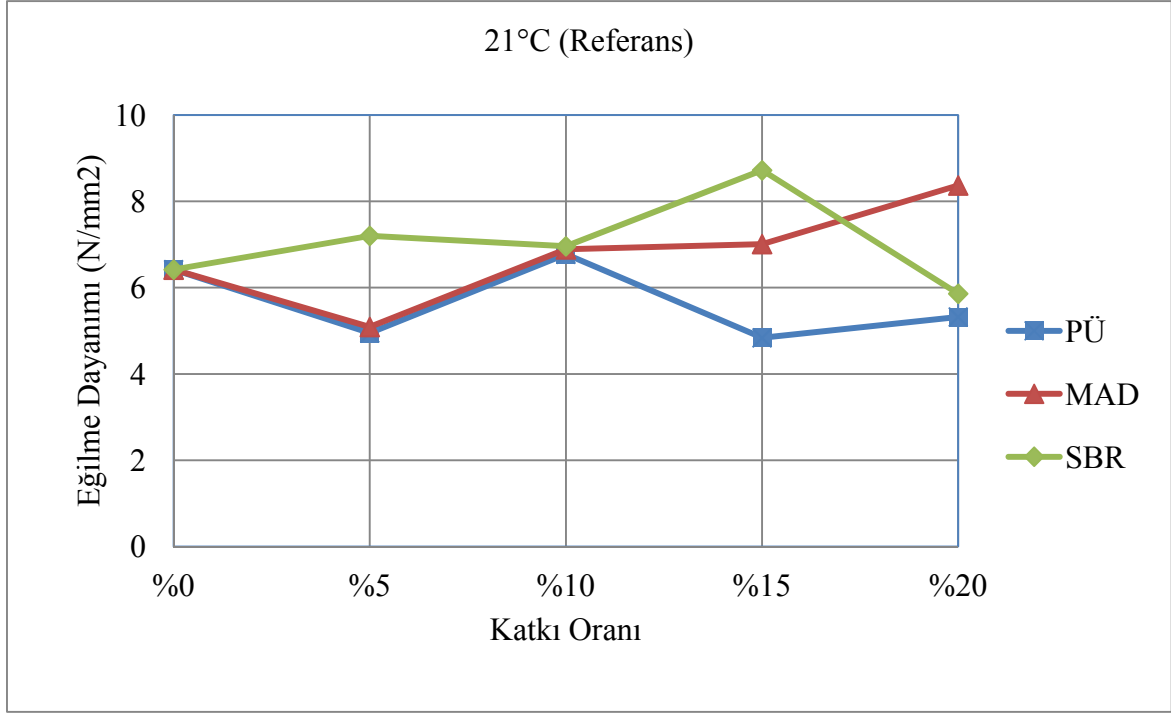
### 3.3.2. Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Polimerle İyileştirilmiş Harçların Eğilme Dayanımının Değişimi

4 farklı sıcaklığa maruz bırakılan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda sıcaklığın polimerle iyileştirilmiş harçların eğilme dayanımına etkisi Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Polimerle iyileştirilmiş harçlarda yüksek sıcaklığın eğilme dayanımına etkisi

Polimer Katkı Oranı (%)	Sıcaklık (°C)	Eğilme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )		
		PÜ	MAD	SBR
%0	21	6.42	6.42	6.42
	100	6.35	6.35	6.35
	200	6.79	6.79	6.79
	250	3.84	3.84	3.84
%5	21	4.95	5.09	7.20
	100	3.88	3.98	5.32
	200	4.45	5.74	7.57
	250	3.70	3.14	5.72
%10	21	6.77	6.89	6.96
	100	5.81	5.27	4.84
	200	5.88	6.19	6.26
	250	4.31	4.22	4.99
%15	21	4.84	7.01	8.72
	100	3.21	5.56	6.31
	200	5.60	7.22	7.85
	250	4.27	3.84	6.63
%20	21	5.32	8.37	5.86
	100	3.63	6.24	6.31
	200	5.53	7.31	6.34
	250	4.36	3.38	5.11

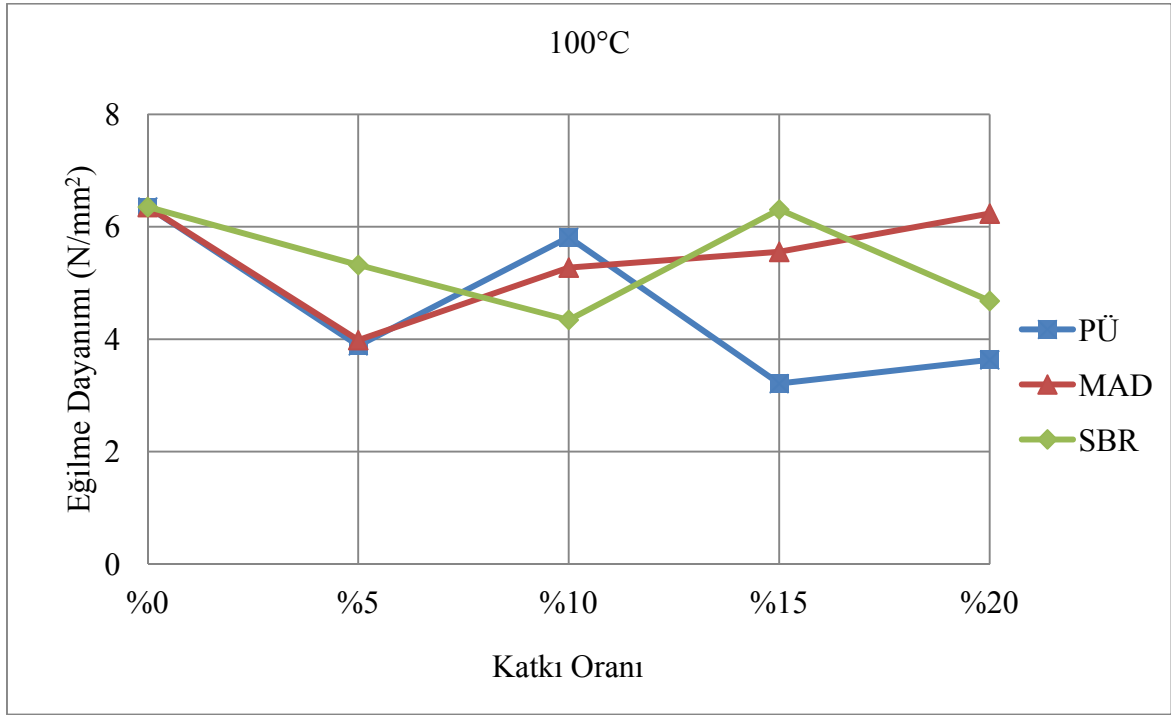
Referans durumundaki (21 °C) numunelerin eğilme deneyinin sonuçları grafiksel olarak Şekil 3.18’da verilmiştir. Çalışmanın bu kısmı daha önceki kısımlarda da yapılmış olup bu deneyler sonucu da daha önceki sonuçlara yakın değerler elde edilmiştir. Bu kısmın tekrar yapılmasının amacı aynı şartlarda üretilen numunelerin yüksek sıcaklığa maruz kalmayan numunelerin deneye maruz kalan numuneler ile kıyaslanmasıdır.



Şekil 3.18. Referans durumu için katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

1 saat boyunca 100 °C'ye maruz bırakılan numunelerin eğilme deneyinin sonuçları grafiksel olarak Şekil 3.19'de verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 100 °C'ye maruz kalan katkısız (kontrol) numunelerin eğilme dayanımı 6.35 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür ve 21 °C'ye maruz kalan numunelere göre yaklaşık %2 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR polimer katkı malzemesinin %15 oranında kullanılması durumunda numunelerin eğilme dayanımı, 6.31 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre % 28 oranında bir düşüş görülürken, 100 °C'deki kontrol numunesine göre neredeyse aynı dayanım gözlemlenmiştir. Ancak SBR polimer katkı malzemesinin %10 oranında kullanılması durumunda numunelerin eğilme dayanımı 4.34 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %30 oranında, 100 °C'deki kontrol numunesine göre %32 oranında azalmalar gözlemlenmiştir. MAD katkısının %5 oranında kullanılması durumunda eğilme dayanımı 3.98 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %22 oranında, 100 °C'deki kontrol numunelerine göre ise %37 oranında düşüş görülmüştür. MAD katkısının %20 oranında kullanılması durumunda eğilme dayanımı 6.24 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş, 21 °C'deki aynı oranına göre %25 oranında bir düşüş gözlemlenmiş olsa da 100 °C'deki kontrol numunelerine göre neredeyse aynı dayanım görülmüştür. PÜ katkı malzemesinin %10 oranında kullanılması halinde eğilme dayanımı 5.81 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve aynı oranda 21 °C'ye göre %14 oranında, 100 °C'deki kontrol numunesine göre ise %8

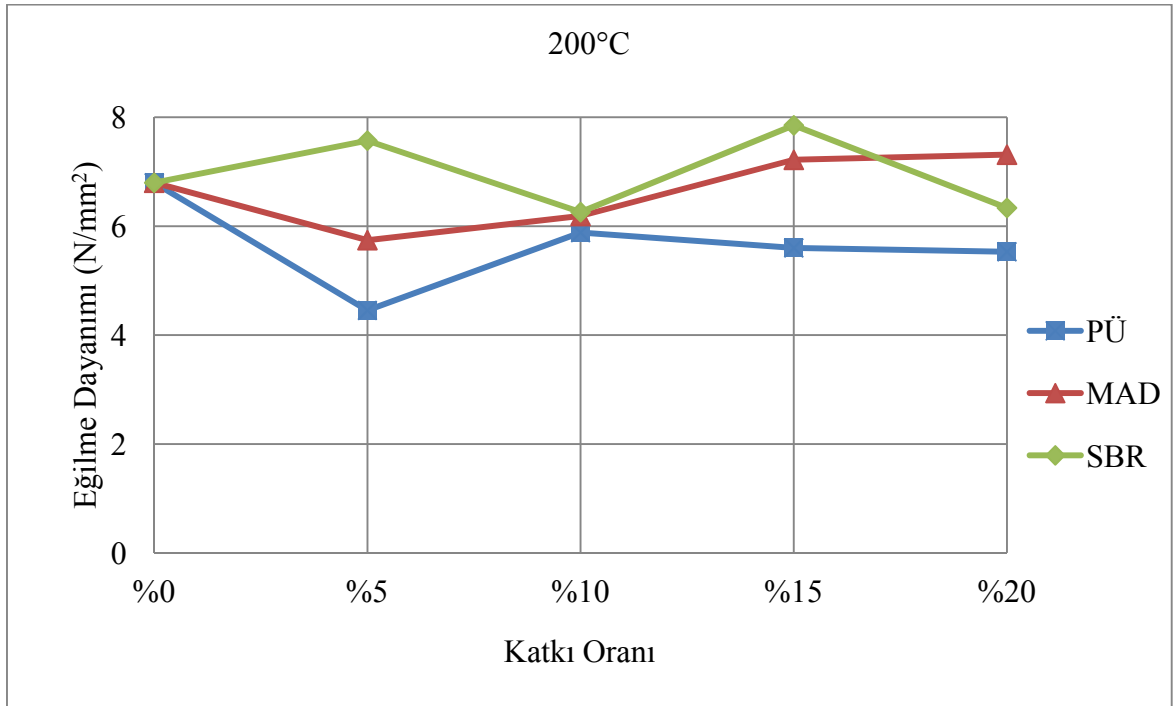
oranında azalmalar gözlemlenmiştir. PÜ katkısı %15 oranında katılması halinde 3.21 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş, 21 °C'deki oranına göre %34, 100 °C'deki kontrol numunesine göre ise yaklaşık %50 oranında bir düşüş sergilemiştir. Bu değer 100 °C için en düşük eğilme dayanımı değeridir. 100 °C'ye maruz kalan katkılı numunelerin eğilme dayanımlarının bu sıcaklıktaki kontrol numunelerinin eğilme dayanımından daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.19. 100 °C için katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

1 saat boyunca 200 °C'ye maruz bırakılan numunelerin eğilme deneyinin sonuçları grafiksel olarak Şekil 3.20'de verilmiştir. 200 °C'ye maruz kalan katkısız (kontrol) numunelerin eğilme dayanımı 6.79 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş olup 21 °C'ye maruz kalan kontrol numunelerine göre yaklaşık %5 oranında bir artış gözlemlenmiştir. SBR polimer katkı malzemesinin %10 oranında kullanılması durumunda numunelerin eğilme dayanımı 6.26 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %10, 200 °C'deki kontrol numunesine göre %8 oranında azalmalar gözlemlenmiştir. SBR katkı malzemesinin %15 oranında kullanılması durumunda numunelerin eğilme dayanımı 7.85 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş, 21 °C'deki aynı oranına göre %10 oranında bir düşüş olurken, 200 °C'deki kontrol numunesine göre %13 daha yüksek bir dayanım gözlemlenmiştir. MAD katkısının

%20 oranında kullanılması durumunda eğilme dayanımı  $7.31 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş ve  $21^\circ\text{C}$ 'deki aynı oranına göre %13 oranında bir düşüş gözlemlenmesine rağmen  $200^\circ\text{C}$ 'deki kontrol numunelerine göre %7 oranında daha yüksek bir dayanım görülmüştür. MAD katkısının %5 oranında kullanılması durumunda eğilme dayanımı  $5.74 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş ve  $21^\circ\text{C}$ 'deki aynı oranına göre %11 oranında,  $200^\circ\text{C}$ 'deki kontrol numunelerine göre ise %16 oranında düşüş gözlemlenmiştir. PÜ katkı malzemesinin %10 oranında kullanılması halinde eğilme dayanımı  $5.88 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş ve aynı oranda  $21^\circ\text{C}$ 'ye göre %13 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. PÜ katkısı %5 oranında katılması halinde  $21^\circ\text{C}$ 'deki aynı orana göre %10,  $200^\circ\text{C}$ 'deki kontrol numunesine göre %35 oranında bir azalma sergilemiştir. PÜ'nün %10 oranında  $200^\circ\text{C}$ 'deki kontrol numunesine göre ise yaklaşık %13 daha düşük bir dayanım görülmüştür.  $200^\circ\text{C}$ 'ye maruz kalan katkılı numunelerden SBR 'nin %5 ve %15, MAD'nin %15 ve %20 oranlarında eğilme dayanımları bu sıcaklıktaki kontrol numunelerinin eğilme dayanımından daha yüksek olduğu görülürken diğer tüm katkılı numunelerin eğilme dayanımının kontrol numunelerinin eğilme dayanımından daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

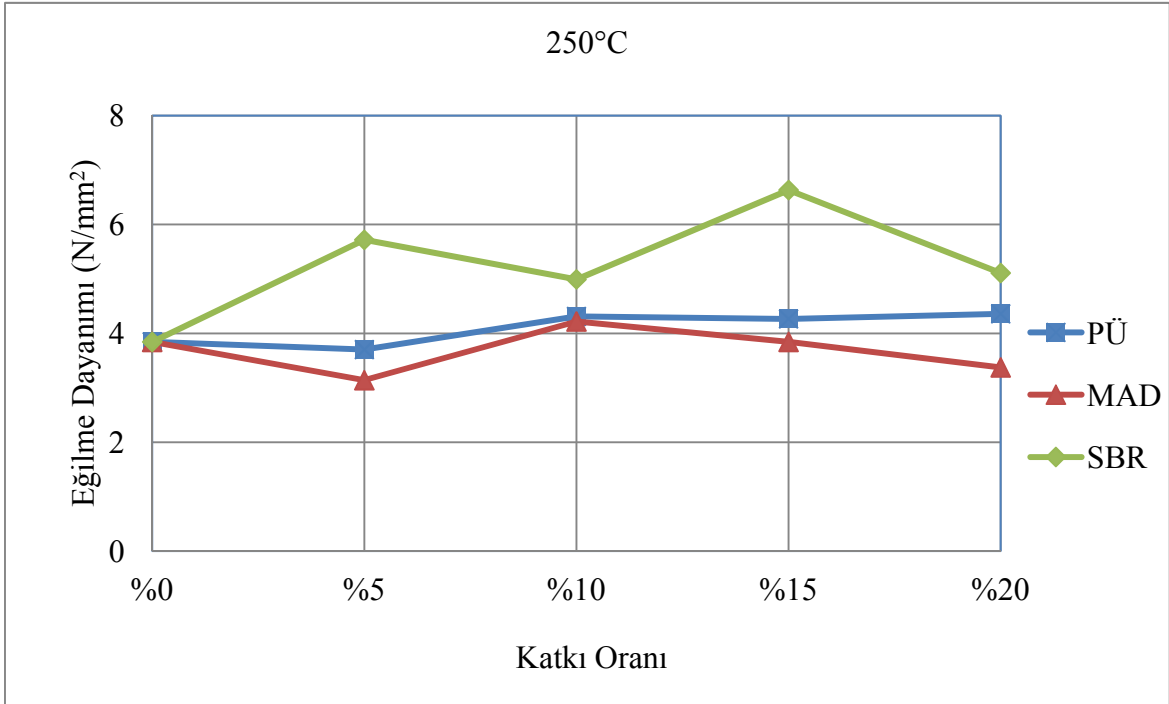


Şekil 3.20.  $200^\circ\text{C}$  için katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

1 saat boyunca  $250^\circ\text{C}$ 'ye maruz bırakılan numunelerin eğilme deneyinin sonuçları grafiksel olarak Şekil 3.21'de verilmiştir.  $250^\circ\text{C}$ 'ye maruz kalan katkısız (kontrol)



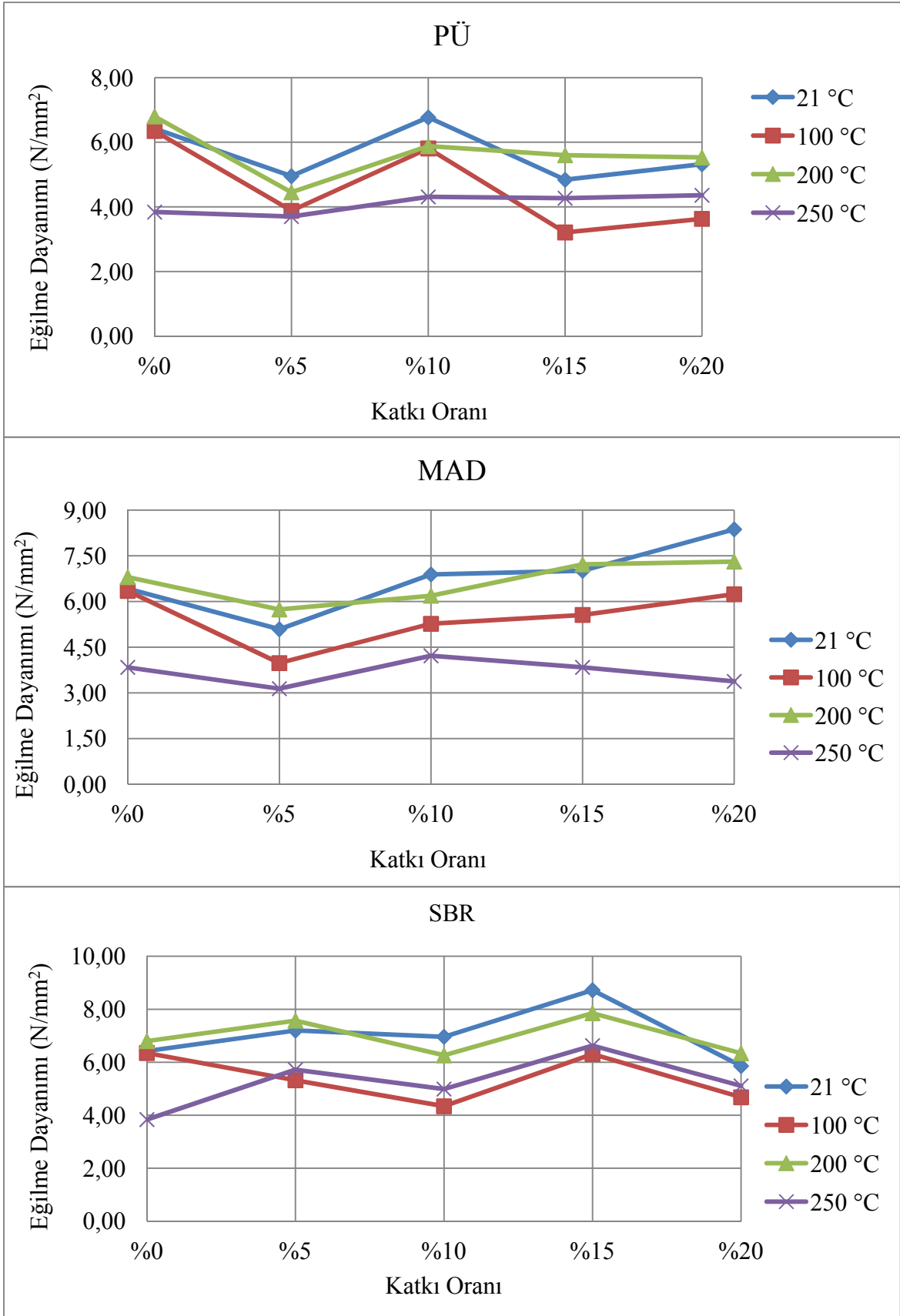
numunelerin eğilme dayanımı  $3.84 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş olup  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye maruz kalan kontrol numunelerine göre yaklaşık %40 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. SBR katkısı %10 oranında kullanılması durumunda numunelerin eğilme dayanımı  $4.99 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş,  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki aynı oranına göre %28 oranında bir azalma görülmesine rağmen  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki kontrol numunesine göre %23 oranında bir artış sergilemiştir. SBR polimer katkı malzemesinin %15 oranında kullanılması durumunda numunelerin eğilme dayanımı  $6.63 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş ve  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki aynı oranına göre %24 oranında bir düşüş olurken,  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki kontrol numunesine göre %42 daha yüksek bir dayanım elde edilmiştir. MAD katkısının %10 oranında kullanılması durumunda eğilme dayanımı  $5.20 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş,  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki aynı oranına göre %25 oranında bir düşüş görülmesine rağmen  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki kontrol numunelerine göre %26 oranında artış gözlemlenmiştir. MAD katkısının %20 oranında kullanılması durumunda eğilme dayanımı  $3.38 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş ve  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki aynı oranına göre %60,  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki kontrol numunelerine göre %12 oranında daha düşük dayanımlar gözlemlenmiştir.



Şekil 3.21.  $250 \text{ }^\circ\text{C}$  için katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

$250 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye maruz kalması sonucu PÜ katkısının %5 oranı için eğilme dayanımı  $3.70 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş ve  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki aynı oranına göre %25,  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki kontrol numunesine göre ise yaklaşık %4 daha düşük bir dayanım gözlemlenmiştir. PÜ katkısının

%20 oranında ilavesi halinde 21 °C'deki orana göre %18 daha düşük bir dayanım görülmesine rağmen 250 °C'deki kontrol numunesine göre %12 oranında bir artış gözlemlenmiştir. 250 °C'ye maruz kalan katkılı numunelerden PÜ'nün %5 ve MAD'nin %5 ve %20 oranındaki eğilme dayanımı bu sıcaklıktaki kontrol numunelerinden daha düşük olduğu görülürken diğer tüm katkılı numunelerin eğilme dayanımının kontrol numunelerinin eğilme dayanımından daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 4 farklı sıcaklığa maruz bırakılan polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının sıcaklık ile eğilme dayanımları arasındaki ilişki Şekil 3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.22. Sıcaklık ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının eğilme dayanımları arasındaki ilişki

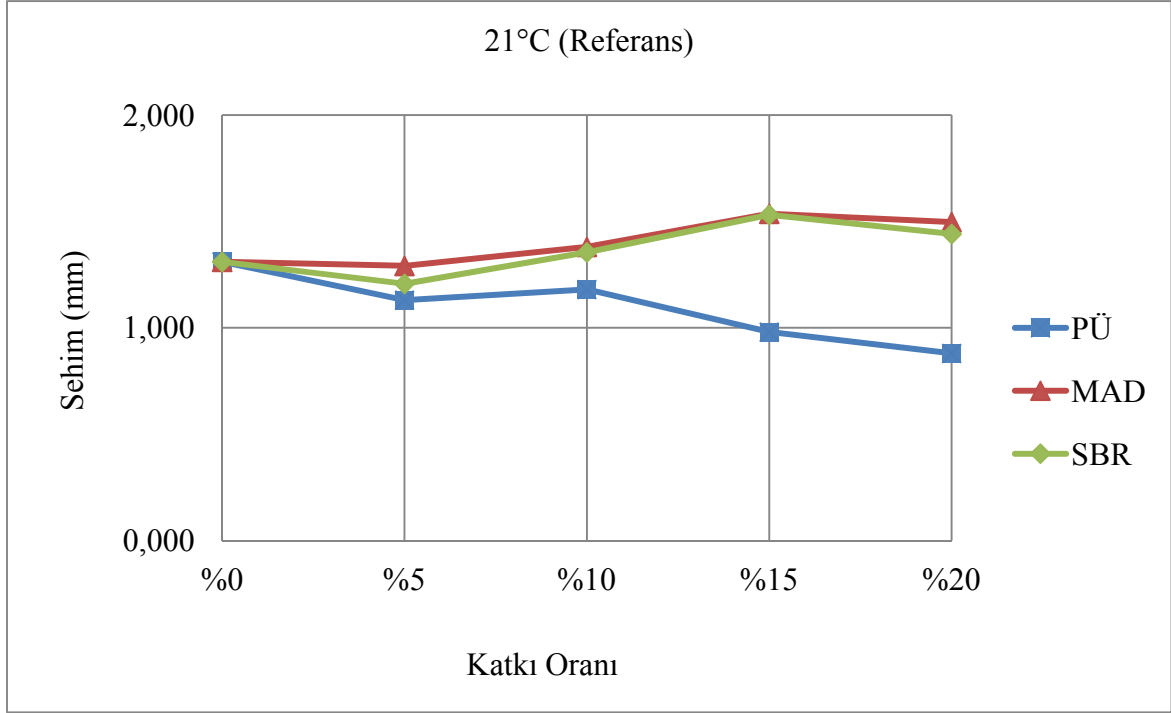
### 3.3.3. Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Polimerle İyileştirilmiş Harçların Sehım Değerlerinin Değişimi

Eğilme dayanımının deneyleri sırasında numunelerin sehım değerleri de gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.8. Polimerle iyileştirilmiş harçlarda yüksek sıcaklığın sehım değerine etkisi

Polimer Katkı Oranı (%)	Sıcaklık (°C)	Sehım (mm)		
		PÜ	MAD	SBR
%0	21	1.31	1.31	1.31
	100	1.227	1.227	1.227
	200	1.311	1.311	1.311
	250	1.086	1.086	1.086
%5	21	1.13	1.291	1.207
	100	1.08	1.261	1.128
	200	1.126	1.287	1.268
	250	1.035	1.114	1.264
%10	21	1.180	1.380	1.355
	100	1.193	1.213	1.348
	200	1.228	1.353	1.222
	250	1.025	1.084	1.281
%15	21	0.98	1.536	1.531
	100	1.097	1.374	1.305
	200	1.143	1.233	1.380
	250	1.028	1.197	1.326
%20	21	0.880	1.497	1.441
	100	1.206	1.295	1.273
	200	1.281	1.367	1.302
	250	0.981	1.228	1.333

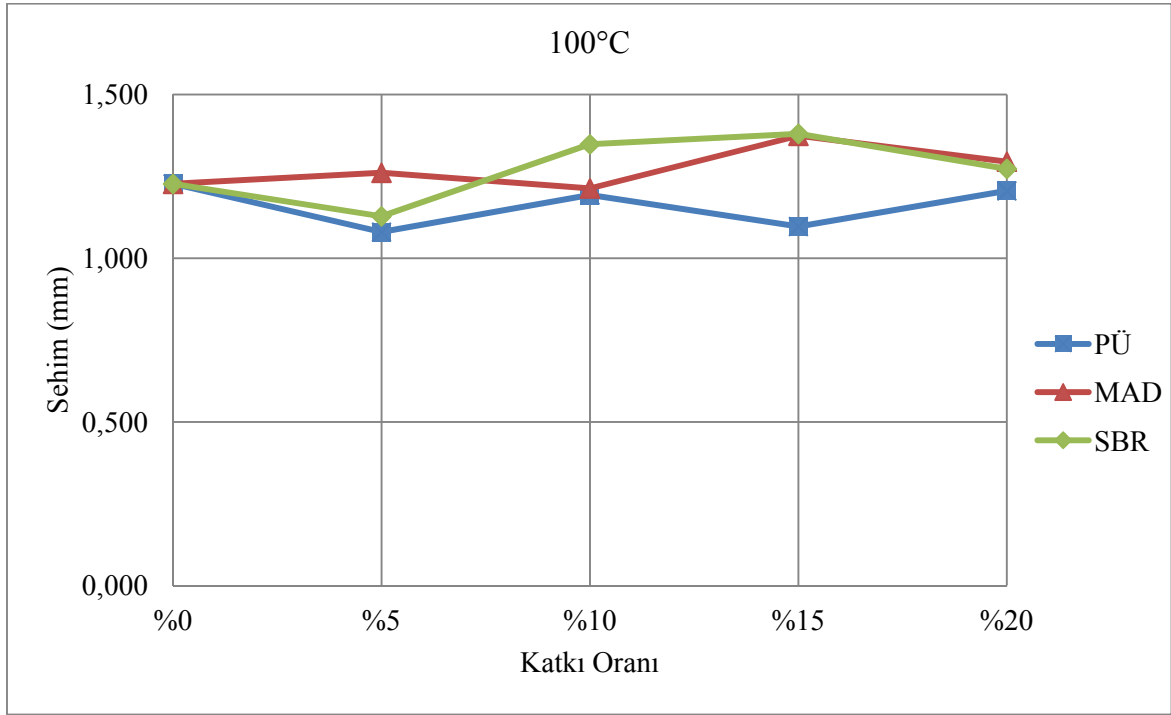
Yapılan deneyler sonucunda referans durumu için (21 °C) harç numunelerinin sehım sonuçları Tablo 3.8 ve Şekil 3.23’te verilmiştir. Bu kısım en uygun kür koşulunu elde etme deneylerinde olduğu gibi yapılmış ve değişimler gözlemlenmiştir.



Şekil 3.23. Referans durumu için katkı oranı ile sehim arasındaki ilişki

1 saat boyunca 100 °C'ye maruz bırakılan numunelerin sehim değerlerinin grafiksel olarak değişimi Şekil 3.24'te gösterilmiştir. Bu sıcaklığa maruz kalan kontrol numuneleri için sehim değeri 1.227 mm olarak ölçülmüş olup 21 °C'ye maruz kalan kontrol numunelerine göre %17 daha düşük bir sehim elde edilmiştir. SBR katkısının %15 oranı için ise sehim değeri 1.380 mm olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %6 daha düşük bir değer ölçülmesine rağmen 100 °C'ye maruz kalan kontrol numuneleri ile kıyaslandığında %5 oranında daha yüksek sehim değeri gözlemlenmiştir. SBR katkısının %5 oranında kullanılması halinde sehim değeri 1.268 mm olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %12, 100 °C'ye maruz kalan kontrol numuneleri ile kıyaslandığında %3 oranında düşüş gözlemlenmiştir. MAD katkı malzemesinin %15 oranında kullanılması durumunda sehim değeri 1.374 mm olarak ölçülmüş olup aynı katkı oranına sahip 21 °C'deki sehim değerine göre %6 daha düşük çıkmasına rağmen 100 °C'deki kontrol numunesi ile kıyaslandığında %11 oranında daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. MAD katkı malzemesi %10 oranında kullanıldığında sehim değeri 1.213 mm olarak ölçülmüş olup aynı katkı oranına sahip 21 °C'deki değerine göre %12, 100 °C'deki kontrol numunesi ile kıyaslandığında ise %6 oranında daha düşük bir sehim çıktığı gözlemlenmiştir. PÜ katkısının %5 oranında kullanılması halinde sehim değeri 1.08 mm olarak ölçülmüş ve aynı katkı oranına sahip 21 °C'deki değerine göre %4, 100 °C'deki kontrol numunesine

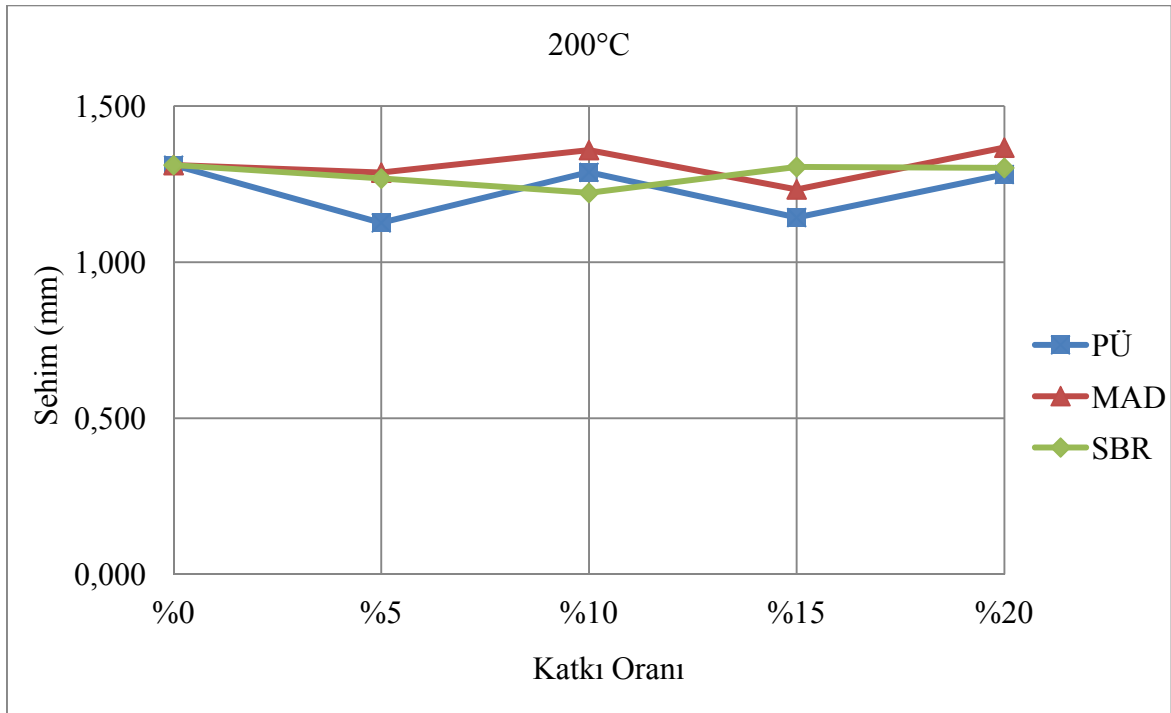
göre ise %12 daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir. PÜ katkısının %20 oranı için ise sehimi değeri 1.206 mm olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %27 oranında daha yüksek çıkmasına rağmen, 100 °C'ye maruz kalan kontrol numuneleri ile kıyaslandığında %17 oranında daha düşük sehimi ölçülmüştür. 100 °C için kontrol numuneleri ile kıyaslandığında PÜ'nün %5, %10, %15 oranlı katkılı numunelerde sehimi değerleri artarken ve SBR'nin ve MAD'nin tüm katkılı numunelerinde sehimi değeri düşmüştür.



Şekil 3.24. 100 °C için katkı oranı ile sehimi arasındaki ilişki

1 saat boyunca 100 °C'ye maruz bırakılan numunelerin sehimi değerlerinin grafiksel olarak değişimi Şekil 3.25'te gösterilmiştir. Bu sıcaklığa maruz kalan kontrol numuneleri için sehimi değeri 1.311 mm olarak ölçülmüş olup 21 °C'ye maruz kalan kontrol numunelerine göre %11 daha düşük bir sehimi elde edilmiştir. SBR katkısının %15 oranı için ise sehimi değeri 1.305 mm olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %15 daha düşük sehimi elde edilmesine rağmen 200 °C'ye maruz kalan kontrol numuneleri ile kıyaslandığında neredeyse aynı sehimi değeri gözlemlenmiştir. SBR katkısının %10 oranında kullanılması halinde 21 °C'deki aynı oranına göre %10, 200 °C'ye maruz kalan kontrol numuneleri ile kıyaslandığında %7 oranında düşüş görülmüştür. PÜ katkısının %10 oranında kullanılması halinde sehimi değeri 1.288 mm olarak ölçülmüş, 21 °C'deki aynı

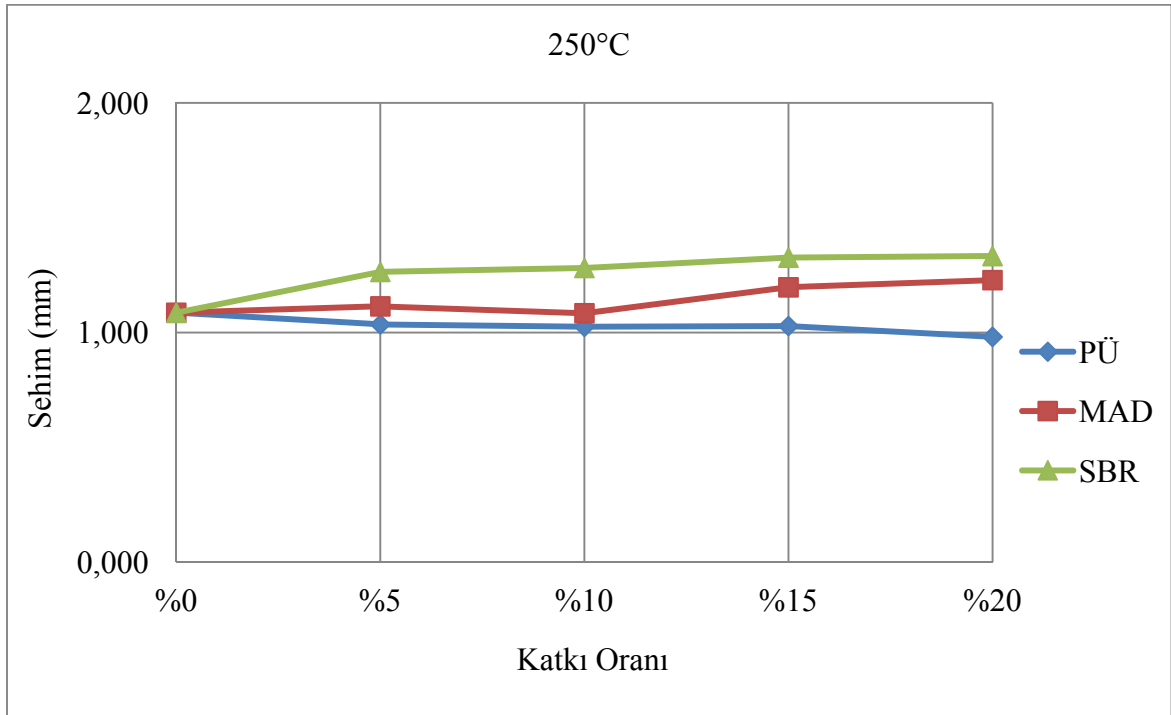
oranına göre %5 oranında bir artış elde edilirken 200 °C'ye maruz kalan kontrol numuneleri ile kıyaslandığında %2 oranında düşüş gözlemlenmiştir. PÜ katkısının %5 oranı için ise sehim değeri 1.126 mm olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranıyla eşit sehim değeri elde edilirken, 200 °C'ye maruz kalan kontrol numuneleri ile kıyaslandığında %14 daha düşük sehim değeri ölçülmüştür. MAD katkı malzemesi için %20 oranında kullanıldığında sehim değeri 1.367 mm olarak ölçülmüş olup aynı katkı oranına sahip 21 °C'deki değerine göre %9 daha düşük çıkarken, 200 °C'deki kontrol numunesi ile kıyaslandığında ise %4 daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. MAD katkı malzemesi için %15 oranında kullanıldığında sehim değeri 1.233 mm olarak ölçülmüş olup aynı katkı oranına sahip 21 °C'deki değerine göre %20, 200 °C'deki kontrol numunesi ile kıyaslandığında ise sadece %6 daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir. 200°C için kontrol numunelerinde ve katkılı numunelerde sehim değeri düşmesine rağmen MAD'nin %10 ve %20, SBR'nin %15 oranı kontrol numunesiyle kıyaslandığında daha yüksek sehim değeri elde etmiştir.



Şekil 3.25. 200 °C için katkı oranı ile sehim arasındaki ilişki

250 °C'ye maruz bırakılan numunelerin sehim değerlerinin grafiksel olarak değişimi Şekil 3.26'da gösterilmiştir. Bu sıcaklığa maruz kalan kontrol numuneleri için sehim değeri 1.086 mm olarak ölçülmüş olup 21 °C'ye maruz kalan kontrol numunelerine

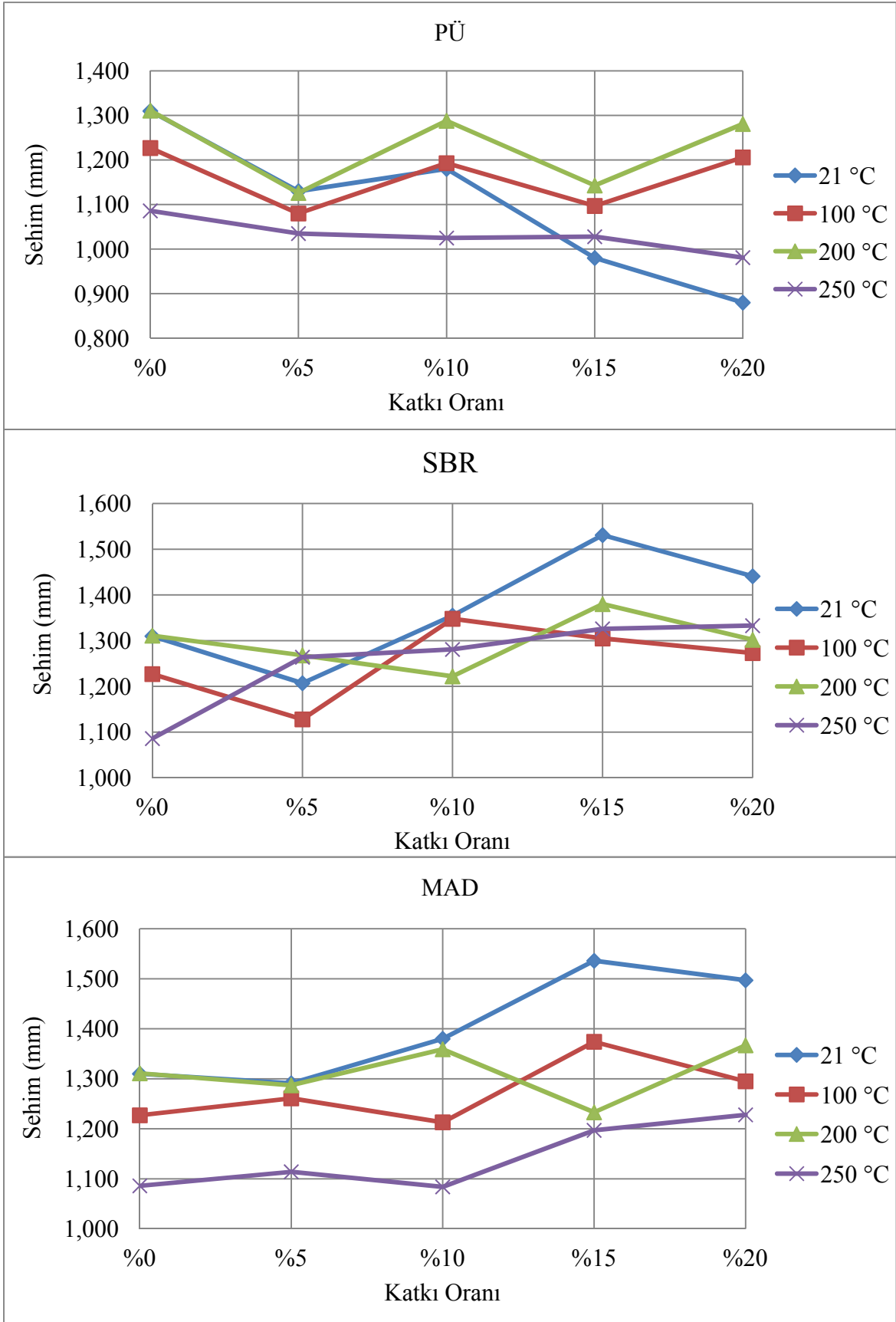
göre %26 daha düşük olduğu görülmüştür. SBR katkısının %20 oranı için ise sehim değeri 1.326 mm olarak ölçülmüştür ve 21 °C'deki aynı oranına göre %5, 250 °C'ye maruz kalan kontrol numuneleri ile kıyaslandığında %19 oranında daha yüksek bir sehim elde edilmiştir. SBR katkısının %5 oranında kullanılması halinde sehim değeri 1.264 mm olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %13 oranında bir azalma görülürken 250 °C sıcaklığına maruz kalan kontrol numuneleri ile kıyaslandığında %14 oranında bir artış gözlemlenmiştir. MAD katkı malzemesi için %20 oranında kullanıldığında sehim değeri 1.228 mm olarak ölçülmüş olup aynı katkı oranına sahip 21 °C'deki değerine göre %18 daha düşük çıkmasına rağmen 250 °C'deki kontrol numunesi ile kıyaslandığında %12 oranında daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir. MAD katkı malzemesi için %10 oranında kullanıldığında sehim değeri 1.084 mm olarak ölçülmüş olup aynı katkı oranına sahip 21 °C'deki değerine göre %25 daha düşük bir sehim değeri elde edilirken 250 °C'deki kontrol numunesine eşit bir sehim değeri elde edilmiştir. PÜ katkısının %10 oranında kullanılması halinde sehim değeri 1.025 mm olarak ölçülmüştür ve 21 °C'deki aynı oranına göre %16, 250 °C'ye maruz kalan kontrol numuneleri ile kıyaslandığında %5 oranında düşüşler gözlemlenmiştir.



Şekil 3.26. 250 °C için katkı oranı ile sehim arasındaki ilişki



PÜ katkısının %20 oranı için ise sehim değeri 0.981 mm olarak ölçülmüştür ve 21 °C'deki aynı oranına göre %27, 250 °C'ye maruz kalan kontrol numuneleri ile kıyaslandığında %10 oranında daha düşük sehim değerleri ölçülmüştür. 250 °C için kontrol numuneleri ile kıyaslandığında MAD ve SBR'nin tüm oranlı katkılı numunelerinde sehim değerleri artarken PÜ'nün tüm oranlı katkılı numunelerde sehim değeri düşmüştür. MAD'nin % 10 oranlı katkılı numunelerinde ise kontrol numunesi ile eşit sehim değerleri elde edilmiştir. 4 farklı sıcaklığa maruz bırakılan polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının sıcaklık ile sehim değerleri arasındaki ilişki Şekil 3.27'de verilmiştir



Şekil 3.27. Sıcaklık ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının sehim değerleri arasındaki ilişki

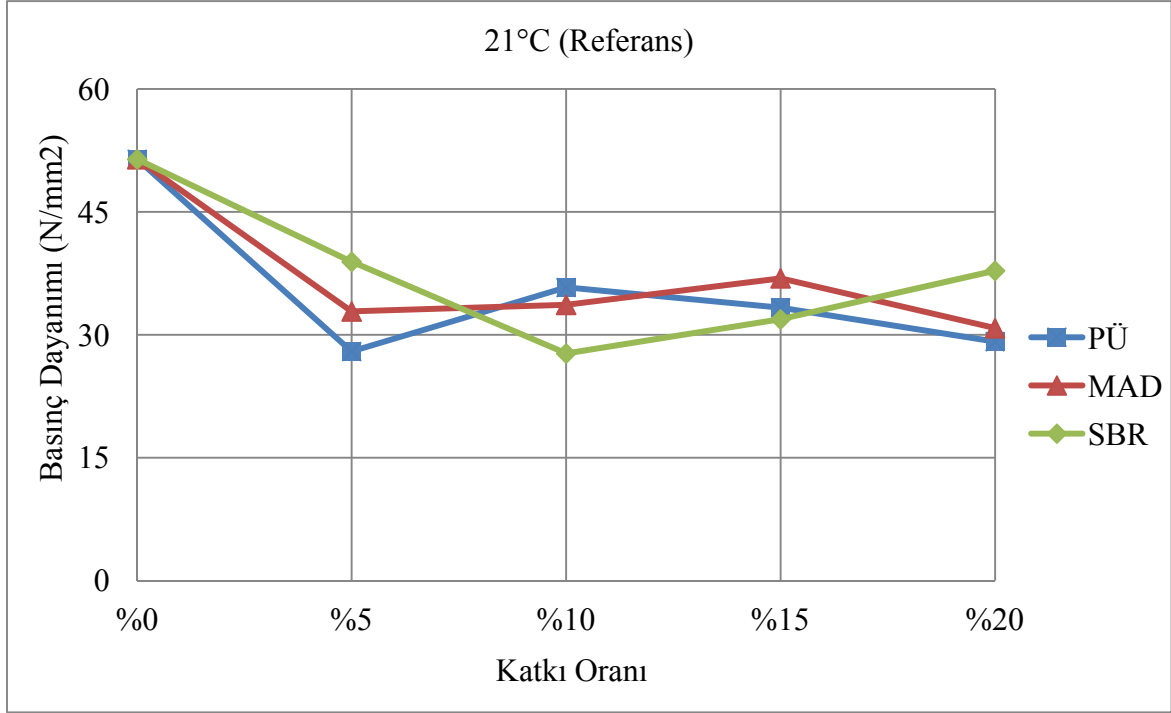
### 3.3.4. Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Polimerle İyileştirilmiş Harçların Basınç Dayanımının Değişimi

Eğilme dayanımı ve sehim ölçümü yapıldıktan sonra numuneler basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.9’da verilmiştir.

Tablo 3.9. Polimerle iyileştirilmiş harçlarda yüksek sıcaklığın basınç dayanımına etkisi

Polimer Katkı Oranı (%)	Sıcaklık (°C)	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )		
		PÜ	MAD	SBR
%0	21	51.42	51.42	51.42
	100	45.29	45.29	45.29
	200	50.88	50.88	50.88
	250	39.63	39.63	39.63
%5	21	27.97	32.85	38.91
	100	15.97	33.32	35.86
	200	15.25	31.7	48.99
	250	17.1	34.98	49.97
%10	21	35.78	33.66	27.73
	100	25.03	35.03	35.72
	200	37.03	34.71	45.44
	250	38.83	32.87	46.04
%15	21	33.3	36.89	31.89
	100	26.85	33.65	31.55
	200	36.26	31.33	45.23
	250	37.41	29.92	43.87
%20	21	29.18	30.81	37.82
	100	23.48	38.47	38.01
	200	31.19	31.48	45.7
	250	36.54	25.03	42.61

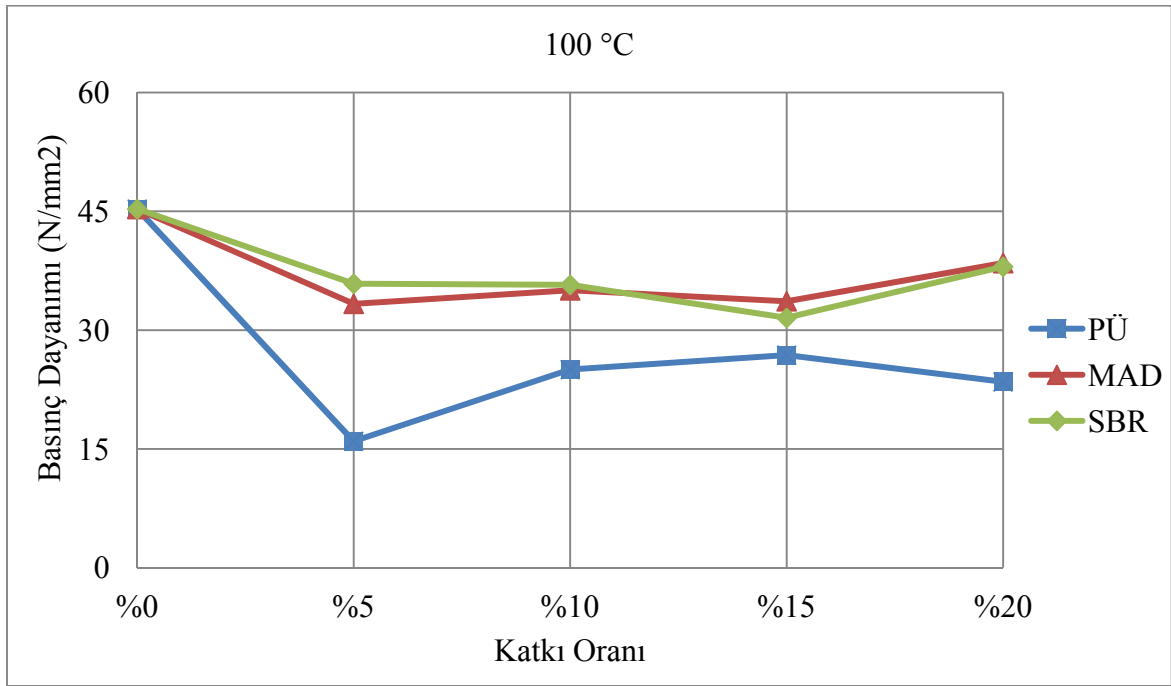
Yapılan deneyler sonucunda referans durumu (21 °C) için numunelerin basınç dayanımı sonuçlarındaki değişimler Şekil 3.22’de gösterilmiştir. Bu işlem, çalışmanın birinci kısmında aynı şekilde yapıldığı için burada sadece sonuçlar verilmiştir.



Şekil 3.28. Referans durumu için katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

1 saat boyunca 100 °C'ye maruz bırakılan numunelerin basınç deneyi sonuçlarındaki değişimler ve Şekil 3.29'da verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 100 °C'ye maruz kalan katkısız (kontrol) numunelerin basınç dayanımı 45.29 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş olup 21 °C'ye maruz kalan katkısız numunelere göre yaklaşık %11 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR polimer katkı malzemesinin %20 oranında kullanılması durumunda numunelerin basınç dayanımı 38.01 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına neredeyse eşit bir dayanım elde edilirken, 100 °C'deki kontrol numunesine göre %16 oranında azalma gözlemlenmiştir. SBR polimer katkı malzemesinin %15 oranında kullanılması durumunda numunelerin basınç dayanımı 31.55 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %1, 100 °C'deki kontrol numunesine göre yaklaşık %30 oranında azalma gözlemlenmiştir. MAD katkısının %5 oranında kullanılması durumunda basınç dayanımı 33.32 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına neredeyse eşit bir dayanım elde edilmesine rağmen 100 °C'deki kontrol numunesi ile kıyaslandığında %26 oranında düşüş olduğu görülmüştür. MAD katkısının %20 oranında kullanılması durumunda basınç dayanımı 38.48 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %6 oranında bir artış gözlemlenmesine rağmen, 100 °C'deki kontrol numunelerine göre %15 oranında bir azalma görülmüştür. PÜ katkı malzemesinin %10 oranında kullanılması halinde basınç dayanımı yaklaşık 25.03 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve aynı oranda 21 °C'ye

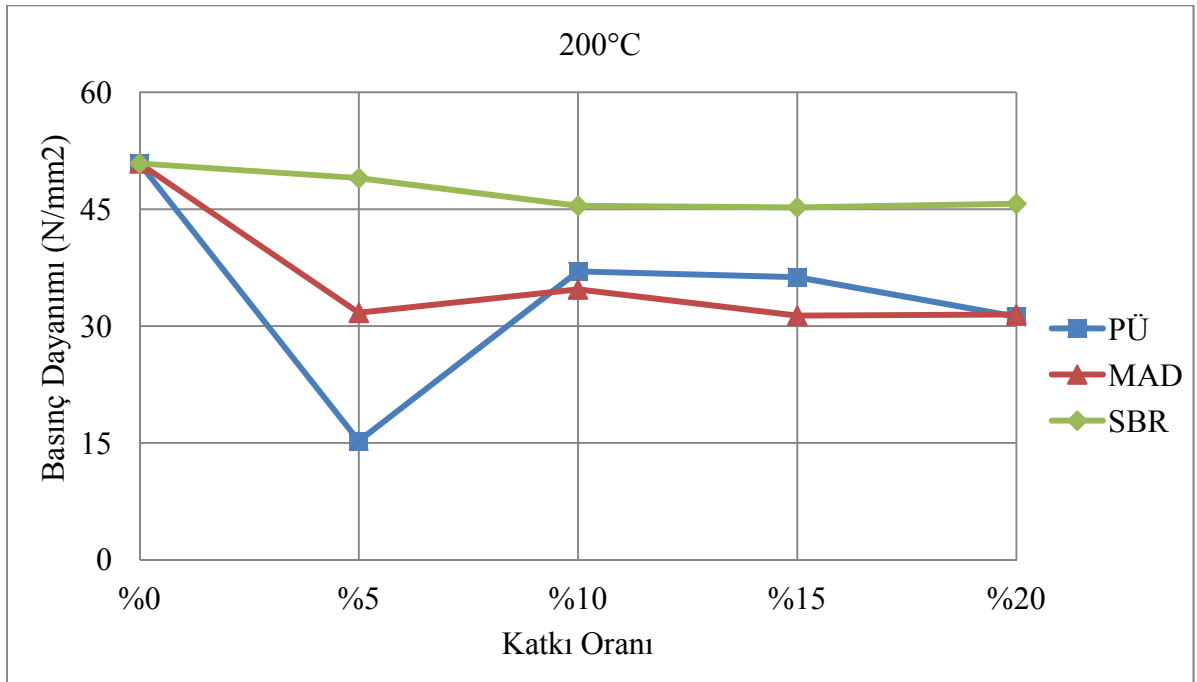
göre %30, 100 °C'deki kontrol numunesine göre ise %45 oranında çok büyük azalmalar gözlemlenmiştir. PÜ katkı maddesinin %5 oranında kullanılması halinde basınç dayanımı 15.97 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %43, 100 °C'deki kontrol numunesine göre ise yaklaşık %65 oranında çok büyük azalmalar görülmüştür. 100 °C'ye maruz kalan katkılı numunelerin basınç dayanımlarının bu sıcaklıktaki kontrol numunelerinin basınç dayanımından daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.29. 100 °C için katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

1 saat boyunca 200 °C'ye maruz bırakılan numunelerin basınç deneyi sonuçlarındaki değişimler Şekil 3.30'da verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 200 °C'ye maruz kalan katkısız (kontrol) numunelerin basınç dayanımı 50.88 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'ye maruz kalan katkısız numunelere göre yaklaşık %1 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR polimer katkı malzemesinin %5 oranında kullanılması durumunda numunelerin basınç dayanımı 48.99 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %36 oranında bir artış gözlemlenirken 200 °C'deki kontrol numunesine göre %4 oranında azalma görülmüştür. SBR polimer katkı malzemesinin %15 oranında kullanılması durumunda numunelerin basınç dayanımı, 45.23 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %30 oranında bir artış olmasına rağmen 200 °C'deki kontrol numunesine göre yaklaşık %11 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. MAD katkısının %10

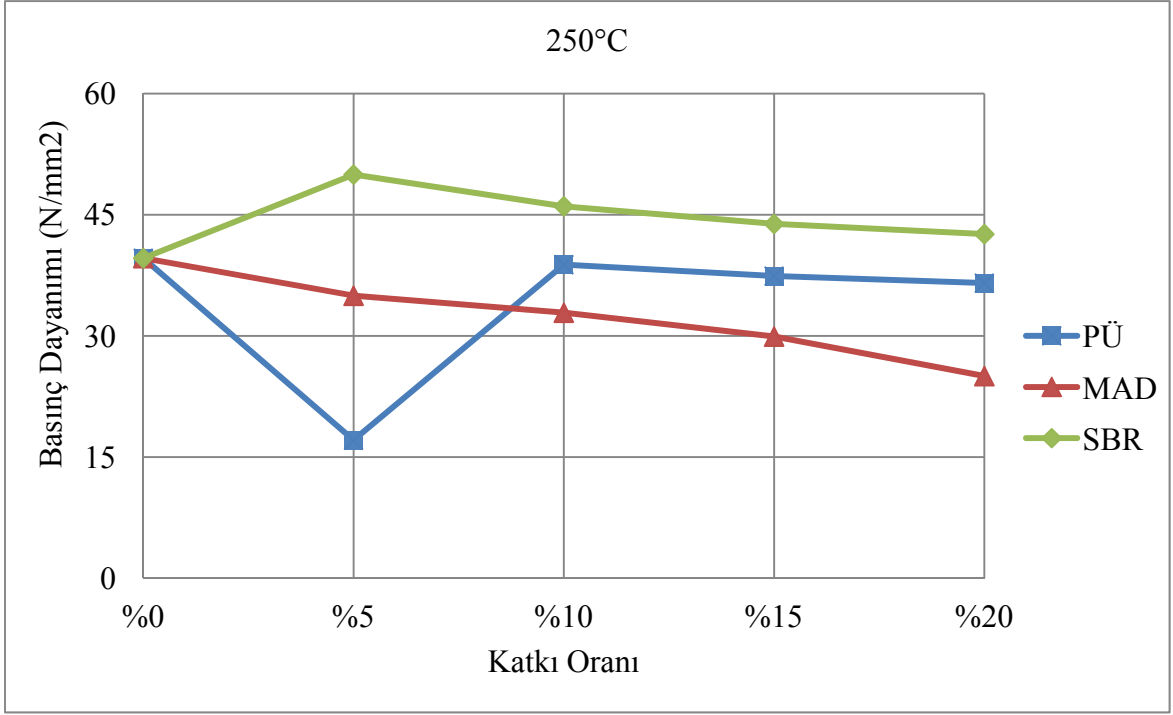
oranında kullanılması durumunda basınç dayanımı  $34.71 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş ve  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki aynı oranına göre %3 oranında bir artış görülmesine rağmen  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki kontrol numunesi ile kıyaslandığında %32 oranında düşüş olduğu gözlemlenmiştir. MAD katkısının %20 oranında kullanılması durumunda basınç dayanımı  $31.48 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş ve  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki aynı oranına göre %2 oranında bir artış gözlemlenmesine rağmen,  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki kontrol numunelerine göre %38 oranında bir azalma görülmüştür. PÜ katkı malzemesinin %10 oranında kullanılması halinde basınç dayanımı yaklaşık  $37.00 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş ve  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki aynı orana göre %3 oranında bir artış gözlemlenirken  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki kontrol numunesine göre %27 oranında azalma görülmüştür. PÜ katkı maddesinin %5 oranında kullanılması halinde basınç dayanımı  $15.25 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş ve aynı oranda  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye göre %45 oranında,  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki kontrol numunesine göre ise yaklaşık %70 oranında çok büyük azalmalar gözlemlenmiştir.  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye maruz kalan katkılı numunelerin basınç dayanımlarının bu sıcaklıktaki kontrol numunelerinin basınç dayanımından daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.30.  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  için katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

1 saat boyunca  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye maruz bırakılan numunelerin basınç deneyi sonuçlarındaki değişimler Şekil 3.31'de verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye maruz kalan katkısız (kontrol) numunelerin basınç dayanımı  $39.63 \text{ N/mm}^2$  olarak ölçülmüş

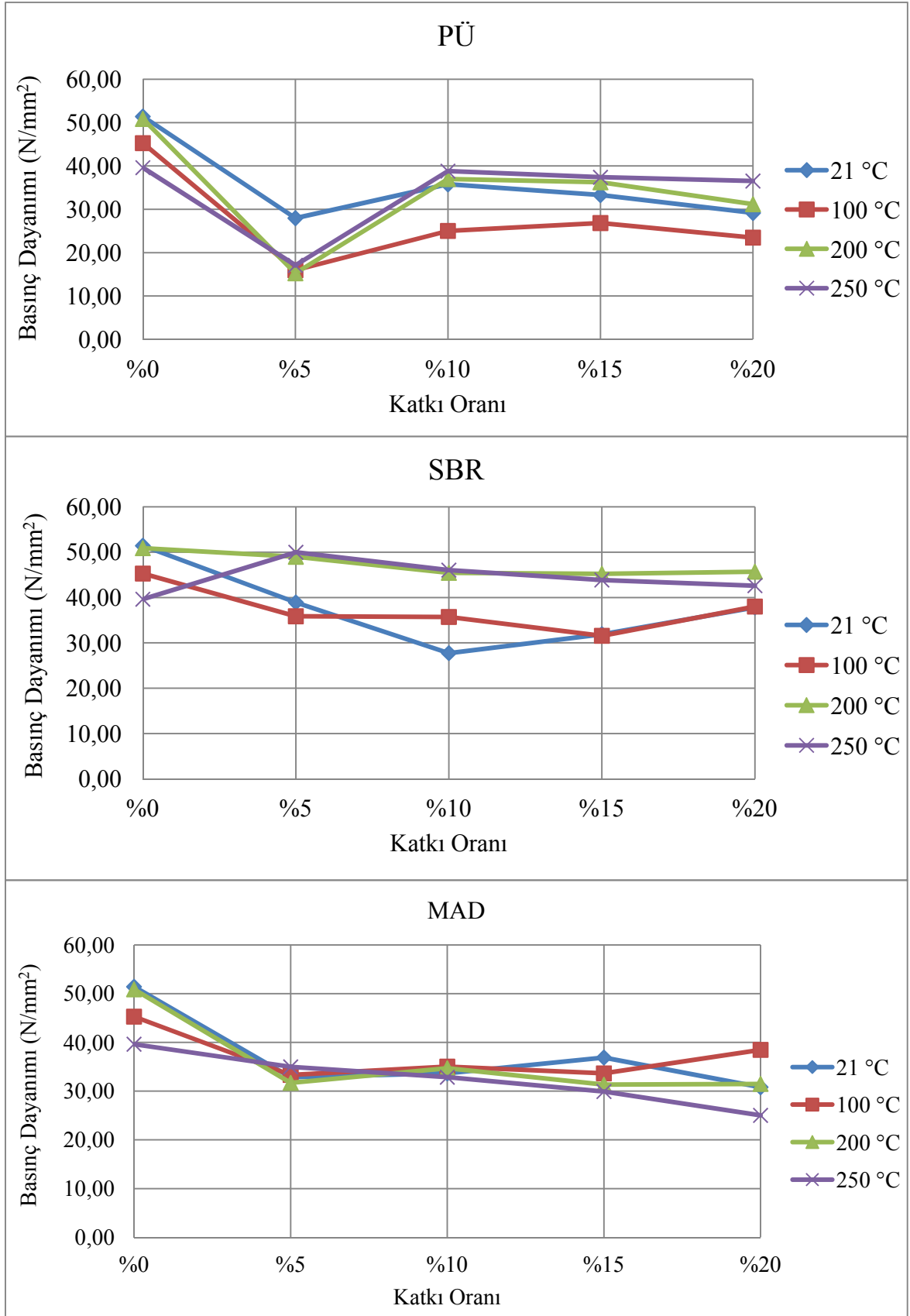
ve 21 °C'ye maruz kalan katkısız numunelere göre yaklaşık %22 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR polimer katkı malzemesinin %5 oranında kullanılması durumunda numunelerin basınç dayanımı 49.97 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %38 oranında, 250 °C'deki kontrol numunesine göre %21 oranında bir artış elde edilmiştir. SBR polimer katkı malzemesinin %20 oranında kullanılması durumunda numunelerin basınç dayanımı 42.61 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %11, 250 °C'deki kontrol numunesine göre yaklaşık %7 oranlarında artışlar görülmüştür. PÜ katkı malzemesinin %10 oranında kullanılması halinde basınç dayanımı yaklaşık 38.83 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %8 oranında bir artış görülürken 250 °C'deki kontrol numunesine göre ise %2 oranında azalma kaydedilmiştir. PÜ katkı maddesinin %5 oranında kullanılması halinde basınç dayanımı 17.1 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %39, 250 °C'deki kontrol numunesine göre ise yaklaşık %57 oranlarında çok büyük düşüşler gözlemlenmiştir. MAD katkısının %5 oranında kullanılması durumunda basınç dayanımı 34.98 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve 21 °C'deki aynı oranına göre %6 oranında bir artış gözlemlenirken, 250 °C'deki kontrol numunesi ile kıyaslandığında %12 oranında düşüş olduğu görülmüştür. MAD katkısının %20 oranında kullanılması durumunda basınç dayanımı 25.03 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş olup 21 °C'deki aynı oranına göre %19 oranında, 250 °C'deki kontrol numunelerine göre %37 oranında azalmalar gözlemlenmiştir. 250 °C'ye maruz kalan katkılı numunelerden SBR'nin tüm oranlarında kullanılan numunelerin basınç dayanımları, bu sıcaklıktaki kontrol numunelerinin basınç dayanımından daha yüksek çıkarken, PÜ %10, %15, %20 katkılı numunelerin 250 °C sıcaklıktaki kontrol numunelerine çok yakın dayanımlar gösterdiği görülmüştür. Sadece MAD katkılı tüm numunelerin ve %5 PÜ katkılı numunelerin basınç dayanımlarının bu sıcaklıktaki kontrol numunelerinin basınç dayanımından oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.31. 250 °C için katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

4 farklı sıcaklığa maruz bırakılan polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının sıcaklık ile basınç dayanımı arasındaki ilişki Şekil 3.32’de verilmiştir.





Şekil 3.32. Sıcaklık ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının basınç dayanımı arasındaki ilişki

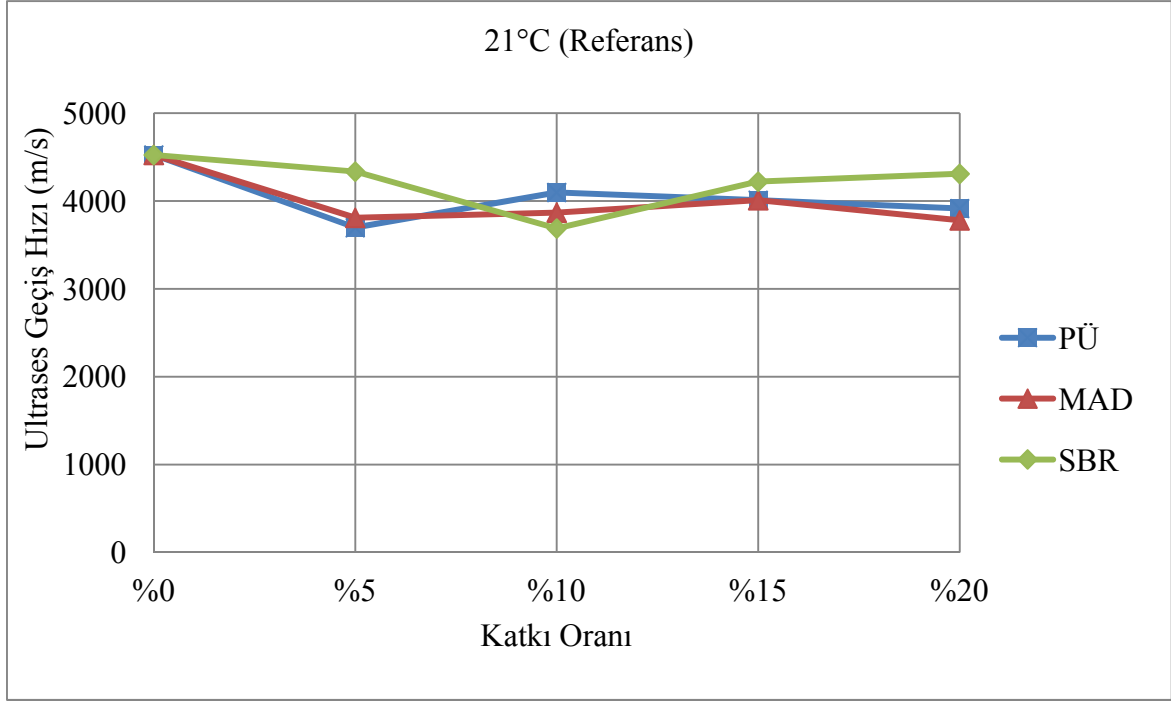
### 3.3.5. Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Polimerle İyileştirilmiş Harçların Ultrases Hızı Değişimi

Polimerle iyileştirilmiş çimento hamurlarında ultrases hızının değişimi, 4 farklı sıcaklığa maruz bırakılan (21 °C, 100 °C, 200 °C ve 250 °C) numuneler üzerinde yapılan deneyler ile gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.7’de verilmiştir.

Tablo 3.10. Polimerle iyileştirilmiş harçlarda yüksek sıcaklığın ultrases geçiş hızına etkisi

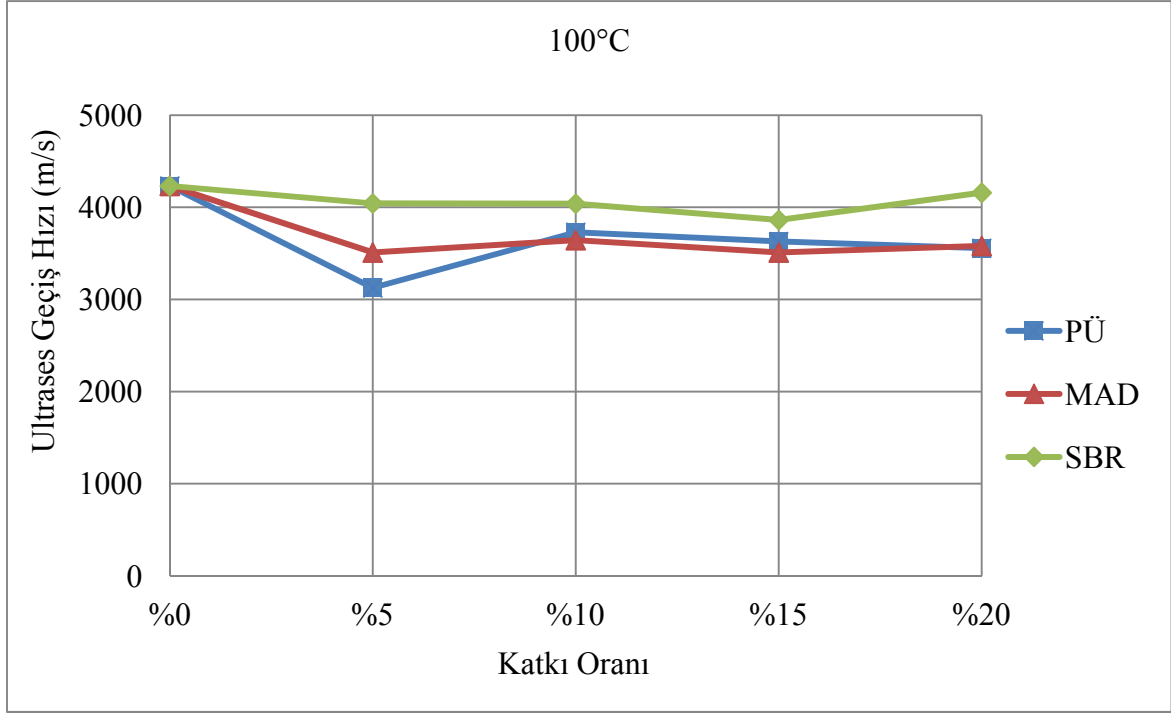
Oran	21 °C			100 °C			200 °C			250 °C		
	PÜ	MAD	SBR	PÜ	MAD	SBR	PÜ	MAD	SBR	PÜ	MAD	SBR
%0	4525	4525	4525	4232	4232	4232	3935	3935	3935	3412	3412	3412
%5	3698	3810	4336	3125	3510	4043	3094	3490	3884	3140	3545	3502
%10	4098	3869	3688	3729	3643	4040	3474	3574	3841	3293	3645	3637
%15	4010	4010	4221	3628	3512	3863	3466	3471	3880	3314	3436	3228
%20	3916	3781	4311	3556	4232	4159	3388	3935	3896	3324	3610	3598

Yapılan deneyler sonucunda referans durumu için (21 °C) numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri Şekil 3.33’te grafiksel ortama aktarılarak değişimi incelenmiştir. Bu deneyler ışığında katkısız (kontrol) numunelerinin ultrases hızları 4525 m/s olarak ölçülmüştür. Polimerle iyileştirilmiş numunelerin ultrases hızları kontrol numunesinin ultrases hızı değerinden daha düşük çıkmıştır. %5 ve %15 oranında SBR katkılı numunelerinin ultrases hızları birbirine ve kontrol numunelerine oldukça yakın çıkmıştır. Fakat PÜ ve MAD katkılı numunelerin tüm oranları kontrol numunesinden oldukça düşük çıkmıştır. Özellikle MAD katkısının % 20 oranında kullanılması halinde ultrases hızı 3556 m/s çıkararak kontrol numunesinden %21 daha düşük ölçülmüştür.



Şekil 3.33. Referans durumu için polimer katkı oranı ile ultrases hızı arasındaki ilişki

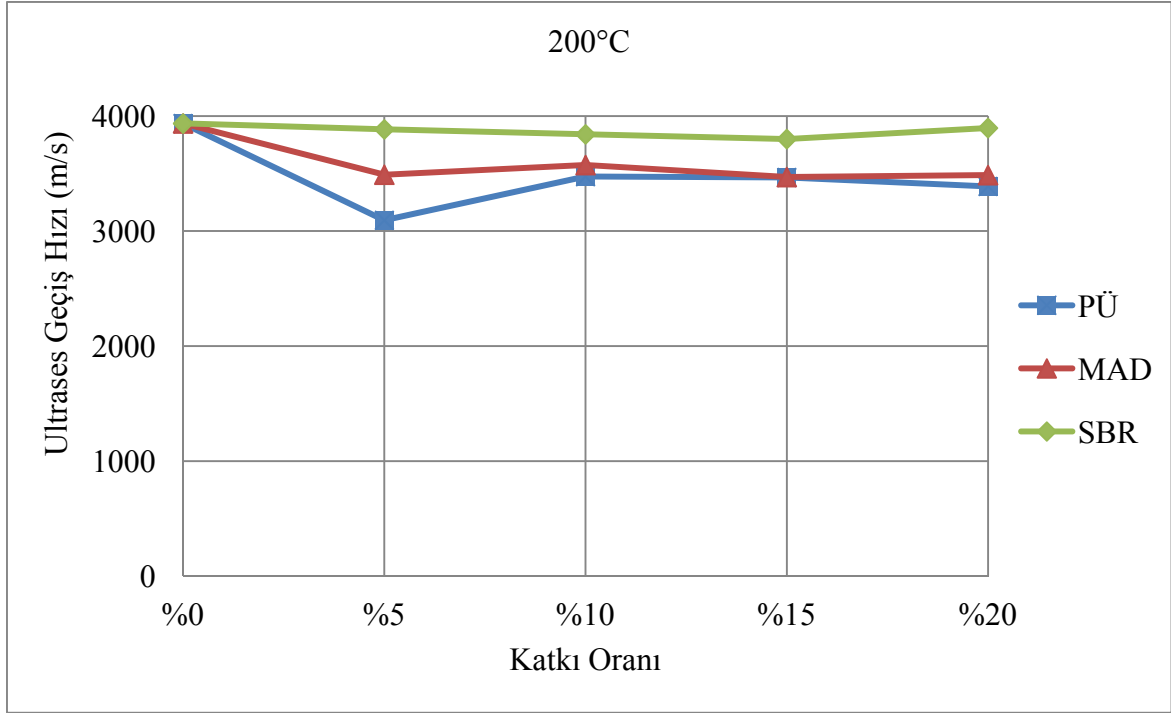
1 saat boyunca 100 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelere ultrases hızı deneyi yapılmış olup numunelerin ultrases hızı değerleri grafiksel ortama aktarılarak Şekil 3.34'te verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 100 °C'ye maruz kalan katkısız (kontrol) numunelerin ultrases geçiş hızları 4232 m/s olarak ölçülmüş ve 21 °C'ye maruz kalan katkısız numunelere göre yaklaşık %6 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR'nin %5 ve %15 oranı kontrol numunelerine oldukça yakın sonuç vermiştir. SBR'nin %5 oranında ultrases hızı değeri 4043 m/s olarak ölçülmüş aynı sıcaklıktaki kontrol numunesine göre %4, 21 °C'deki aynı oranına göre ise %7 daha düşük çıkmıştır. MAD katkı malzemesinin %10 ve %20 oranında kullanılması sonucu elde edilen ultrases geçiş hızları birbirlerine oldukça yakın çıkarak 3600 m/s civarında ölçülmüş ve bu sıcaklıktaki kontrol numunesi ile kıyaslandığında yaklaşık %15, 21 °C sıcaklıktaki aynı oranları ile kıyaslandığında yaklaşık %5 oranında düşüşler gözlemlenmiştir. PÜ katkı maddesinin %20 oranında kullanılması halinde ultrases hızı 3556 m/s olarak ölçülmüş olup bu değer 100 °C sıcaklık için en düşük değer olmuştur. PÜ katkı malzemesinin %20 oranında kullanılması sonucu elde edilen bu hız, PÜ'nün 21 °C'deki aynı oranına kıyasla %9, 100 °C'deki kontrol numunesine kıyasla yaklaşık %16 daha düşüktür.



Şekil 3.34. 100 °C için polimer katkı oranı ile ultrases hızı arasındaki ilişki

1 saat boyunca 200 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelere ultrases hızı deneyi yapılmış olup numunelerin ultrases hızı değerleri grafiksel ortama aktarılarak Şekil 3.35'te verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 200 °C'ye maruz kalan katkısız numunelerin ultrases geçiş hızı 3935 m/s olarak ölçülmüş ve 21 °C'ye maruz kalan katkısız numunelere göre yaklaşık %13 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR'nin %5 ve %15 oranında ultrases hızı değeri yaklaşık 3880 m/s olarak ölçülmüş aynı sıcaklıktaki kontrol numunesinden %1, 21 °C'deki aynı oranlarından yaklaşık %4 daha düşük çıkmıştır. MAD katkı malzemesinin %10 oranında kullanılması sonucu elde edilen ultrases geçiş hızı 3574 m/s olarak ölçülmüş ve bu sıcaklıktaki kontrol numunesi ile kıyaslandığında yaklaşık %9, 21 °C sıcaklıktaki aynı oranı ile kıyaslandığında yaklaşık %8 oranlarında azalmalar gözlemlenmiştir. MAD katkı malzemesinin %20 oranında kullanılması sonucu elde edilen ultrases geçiş hızı 3486 m/s olarak ölçülmüş ve bu sıcaklıktaki kontrol numunesi ile kıyaslandığında yaklaşık %11, 21 °C sıcaklıktaki aynı oranı ile kıyaslandığında yaklaşık %8 oranında düşüşler görülmüştür. PÜ katkı maddesinin %10 oranında kullanılması sonucu ultrases geçiş hızı 3474 m/s olarak ölçülmüş ve bu sıcaklıktaki kontrol numunesi ile kıyaslandığında yaklaşık %11, 21 °C sıcaklıktaki aynı oranı ile kıyaslandığında yaklaşık %15 oranında azalmalar gözlemlenmiştir. PÜ katkı maddesinin %20 oranında

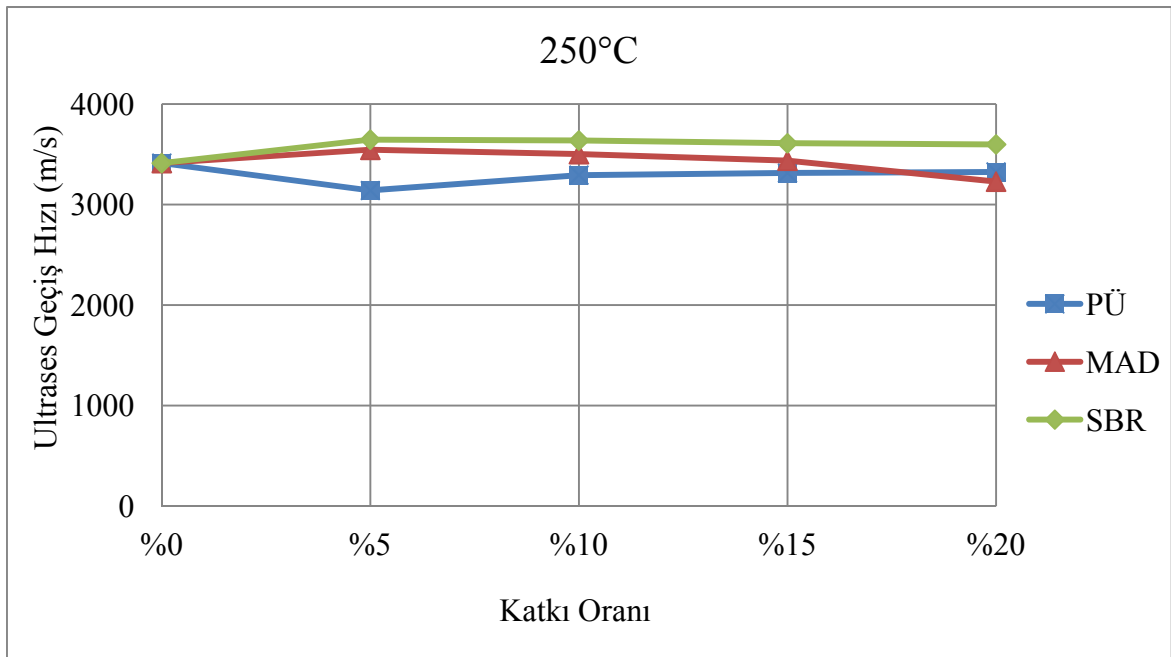
kullanılması sonucu ultrases hızı 3388 m/s olarak ölçülmüş olup bu değer 200 °C sıcaklık için en düşük değer olmuş ve PÜ'nün 21 °C'deki aynı oranına kıyasla %13, 200 °C'deki kontrol numunesine kıyasla yaklaşık %14 daha düşüktür.



Şekil 3.35. 200 °C için polimer katkı oranı ile ultrases hızı arasındaki ilişki

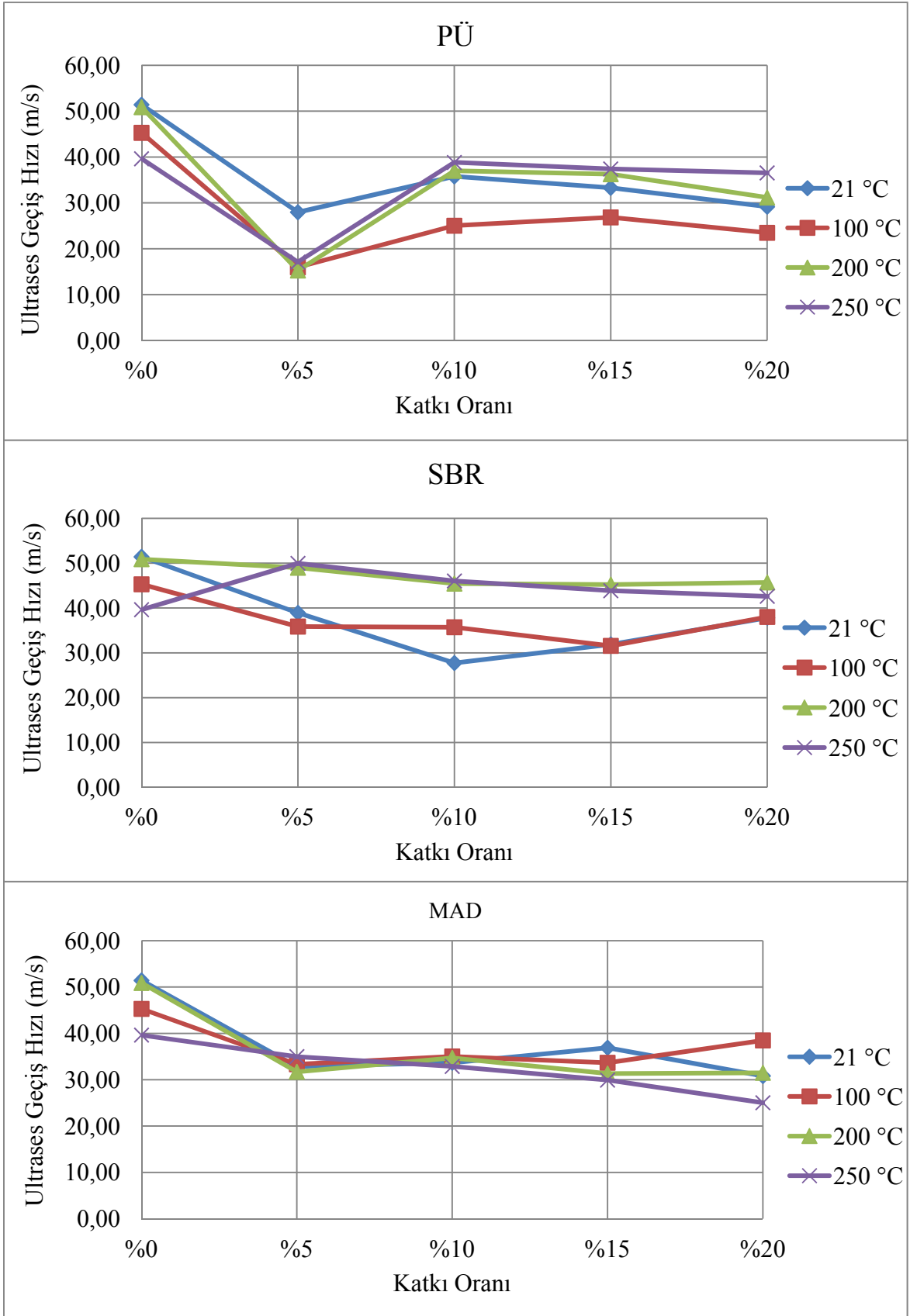
1 saat boyunca 250 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelere ultrases hızı deneyi yapılmış olup numunelerin ultrases hızı değerleri grafiksel ortama aktarılarak Şekil 3.36'da verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 250 °C'ye maruz kalan katkısız numunelerin ultrases geçiş hızı 3412 m/s olarak ölçülmüş ve 21 °C'ye maruz kalan katkısız numunelere göre yaklaşık %25 oranında bir düşüş görülmüştür. SBR'nin %5 ve %15 oranında kullanılması sonucu ultrases hızı değeri yaklaşık 3630 m/s olarak ölçülmüş aynı sıcaklıktaki kontrol numunesinden %6 daha yüksek çıkmasına rağmen SBR'nin 21 °C'deki aynı oranlarından yaklaşık %15 daha düşük çıkmıştır. PÜ katkı maddesinin %10 oranında kullanılması sonucu ultrases geçiş hızı 3293 m/s olarak ölçülmüş ve bu sıcaklıktaki kontrol numunesi ile kıyaslandığında %3, 21 °C sıcaklıktaki aynı oranı ile kıyaslandığında yaklaşık %20 oranında düşüş görülmüştür. PÜ katkı maddesinin %20 oranında kullanılması sonucu elde edilen ultrases geçiş hızı 3324 m/s olarak ölçülmüş ve bu sıcaklıktaki kontrol numunesi ile kıyaslandığında yaklaşık %3, 21 °C sıcaklıktaki aynı oranı ile kıyaslandığında yaklaşık %15 oranında azalmalar görülmüştür. MAD katkı

malzemesinin % 10 oranında kullanılması sonucu elde edilen ultrases geçiş hızı 3502 m/s olarak ölçülmüş ve bu sıcaklıktaki kontrol numunesi ile kıyaslandığında yaklaşık %2 oranında daha yüksek çıkmasına rağmen 21 °C sıcaklıktaki aynı oranı ile kıyaslandığında yaklaşık %9 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. MAD katkı malzemesinin %20 oranında kullanılması sonucu ultrases geçiş hızı 3228 m/s olarak ölçülmüş olup bu değer tüm sıcaklıklar için en düşük değer olmuştur. MAD katkı malzemesinin %20 oranında kullanılması sonucu elde edilen bu hız, MAD'nin 21 °C'deki aynı oranına kıyasla %15, 250 °C'deki kontrol numunesine kıyasla yaklaşık %5 daha düşüktür.



Şekil 3.36. 250 °C için polimer katkı oranı ile ultrases hızı arasındaki ilişki

4 farklı sıcaklığa maruz bırakılan polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının sıcaklık ile ultrases geçiş hızları arasındaki ilişki Şekil 3.37'de verilmiştir.



Şekil 3.37. Sıcaklık ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının ultrases geçiş hızı değerleri arasındaki ilişki

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Farklı kür koşulları altında, farklı tür ve oranda polimerle iyileştirilmiş harçların, fiziksel, mekanik ve yüksek sıcaklık direnci özelliklerinin incelendiği bu çalışmada; temel amaçlara bağlı olarak elde edilen sonuçlar alt başlıklar altında aşağıda özetlenmiştir:

##### i. Polimer katkısının çimento harçlarının fiziksel özelliklerine etkisi;

1. Tüm polimer katkı malzemelerinin tüm oranlarında birim kütleler belirli oranlarda düşüş göstermiştir. En büyük düşüş MAD katkısının %5 oranında kullanılması sonucu yaklaşık %15 olarak belirlenmiştir.

2. Polimerle iyileştirilme, geleneksel harçlara su emme ve su işleme derinliği özellikleri yönünden oldukça önemli katkılar sağlamıştır. Özellikle SBR ve MAD polimer katkı malzemelerinin sırasıyla %20 oranlarında kullanılması durumunda su işleme derinliği değerlerinde %75'e varan azalmalar elde edilirken hemen hemen geçirimsiz harç numuneleri elde edilmiştir. Benzer şekilde bu iki malzemenin özdeş oranlarda su emme değerlerinde %50-55 azalma gözlemlenmiştir.

3. Katkılı numunelerden alınan ince kesit örnekleri incelendiğinde, polimer katkılı numunelerin çimento hamurunun, kontrol numunesine göre daha açık renkte olduğu görülmüştür. MAD ve SBR katkılı numunelerde boşluksuz bir görünüm elde edilirken, PÜ katkılı numunelerde oldukça boşluklu bir yapı gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda SBR ve MAD katkılarının fiziksel özellikleri geliştirdiği, PÜ katkısının ise düşürdüğü ifade edilebilir.

##### ii. Kür koşullarındaki değişimin polimerle iyileştirilmiş harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi;

1. Yapılan çalışmalar sonucunda polimerle iyileştirilmiş çimento hamurunun kür koşulları altında mekanik özelliklerinin değişimi irdelendiğinde; en uygun kür koşulunun 1. kür koşulu (dışarıda günde iki kez sulama) olduğuna belirlenmiştir. Sonuç olarak, polimer malzemenin su ile teması azaldıkça polimerleşmenin arttığı ve aynı zamanda günde iki kez sulamanın çimento hamurunun hidrasyonu için gereken su ortamını da yeterli düzeyde sağlayabildiği anlaşılmaktadır.



2. Uygulanan deneyler sonucunda polimer oranı ile eğilme dayanımındaki değişim göz önünü alındığında kullanılan malzemeler içinde en uygun polimer malzemelerin MAD ve SBR olduğu belirlenmiş olup bu iki malzemenin sırasıyla %20 ve %15 katkı oranlarında eğilme dayanımını yaklaşık %25-30 oranında artırdığı tespit edilmiştir. PÜ polimer katkı malzemesinin farklı oranlarda kullanılması durumunda ise eğilme dayanımında %40-44 oranlarında düşüşler gözlemlenmiştir.

3. Yine bu numuneler için basınç dayanımları göz önüne alındığında, tüm polimer katkılı numunelerin basınç dayanımlarında düşüşler gözlemlenmiştir. Ancak %5 ve %15 SBR katkılı numuneler için bu düşüşler %20-25 olarak ölçülmüş ve kabul edilebilir düzeyde kalmıştır.

iii. Polimerle iyileştirilmiş harçların yüksek sıcaklık etkisi altında mekanik özelliklerindeki değişim:

1. Yüksek sıcaklık etkisi altında 1 saat boyunca 21 °C (referans), 100 °C, 200 °C ve 250 °C sıcaklıklara maruz kalan kontrol (katkısız) numunelerinin eğilme dayanımları sırasıyla 6.42, 6.35, 6.80 ve 3.84 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. 250 °C sıcaklığa maruz kalması sonucunda kontrol numunesinin (katkısız) eğilme dayanımı 3.84 N/mm<sup>2</sup> çıkarırken, %15 SBR katkısında 6.63 N/mm<sup>2</sup> ve %5 SBR katkısında 5.72 N/mm<sup>2</sup> çıkarak yaklaşık %33-42 oranında artışlar gözlemlenmiştir. Yine bu sıcaklıkta MAD katkısının %10 katkı oranında eğilme dayanımı katkısız numunelere göre %9 oranında bir artış gösterirken diğer oranlarda daha düşük çıkmıştır. Yine bu sıcaklıktaki PÜ katkılı numunelerin %10, %15, %20 katkı oranları için eğilme dayanımları %10-12 daha yüksek çıkarak bu özelliği olumlu yönde etkilemiştir.

2. Yüksek sıcaklık etkisi altında bir saat boyunca 21 °C, 100 °C, 200 °C ve 250 °C sıcaklıklara maruz kalan kontrol numunelerinin sehım değerleri sırası ile 1.31, 1.227, 1.311 ve 1.086 mm'ye düşerek yüksek sıcaklıktan olumsuz etkilenmiştir. 250 °C sıcaklığa maruz kalması sonucunda %15 ve %20 SBR ve %20 MAD katkılı numunelerin sehım değerleri sırası ile 1.326, 1.333 ve 1.228 mm olarak, bu sıcaklık sonundaki kontrol numunesi değerinden (1.086 mm) yaklaşık %12-19 oranında daha yüksek olarak gözlemlenmiştir. Yine 250 °C sıcaklığa maruz kalması sonucunda PÜ katkısının tüm oranlarında sehım değeri kontrol numunesinden %5-10 daha düşük ölçülmüştür.

3. Bir saat boyunca 21 °C, 100 °C, 200 °C ve 250 °C sıcaklıklara maruz kalan kontrol numunelerinin basınç dayanımları sırası ile 51.42, 45.29, 50.88 ve 39.63 N/mm<sup>2</sup>

çıkarak genel olarak referans durumundan daha düşük dayanımlar sergilemişlerdir. 250 °C sıcaklığa maruz kalması sonucunda SBR'nin %5, %10, %15 ve %20 katkılı numunelerinin basınç dayanımları sırasıyla 49.97, 46.04, 43.87 ve 42.61 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve hepsi bu sıcaklıktaki kontrol numunelerinin basınç dayanımından (39.63 N/mm<sup>2</sup>) daha yüksek çıktığı (%7-21) gözlemlenmiştir. 250 °C sıcaklığa maruz kalması sonucu ayrıca PÜ ve MAD katkılı numunelerin basınç dayanımı kontrol numunelerinden daha düşük çıkmıştır. Ancak PÜ katkı malzemesinin %10, %15 ve %20 oranları ile MAD katkı malzemesinin %5 ve %10 oranlarındaki basınç dayanımları bu sıcaklıktaki kontrol numunelerinden daha düşük çıkarak kabul edilebilir düzeyde (%2-17) kalmıştır.

4. Yüksek sıcaklığa maruz kalmış numuneler üzerinde yapılan ultrases testleri sonucunda 21 °C, 100 °C, 200 °C ve 250 °C sıcaklıklara maruz kalınan bir saat sonunda katkısız numunelerin ultrases hızı değerleri 4525, 4232, 3935 ve 3412 m/s ölçülerek artan sıcaklıklarda ultrases hızı değerlerinin düştüğü görülmüştür. 250 °C sıcaklığa maruz kalan %5 SBR katkılı numunenin ultrases hızı 3645 m/s olarak ölçülmüş ve kontrol değerinden (3412 m/s) yaklaşık %6 daha yüksek çıkmıştır. %10 MAD katkılı numunenin ultrases hızı değeri ise 3502 m/s olarak kontrol değerinden %3 daha fazla çıkarak polimer katkıların hamur yapısını olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir.

5. Genel olarak yüksek sıcaklığa maruz kalan numuneler için SBR katkısının tüm oranları, MAD katkısının ise %10 katkı oranı mekanik özellikler bakımından çimento hamuruna olumlu yönde katkı sağlamıştır. Bunun yanı sıra PÜ katkılı harçların ise hemen hemen tüm oranları yüksek sıcaklıktan olumsuz yönde etkilenmiştir.

6. Yüksek ısı deneyleri sırasında polimerlerin ergime sıcaklığına yaklaştıkça polimerle iyileştirilmiş harçlardan koku ve duman çıkışı gözlemlenmiştir. Bu durum özellikle 200 °C'den başlayarak 250 °C'de büyük artış göstermiştir.

## 5. KAYNAKÇA

ACI Commitee 201, 1992. Guide to Durable Concret, ACI 201.2R-92, 39.

ACI Committee 548, 1985. Polymers in Concrete, SP-89, American Concrete Institute.

Akman, M.S., 1990. Yapı Malzemeleri, 2. Baskı, İTÜ, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Aköz, F., Yüzer, N. ve Koral, S., 1995. Portland Çimentolu ve Silis Dumanı Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkileri, Teknik Dergi.

Alonso, C., Andrade, C. ve Khoury, G.A., 2003. Porosity and Microcracking, International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udinese, Italy.

Alonso, C., Andrade, C., Castellote, M. ve Khoury G.A., 2003. Microstructure-Solid Phases, International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udinese, Italy.

Altıntaş, A., 2013, Organik Kimya Ders Notları, Ankara Üniversitesi, Ankara.

Anderberg, Y., 2003. Thermal Properties & Analysis, International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine, Italy.

Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H., Yiğiter, H., Felekoğlu, B., Tosun Felekoğlu, K., Aydın, S., Topal, A., Yardımcı, M.Y., Öztürk, A.U., 2012. Beton, İzmir.

Baradan, B., Yazıcı, H. ve Aydın, S., 2012. Beton, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.

Barluenga, G., Hernandez-Olivares, F., 2004. SBR latex modified mortar rheology and mechanical behavior. Cement and Concrete Research, 34, 527-535.

Bazant, Z.P. ve Kaplan, M.F., 1996. Concrete at High Temperatures, Longman Group Limited, London.

Burnaz, O., Durmuş, A., Betonarme Yapı Elamanlarının Yangın Başarımları, Türkiye inşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongresi, Bildiriler Kitabı ve CD'si, Sayfa:100-102, Nisan, 2004.

- Camille A, Pauls D., 2007. Experimental study of epoxy repairing of cracks in concrete. *Constr Build Mater*, 21, 157–63.
- Chandra, S., Ohama, Y., 1994. *Polymers in Concrete*. Boca Raton, FL.: CRC Press.
- Chen, B. and Liu, J., 2004. Residual strength of hybrid-fiber-reinforced high-strength concrete after exposure to high temperatures, *Cement and Concrete Research*, 34, 1065-1069.
- Chen, B., Liu, J., 2007. Mechanical properties of polymer–modified concretes containing expanded polystyrene beads, *Construction and Building Materials*, 21.
- Cheng, F.P., Kodur, V.K.R., Wang, T.C., 2004. Stress-Strain Curves for High Strength Concrete at Elevated Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16, 84-90.
- Cioni, P., Croce, P. ve Salvatore, W., 2001. Assessing Fire Damage to R.C. Elements, *Fire Safety Journal*, 36, 181-199.
- Cresson, L., 1923. British Patent 191,474.
- Cülfik, M.S. ve Özturan, T., 2001. Effect of Elevated Temperatures on the Residual Mechanical Properties of High-Performance Mortar”, *Cement and Concrete Research*, 32, 809-816.
- Çavdar, A., 2008. Farklı Puzolanik Bileşime Ve Hamur Yapısına Sahip Çimento Harç Örneklerinin, Sülfat İçeren Ortam Ve/Veya Aşınma Etkilerine Karşı Dayanıklılığının İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çavdar, A., 2012. A Study on the Effects of High Temperature on Mechanical Properties of Fiber Reinforced Cementitious Composites, *Composites Part B: Engineering (ISI)*, 43, 5, 2452-2463.
- Çavdar, A., 2013. The Effects of High Temperature on Mechanical Properties of Cementitious Composites Reinforced with Polymeric Fibers, *Composites Part B: Engineering (ISI)*, 45, 1, 78-88.
- Çengel, Y., 2006. *Heat and Mass Transfer A Practical Approach*, McGraw-Hill, Singapore.
- Çökeliler, D., 2010, *Polimer Kimyası*, Başkent Üniversitesi, Ankara.

- Diab, A.M., Elyamany, H.E., Ali, A.H., 2013. Experimental Investigation of the effect of latex solid/ratio on latex modified co-matrix mechanical properties, Alexandria Engineering Journal, 52, 83-98, Egypt.
- Diamanti, M.V., Brenna, A., Bolzoni, F., Berra, M., Pastore, T., Ormellese, 2013. Effect of polymer modified cementitious coatings on water and chloride permeability in concrete, Construction and Building Materials, 49, 720-728.
- Durmuş, G., Beker, İ., 2010. Yüksek Sıcaklığın ve Farklı Soğutma Koşulunun Kalker Agregalı Betonlar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 25, No 4, 741-748, Türkiye.
- Durmuş, G., ve Subaşı S., 2007. Betonarme Kalıp Maliyetinin Bilgisayar Ortamında Tasarımı, UMES'07 Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu, 619-624, Kocaeli.
- Fowler, DW., 1999. Polymers in Concrete: A Vision For the 21st Century, Cement and Concrete Composites, V.21, pp. 449-452, 1999.
- Griffiths, L. H., 1951. Floor Surfacing for Food Processing Plants, Food Manufacture, V. 26, No. 9, pp. 369-372.
- Guise S.E., Short N.R. ve Purkiss J.A., 1996. Colour Analysis for Assessment of Fire Damaged Concrete, Concrete Repair, Rehabilitation and Protection, Proceeding of The International Conference Held at The University of Dundee, Scotland/UK.
- Heidari-Rarani, M., Aliha, M.R.M., Shokrieh, M.M., Ayatollahi, M.R., 2014. Mechanical durability of an optimized polymer concrete under various thermal cyclic loadings- An experimental study, Construction and Building Materials, 64, 308–315.
- Hollaway L., 1993. Polymer and Polymer Composites for Civil and Structural Engineering, Blackie Academic and Professional, Glasgow.
- Hossain, K.M.A., 2006. Macro and Microstructural Investigations on Strength And Durability of Purmice Concrete at High Temperature, Journal of Materials in civil Engineering ASCE, 18(4) 527-536.
- Hüsem, M., 2006. The effects of high temperature on compressive and flexural strengths of ordinary and high-performance concrete, Fire Safety Journal, 41, 155-163.
- Hyun, S.H., Yeon, J.H., 2012. Strength development characteristics of UP-MMA based polymer concrete with different curing temperature, Construction and Building Materials, 37, 387-397.

- Jingang, W., Shuxiang, Z., Haiqin, Y., Xiangzheng K., Xikui, W., Zhongmao, G, 2005. Study of cement mortars modified by emulsifier-free latexes, *Cement and Concrete Research*, 27, 920-925.
- John, D.A., Poole, A.W. ve Sims, I., 1998. *Concrete Petrography*, Elsevier Butterworth Heinemann, London.
- Kabay, N., 2009. Hafif Agregalı Betonun Boşluk Yapısının Mekanik ve Fiziksel Özelliklere Etkisi, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kearsley, E.P. ve Wainwright, P.J., 2001. Porosity and Permeability of Foamed Concrete, *Cement and Concrete Research*, 31, 805-812.
- Khamput, P., Suweero, K., 2011. Properties of mortar mixing with medium ammonia concentrated latex, *Energy Procedia*, 9, 559-567.
- Kızılkanaat, A. B., Yüzer, N., 2010. Mineral Katkıların Betonun Buhar Difüzyon Direnç Faktörüne Etkisi, 5. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi, TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, 120-127, İstanbul.
- Kızılkanaat, A.B., 2010. Yüksek Sıcaklık Etkisinde Kalan Betonun Basınç Dayanımı Renk İlişkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kim, G.Y., Kim, Y.S., Lee, T.G., 2009. Mechanical Properties of High-Strength Concrete Subjected to Elevated Temperature by Stressed Test, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 19, 128-133.
- Kirkpatrick, S. M., 1925. British Patent 242,345.
- Kodur, V.K.R., Sultan, M.A., 2003. Effect of Temperature on Thermal Properties of High-Strength Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15, 101-107.
- Kong, X.M., Wu, C.C., Zhang, Y., R., Li, J.L., 2013. Polymer-modified mortar with a gradient polymer distribution: Preparation, permeability and mechanical behavior, *Construction and Building Materials*, 38, 195-203.
- Kristensen, L. and Hansen, T.C., 1994. Cracks in concrete core due to fire on thermal heating shock, *ACI Materials Journal*, 91, 5, 453-459.
- Küçük, B., 2000. Betonun Dayanım Ve Durabilitesini Sağlayan Parametreler, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6, 1, 79-85, Denizli.

- Lee, j., Xi, Y. ve William, K., 2008. Properties of Concrete after High-Temperature Heating and Cooling, *ACI Materials Journal*, 105, 334-341.
- Lefebure, V., 1924. British Patent, 217,279.
- Li, M., Qian, C. ve Sun, W., 2004. Mechanical Properties of High-Strength Concrete After Fire, *Cement and Concrete Research*, 34, 1001-1005.
- Lin, D.F., Luo, H.L. ve Lee, J.R., 2007. Effects of Temperatures on Mortar Quantified by Surface Color Changes, *Journal of ASTM International*, 4(4).
- Mehta, P.K. and Monterio, P.J.M., 2006. *Concrete, Microstructure, Properties and materials*, McGraw Hill, 3rd Edition.
- Miller, M., 2005. *Polymers in cementitious materials*. Shawbury, UK: Rapra Technology.
- Mindness, S. And Young, J.F., 1981. *Concrete*, Prentice Hall, New Jersey.
- Morin, V., Moevus, M., Dubois-Brugger, I., Gartner, E., 2011. Effect of Polymer Modification of the Paste-Aggregate Interface on the Mechanical Properties of Concretes, *Cement and Concrete Research*, V.41, pp. 459-466.
- Muhammad, B., Ismail M., Yussuf, A.A., Muhammad, A.R.B., 2011. Elastomeric influence of natural rubber latex on cement mortar at high temperatures using thermal degradation analysis, *Construction and Building Materials* 25, 2223–2227.
- Muhammad, B., Ismail, M., 2012. Performance of natural rubber latex modified concrete in acidic and sulfated environments, *Construction and Building Materials*, 31, 129-134.
- Neville, A.M., 1981. *Properties of Concrete*, Longman Scientific and Technical, 3rd Edition.
- Neville, A.M., 2000. *Properties of Concrete*, Fourth Edition, Longman Scientific and Technical, New York/USA.
- Ohama, Y., 1995, *New Developments and Environmental Issues in Concrete-Polymers*.
- Ohama, Y., 1995. *Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars*, Park Ridge, NJ.: Noyes Publications.

- Ohama, Y., 1995. Polymer-based materials for repair and improved durability: Japanese experience *Construction and Building Materials*, 10, 1, 77-82.
- Ohama, Y., 1997. Recent Progress in Concrete-Polymer Composites, *Advanced Cement Based Materials*, 5, 31-40, New York.
- Ohama, Y., 1998. Polymer-based admixtures. *Cem Concr Compos*; 20: 189–212.
- Ohama, Y., ve Shiroishida, K., 1983. Freeze-Thaw Durability of Polymer-Modified Mortars, *Nihon-Kenchiku-Gakkai Tohoku-shibu Kenkyo-Hoko-kushu*, 41, 165-168.
- Onaran, K., 1999. *Malzeme Bilimi*, Yedinci Basım, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul.
- Oussama, E., Elhem, G., Valérie, M., Mongi, B.O., 2012. Mechanical and physical properties of epoxy polymer concrete after exposure to temperatures up to 250 °C, *Construction and Building Materials*, 27, 415-424.
- Oussama, E., Elhem, G., Valerie, M., Mongi, B.O., Mechanical and physical properties of epoxy polymer concrete after exposure to temperatures up to 250 °C, *Construction and Building Materials*, 27, 415-424.
- Özturan, T., 2013. Özel Betonlar, *Hazır Beton*, 73-83, Türkiye.
- Öztürk, M., 2013, Polimer İle Modifiye Edilmiş Hafif Betonun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon*.
- Paksoy, A.S., 1999. *Boya El Kitabı*, TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, İstanbul.
- Papayianni, I. ve Valliasis, T.H., 2005. Heat Deformations of Fly Ash Concrete, *Cement and Concrete Composites*, 27, 249-254, 7-11.
- Ramli, M., Tabassi, A.A., Hoe, K.W., 2013. Porosity, pore structure and water absorption of polymer-modified mortars: An experimental study under different curing conditions, *Composites: Part B*, 55, 221-233.
- Reis JML, Ferreira AJM., 2003. The influence of notch depth on the fracture mechanics properties of polymer concrete. *Int J Fract*, 124, 33–42.
- Reis JML., 2005. Mechanical characterization of fiber reinforced polymer concrete. *Mater Res*, 8(3), 357–60.



- Ribeiro MCS, 2002. Tavares CML, Ferreira AJM. Chemical resistance of epoxy and polyester polymer concrete to acids and salts. *J Polym Eng*, 22(1), 27–43.
- Ribeiro MCS, Reis JML, Ferreira AJM, Marques AT., 2003. Thermal expansion of epoxy and polyester polymer mortars—plain mortars and fibre-reinforced mortars. *Polym Test*, 22(8), 849–57.
- Saçak, M., 2002. *Polimer Kimyası Kitabı*, Ankara.
- Savva, A., Manita, P. ve Sideris, K. K., 2005. Influence of Elevated Temperatures on the Mechanical Properties of Blended Cement Concretes Prepared with Limestone and Siliceous Aggregates, *Cement and Concrete Composites*, 27, 239-248.
- Shackelford J.F., 1990. *Introduction to Materials Science for Engineering*, 2.Edition, New York; Macmilian.
- Shackelford JF., 2005. *Introduction to Materials Science for Engineers*, Sixth Edition, Pearson Education Inc.
- Shaker, F.A., El- Dieb, A.S., Reda, M.M., 1997. Durability of styrene-butadiene latex modified concrete, *Cement and Concrete Research*, 27, 5, 711-720.
- Shin, K.Y., Kim, S.B., Kim, J.H., Chung, M., Jung, P.S., 2002. Thermo-Physical Properties and Transient Heat Transfer of Concrete at Elevated Temperatures, *Nuclear Engineering and Design*, 212, 233-241.
- Shokrieh MM, Heidari-Rarani M, Shakouri M, Kashizadeh E., 2011.Effects of thermal cycles on mechanical properties of an optimized polymer concrete. *Constr Build Mater*, 25(8), 3540–9.
- Sommerville G., 2000. *A Holistic Approach To Structural Durability Design*, Concrete Technologyfor a Sustainable Development in the 21st Century, Eve FN Spon, 41-56, ISBN 0-419-25060-3.
- Stevens, W. H., 1948. Latex Processes and Potentialities, *Rubber Developments*, 1, 3, 10-13.
- Teker, S. Z., 2012. Farklı tür ve Oranlarda Polimer Lif Katkısıyla Üretilen Harçların, Yüksek Sıcaklık Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.

Topçu, İ.B. ve Demir, A., Kiremit kırıklı betonlarda yüksek sıcaklık etkisi. ACE 2006, 7th International Congress in Civil Engineering, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey, Book of Abstracts, p. 456., 2006.

Topçu, İ.B., Demir A., 2007. Yüksek Sıcaklık Uygulama Süresinin Harç Özelliklerine Etkisi, 7. Ulusal Beton Kongresi, s. 455-463, İstanbul.

TS EN 12086, 2002. Isı Yalıtım Malzemeleri-Binalar İçin-Su Buharı Geçirgenlik Özelliklerinin Tayini.

TS EN 12390-7., 2002. Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, TSE, Ankara.

TS EN 12390-8., 2002. Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini, TSE, Ankara.

TS EN 13501-3, 2009. Yapı mamulleri ve yapı elemanları-Yangın sınıflandırması-Bölüm 3: Bina hizmet tesisatlarında kullanılan mamuller ve elemanlar üzerinde yapılan yangına dayanıklılık deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma: Yangına dayanıklı hava kanalları ve yangın damperleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1992-1-2, 2006. Beton Yapıların Tasarımı, Bölüm 1-2: Genel Kurallar – Yapısal Yangın Tasarımı (Eurocode 2).

URL-1, [www.okyanuskoleji.k12.tr/sayfa\\_icerik\\_dokumanlar/etkinlik-dersleri/pdf/polimer-2](http://www.okyanuskoleji.k12.tr/sayfa_icerik_dokumanlar/etkinlik-dersleri/pdf/polimer-2), İstanbul.

URL-2, <http://www.notdenizi.com/polimer-cesitleri-28534>, İstanbul.

URL-3, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Poli%C3%BCretan>, 2014.

URL-4, <http://epoksi.nedir.com/#ixzz32RESJNRr>, 2014.

Vejmelkova, E., Padevet, P. ve Cerny, R., 2008.Effect of Cracks on Hygric and Thermal Characteristics of Concrete, Ernst and Sohn Verlagfür Architektur und Technische Wissenschaften, 30, 438-444.

Werk and Wirken, 1997. Magazine of Wacker-Chemie GmbH, Munich, Germany.

Xiao, J. and Falkner, H., 2006. On Residual Strength of High-Performance Concrete with and without Polypropylene Fibres at Elevated Temperatures, Fire Safety Journal, 41, 115-121.

- Yalçınkaya, Ç., ve Baradan, B., 2012. Influence Of Strenen Acrylate and Styrene Butadiene Rubber on Fresh And Mechanical Properties of Cement Paste and Mortars, ASPIC, Istanbul.
- Yavuz, Y., Tanyıldız, H., Şahin, M., 2013. Yüksek Sıcaklığa Maruz Kalmış Betonun Polimer Emdirilerek Basınç Dayanımının Ve Ultrases Hızının İncelenmesi, Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, 126-134, İstanbul.
- Yüzer, N., Akbaş, B. ve Kızıllkanat, A., 2011. Predicting the High Temperature Effect on Mortar Compressive Strength by Neural Network, Computers and Concrete, 5, 491-510.
- Yüzer, N., Akbaş, B. ve Kızıllkanat, A.B., 2007. Predicting the Compressive Strength of Concrete Exposed to High Temperatures with a Neural Network Model, TÇMB, 3rd International Symposium Sustainability in Cement and Concrete, İstanbul.
- Yüzer, N., Aköz, F. ve Öztürk, L.D., 2001. Yangına Maruz Yapılarda Betonun Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisi, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 4, 51-60.
- Yüzer, N., Aköz, F., Kızıllkanat, A. B., 2004. Yüksek Dayanımlı Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisi, Türkiye İnşaat Mühendisliği 17. Teknik Kongre, 495-497, İstanbul.
- Yüzer, N., Aköz, F., Kızıllkanat, A.B. ve Mahsanlar, N., 2005. Yüksek Sıcaklık Etkisinde Kalan Betonda Hasar Oranının Renk Ölçümü ile Araştırılması, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 6. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul.
- Yüzer, N., Aköz, F., Öztürk, L.D., Akbaş, B., Çakır, Ö., Kızıllkanat, A.B. ve Kabay, N., 2007. Yangına Maruz Kalan Yapılarda Beton Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisinin Araştırılması, TÜBİTAK Araştırma Projesi, Proje No:103I040.
- Yüzer, N., Koyun, A., Kızıllkanat, A., 2010. Yüksek Sıcaklık Etkisine Maruz Kalan Betonun Termal Özelliklerinin ve Renk Değişiminin Araştırılması, TÜBİTAK Projesi Raporu, (109M008).
- Zoldners, N.G. and Wilson, H.S., 1973. Effect of sustained and cyclic temperature exposures on lightweight concrete, Behavior of concrete under temperature extremes, ACI Publication, 39, 9, 149-178.

## ÖZGEÇMİŞ

Yusuf KAYA, 1989 yılında Ankara Yenimahalle’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gümüşhane Aysin Rafet Ataç İlköğretim Okulu’nda tamamlayan Kaya, 2007 yılında Gümüşhane (YDA) Lisesi’nden mezun oldu. 2008 yılında girdiği ÖSS sınavı sonucu Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2012 yılında Bölüm ikincisi olarak bu Bölümden mezun oldu. Aynı yıl Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans programına başladı. 2013 yılında Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başlayan Kaya halen bu görevini devam ettirmektedir. İngilizce bilen Kaya, bekardır.