

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**POLİMERLE İYİLEŞTİRİLMİŞ HARÇLARIN EN UYGUN KÜR
KOŞULLARININ BELİRLENMESİ VE DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ ALTINDA
MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sedat SEVİN

**HAZİRAN 2014
GÜMÜŞHANE**

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**POLİMERLE İYİLEŞTİRİLMİŞ HARÇLARIN EN UYGUN KÜR
KOŞULLARININ BELİRLENMESİ VE DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ ALTINDA
MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sedat SEVİN

**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

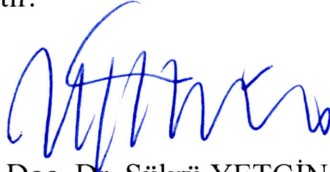


KABUL ve ONAY

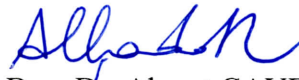


Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR danışmanlığında Sedat SEVİN tarafından hazırlanan **“POLİMERLE İYİLEŞTİRİLMİŞ HARÇLARIN EN UYGUN KÜR KOŞULLARININ BELİRLENMESİ VE DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ ALTINDA MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

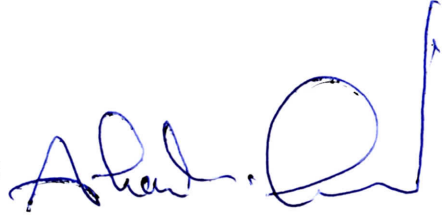
Başkan

: 
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 EN UYGUN KÜR
KOŞULLARININ BELİRLENMESİ VE DONMA-ÇÖZÜLME ETKİSİ ALTINDA
MEKANİK DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Sedat SEVİN

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR

2014, 98 sayfa

Son yıllarda polimer teknolojisinde meydana gelen gelişmeler ile polimerlerin çimento harçlarında katkı malzemesi olarak kullanımı yaygın hale gelmiştir. 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. Ancak polimer malzemenin polimerleşebilmesi için kuru ortama, betonun ise hidratasyonu için suya ihtiyaç duyması bu kompozitler için önemli bir sorunu teşkil etmektedir.

Bu bağlamda; çalışma temel olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısmında farklı koşullarda kür edilen polimerle iyileştirilmiş harçların mekanik ve fiziksel özellikleri incelenerek en uygun kür ortamı belirlenmiştir. Bunun için 3 farklı polimer (SBR (Stiren

Butadien Rubber), PSBR (Polycarboxylate-Stiren Butadien Rubber), SAC (Stiren Acrylik Co-Polymer)) çimento harçlarına 5 farklı oranda (%0, %5, %10, %15, %20) katılarak numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan numuneler, 3 farklı kür (1. Kür: 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 donma-çözölmeye karşı dirençleri gözlemlenmiştir. Buna yönelik olarak donma-çözölme deneyleri, mevcut 3 farklı polimer malzeme, çimento hamurlarına 5 farklı oranda (%0, %5, %10, %15, %20) katılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu numuneler 28 gün boyunca birinci kısımda belirlenen kür koşulu ile kür edildikten sonra 3 farklı donma-çözölme döngüsüne (0, 100, 200) tabi tutulmuştur. Donma-çözölme döngülerinin sonunda numunelerin mekanik özelliklerinin değişimi gözlemlenmiştir. Ayrıca polimerle iyileştirilmiş harçların fiziksel özelliklerinin değişimini gözlemlemek için petrografik özellikleri, su emme, su işleme derinliği ve birim kütleleri de incelenmiştir

Çalışmadan elde edilen en önemli bulgular özetlenecek olursa; öncelikle fiziksel özellikler dikkate alındığında, yapılan su emme ve su işleme derinliği deneylerinde, polimer katkıların numunelerin su emme oranını önemli oranda düşürdüğü ve su işleme derinliğini de yüksek oranda azalttığı tespit edilmiştir. Kür özelliklerinin incelendiği birinci aşamada elde edilen sonuçlar doğrultusunda polimerle iyileştirilmiş harçların taze halde su ile teması arttıkça mekanik özelliklerinin düştüğü belirlenmiştir. Bu sonuç doğrultusunda en uygun kür koşulu su ile temasın en az olduğu *1. Kür Koşulu* olarak belirlenmiştir. Genel olarak, kullanılan polimer türlerinden SBR ve PSBR, harçların özellikleri üzerinde olumlu bir etki gösterirken, SAC ise tüm şartlar altında olumsuz sonuçlar göstermiştir. Polimerle iyileştirmenin harçların basınç dayanımını bir miktar düşürdüğü, ancak özellikle eğilme ve donma-çözölme direncine olumlu katkılar sağladığı görülmüştür. 200 donma-çözölme döngüsü sonunda %15 SBR ve %20 PSBR katkılı numunelerin eğilme dayanımları katkısız numunelere göre %45-50 oranında daha yüksek çıkarak oldukça olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Donma-Çözölme Direnci, Mekanik Özellikler, Polimerler, Polimerle İyileştirilmiş Harçlar.

ABSTRACT
MS THESIS

**DETERMINATION OF OPTIMUM CURE CONDITION OF THE POLYMER
MODIFIED MORTARS AND INVESTIGATION OF MECHANICAL
PROPERTIES UNDER FREEZE-THAW EFFECTS**

Sedat SEVİN

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÇAVDAR

2014, 98 pages

Recent years, polymers have widely used as additive materials in cement mortars thanks to developments in polymer technology. Polymer additives increase the physical and mechanical properties of the concrete. In addition, polymer additives contribute concrete for durability by increasing resistance of concrete against such as freeze-thaw cycles, acid attack and sulphate attacks. However, due to the 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, optimum cure conditions of polymer modified cement mortars are determined by increasing mechanical and physical properties of specimens cured under different

condition. For this, 3 different polymer additives (SBR (Stiren Butadien Rubber), PSBR (Polycarboxylate-Stiren Butadien Rubber), SAC (Stiren Acrylik Co-Polymer)) 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 freeze-thaw resistance is investigated. The mortars are prepared with 3 different polymers (SBR, PSBR and SAC) in 5 different ratios (0%, 5%, 10%, 15% and 20%) for freeze-thaw tests. Then, these mortars are cure with ascertained cure condition during 28 days and the mortars are exposed 3 different freeze-thaw cycles (0, 100 and 200). The end of freeze-thaw cycles, mechanical properties of mortars is 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 were reducing 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*. As a result, SBR and PSBR show positive effects on properties of mortars, on the other hand, SAC shows negative effect for all conditions. Polymer modification decreases a little the compressive strength of the mortar, however increases the flexural strength and freeze-thaw resistance of the mortars importantly. After 200 freeze-thaw cycles, mortars with 15% SBR and mortars with 20% PSBR show about 45-50% increase in flexural strength according to control samples.

Keywords: Freeze-Thaw Resistance, Mechanical Properties, Polymers, Polymer Modified Mortars,

TEŞEKKÜR

“Polimerle İyileştirilmiş Harçların En Uygun Kür Koşullarının Belirlenmesi ve Donma-Çözülme Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi” adlı bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Uygulanan yöntemler ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda bilim dünyasına katkılar sağlayacağına inandığım bu çalışmanın, 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.

Çalışmamı değerlendirerek olumlu yönde katkılar sağlayan jürimdeki Hocalarım Doç. Dr. Şükrü YETGİN ve Yrd. Doç. Dr. Alaaddin VURAL’a teşekkürlerimi bildiririm.

Deneysel çalışmalarım boyunca desteklerini gördüğüm, Yunus Emre GENÇ, Nuh BAYLAN, Furkan KESKİNOĞLU, Mehmet SARIŞAHİN, İskender NAIPOĞLU ve ayrıca malzeme temini konusunda bize yardımcı olan SİKA ve BASF kuruluşlarına ve değerli iş arkadaşım Arş. Gör. Yusuf KAYA’ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm yaşamım süresince, bana güvenen ve maddi- manevi desteğini eksik etmeyerek her zaman yanımda olan anneme ve tüm aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Sedat SEVİN
Gümüşhane, 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	III
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
1.3. Polimerler	4
1.3.1. Polimerlerin Sınıflandırılması	4
1.3.1.1. Elde Edilişlerine Yöntemine Göre.....	4
1.3.1.2. Kimyasal Bileşimlerine Göre Polimerler	5
1.3.1.3. Monomer Çeşitlerine Göre Polimerler	5
1.3.1.4. Makromolekül Zincirinin Şekline Göre Polimerler.....	6
1.3.1.5. Sentez Yöntemlerine Göre Polimerler.....	7
1.3.2. Polimerleşme	7
1.3.3. Polimerlerin Özellikleri	8
1.3.4. Polimerlerin Geçirgenlik Özelliği	9
1.3.5. Polimer Malzemenin Kullanım Yerleri	9
1.3.6. Polimerlerin Yapı Malzemelerinde Kullanılmasının Tarihçesi.....	10
1.3.7. İnşaat Mühendisliği Alanında Polimerler.....	11
1.3.8. Polimer İçeren Beton	12
1.3.8.1. Polimerle İyileştirilmiş Betonlar	13
1.3.8.2. Polimer Emdirilmiş Beton	15
1.3.8.3. Polimer Beton	17
1.4. Beton ve Çimento Harçlarında Kullanılan Polimer Türleri.....	18
1.4.1. Stiren Bütadiyen Kauçuğu	18
1.4.2. Poliüretan.....	20
1.4.3. Polikarboksilat Stiren Bütadiyen Kauçuğu.....	20
1.4.4. Modifiyeli Akrilik Dispersiyonu	21
1.5. Beton ve Çimento Harçlarında Donma- Çözülme Etkisi	23
1.5.1. Taze Betonda Donma – Çözülme Etkisi.....	23

1.5.2.	Sertleşmiş Betonda Donma – Çözülme Etkisi.....	25
1.5.3.	Betonda Buz Çözücü Tuzların Etkisi	26
1.5.4.	Polimerle İyileştirilmiş Betonda Donma-Çözülme Etkisi	27
1.5.6.	Donma-Çözülme Dayanaklılığını Etkileyen Unsurlara Genel Bakış	27
1.6.	Polimerle İyileştirilmiş Harçlar ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar.....	28
2.	MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DENEYSEL YÖNTEM.....	30
2.1.	Deney Yönergesi	30
2.2.	Yöntem	32
2.2.1.	Çimento Harcının Hazırlanması	32
2.2.2.	Numunelere Uygulanan Farklı Kür Koşulları	34
2.3.	Deneylerin Uygulanması	35
2.3.1.	Eğilme Dayanımı Deneyi	35
2.3.2.	Sehim Ölçümü	36
2.3.3.	Basınç Dayanımı Deneyi	36
2.3.4.	Donma-Çözülme Döngüleri	37
2.3.5.	Ultrases Hızı Deneyi.....	39
2.3.6.	Numune Kütle Değişimlerinin Tespiti	40
2.3.7.	Su İşleme Derinliği Tayini Deneyi	41
2.3.8.	İnce Kesit Örneklerinin Hazırlanması ve İncelenmesi	42
2.4.	Malzeme Özellikleri	42
2.4.1.	Portland Çimentosu	42
2.4.2.	Standart Kum	43
2.4.3.	Karışım Suyu	43
2.4.4.	Polimer Katkı Malzemesi	44
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER	46
3.1.	Polimer Katkısının Harçların Fiziksel Özelliklerine Etkisi	46
3.1.1.	Polimerle İyileştirilmiş Çimento Harçlarının Petrografik Özellikleri	46
3.1.2.	Polimer Katkısının, Harçların Birim Kütlesine Etkisi	47
3.1.3.	Polimer Katkısının, Harçların Su Emme Özelliklerine Etkisi	49
3.1.4.	Polimer Katkısının, Harçların Su İşleme Derinliğine Etkisi	51
3.2.	En Uygun Kür Şartının Belirlenmesi.....	53
3.2.1.	Kür Şartının Polimerle İyileştirilmiş Harçların Mekanik Özelliklerine Etkisi. 54	
3.2.1.1	Kür Şartı İle Eğilme Dayanımı Arasındaki İlişki	54
3.2.1.2.	Kür Şartı ile Sehim Değeri Arasındaki İlişki.....	60
3.2.1.3.	Kür Şartı İle Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki.....	66
3.3.	Polimer Katkısının, Harçların Donma-Çözülme Dayanımına Etkisi	72

3.3.1.	Donma-Çözülme Etkisindeki Polimer İyileştirilmiş Harçların Eğilme Dayanımının Değişimi.....	72
3.3.2.	Donma-Çözülme Etkisindeki Polimerle İyileştirilmiş Harçların Sehim Değerlerinin Değişimi	77
3.3.3.	Donma-Çözülme Etkisindeki Polimerle İyileştirilmiş Harçların Basınç Dayanımlarının Değişimi	81
3.4.	Donma-Çözülme Etkisindeki Polimerle İyileştirilmiş Harçların Ultrases Hızı Değişimi.....	86
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	90
5.	KAYNAKÇA	93
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 Doğrusal polimer dizilişi.....	6
Şekil 1.2 Dallanmış polimer dizilişi.....	6
Şekil 1.3 Çapraz bağlı (ağ) polimer dizilişi.....	7
Şekil 1.4 Etilenin polimerleşme mekanizması.....	8
Şekil 1.5 Donma-çözülme etkisi ile bozulmuş beton elamanları.....	25
Şekil 2.1 Birinci kısım deney yönerge şeması.....	30
Şekil 2.2 İkinci kısım deney yönerge şeması.....	31
Şekil 2.3 Özel tasarım çimento harç karıştırıcısı.....	33
Şekil 2.4 Sıkıştırıldıktan sonra yüzeyi düzeltilmiş harç örneği.....	33
Şekil 2.5 Numunelerin 1. Koşulda kür edilmesi.....	34
Şekil 2.6 Eğilme dayanımının ölçülmesi.....	35
Şekil 2.7 Basınç dayanımının ölçülmesi.....	37
Şekil 2.8 Numunelerin donma-çözülme aletine yerleştirilmesi.....	38
Şekil 2.9 Ultrasonik test cihazı.....	39
Şekil 2.10 Su işleme derinliği deneyi.....	41
Şekil 2.11 Su ilerleme miktarının belirlenmesi.....	41
Şekil 2.12 Deneylerde kullanılan polimer malzemeler.....	45
Şekil 3.1 Numunelerin ince kesit görüntüsü.....	47
Şekil 3.2 Polimer katkı malzemesi ile birim kütle arasındaki ilişki.....	49
Şekil 3.3 Polimer katkı oranı ile su emme özelliği arasındaki ilişki.....	51
Şekil 3.4 Polimer katkı oranı ile su işleme derinliği değerleri arasındaki ilişki.....	52
Şekil 3.5 SAC katkılı numunenin su işleme derinliği deneyi sırasındaki davranışı.....	53
Şekil 3.6 1. Kür koşulunda katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki.....	55
Şekil 3.7 2. Kür koşulunda katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki.....	56
Şekil 3.8 3. Kür koşulunda katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki.....	57
Şekil 3.9 Kür koşulları ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının eğilme dayanımı arasındaki ilişki.....	59
Şekil 3.10 1. Kür koşulunda katkı oranı ile sehim değeri arasındaki ilişki.....	61

Şekil 3.11	2. Kür koşulunda katkı oranı ile sehım değeri arasındaki ilişki	62
Şekil 3.12	3. Kür koşulunda katkı oranı ile sehım değeri arasındaki ilişki	63
Şekil 3.13	Kür şartları ile polimerle iyileştirilmiş ğimento harĉlarının sehım değerleri arasındaki ilişki	65
Şekil 3.14	1. Kür koşulunda katkı oranı ile basınĉ dayanımı arasındaki ilişki.....	67
Şekil 3.15	2. Kür koşulunda katkı oranı ile basınĉ dayanımı arasındaki ilişki.....	68
Şekil 3.16	3. Kür koşulunda katkı oranı ile basınĉ dayanımı arasındaki ilişki.....	69
Şekil 3.17	Kür şartları ile polimerle iyileştirilmiş ğimento harĉlarının basınĉ dayanımları arasındaki ilişki.....	71
Şekil 3.18	Kontrol numuneleri (0 dđngü) ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki	73
Şekil 3.19	100 dđngü sonunda polimer oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki	74
Şekil 3.20	200 dđngü sonunda %10 SAC katkılı numuneler	75
Şekil 3.21	200 dđngü sonunda polimer oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki.....	75
Şekil 3.22	Donma-ĉözülme dđngülerinin, polimerle iyileştirilmiş harĉların eğilme dayanımına etkisi	76
Şekil 3.23	0 dđngü sonunda polimer oranı ile sehım değeri arasındaki ilişki.....	77
Şekil 3.24	100 dđngü sonunda polimer oranı ile sehım değeri arasındaki ilişki.....	78
Şekil 3.25	200 dđngü sonunda polimer oranı ile sehım değeri arasındaki ilişki	79
Şekil 3.26	Donma-ĉözülme dđngülerinin, polimerle iyileştirilmiş harĉların sehım değerlerine etkisi.....	80
Şekil 3.27	Kontrol örneklerinin (0 dđngü) polimer oranı ile basınĉ dayanımı arasındaki ilişki.....	82
Şekil 3.28	100 dđngü sonunda polimer oranı ile basınĉ dayanımı arasındaki ilişki	83
Şekil 3.29	200 dđngü sonunda polimer oranı ile basınĉ dayanımı arasındaki ilişki	84
Şekil 3.28	Polimerle iyileştirilmiş kontrol numuneleri ile ultrases hızı arasındaki ilişki..	82
Şekil 3.29	100 dđngü sonunda ultrases hızı ile katkı oranı arasındaki ilişki.....	84
Şekil 3.30	Donma-ĉözülme dđngülerinin, polimerle iyileştirilmiş harĉların eğilme dayanımına etkisi	85
Şekil 3.31	Polimerle iyileştirilmiş kontrol numuneleri ile ultrases hızı arasındaki ilişki..	87
Şekil 3.32	100 dđngü sonunda ultrases hızı ile katkı oranı arasındaki ilişki.....	88
Şekil 3.33	200 dđngü sonunda ultrases hızı ile katkı oranı arasındaki ilişki.....	89

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Polimerle iyileştirilmiş harçların mekanik özellikleri.....	15
Tablo 1.2. SBR polimerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	19
Tablo 1.3. Poliüretan (PÜ) teknik özellikleri	20
Tablo 1.4. PSBR'nin teknik özellikleri	21
Tablo 1.5. MAD polimerinin teknik özellikleri.....	22
Tablo 1.6. Betonun donma-çözülme dayanıklılığını etkileyen unsurlar	28
Tablo 2.1. Polimer katkılı numunelerin karışım tasarımı.....	32
Tablo 2.2. Bir çevrim için geçen süre ve sıcaklık değerleri	38
Tablo 2.3. CEM 42.5 R tipi çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri	43
Tablo 2.4. CEN referans kumunun tanecik büyüklüğü dağılımı.....	43
Tablo 2.5. Kullanılan polimerlere ait teknik özellikler	44
Tablo 3.1. Polimer katkılı numunelerin birim kütle değerleri.....	48
Tablo 3.2. Polimer katkılı numunelerin su emme değerleri	49
Tablo 3.3. Polimer katkılı numunelerin su işleme derinliği değerleri.....	51
Tablo 3.4. Polimerle iyileştirilmiş harçlarda, kür koşullarının eğilme dayanımına etkisi. 54	
Tablo 3.5. Polimerle iyileştirilmiş harçlarda, kür koşullarının sehim değerine etkisi.....	60
Tablo 3.6. Polimerle iyileştirilmiş harçlarda, kür koşullarının basınç dayanımına etkisi .	66
Tablo 3.7. Donma-çözülme etkisinde polimerle iyileştirilmiş harçların eğilme dayanımı	72
Tablo 3.8. Donma-çözülme etkisinde polimerle iyileştirilmiş harçların sehim değerleri .	77
Tablo 3.9. Donma-çözülme etkisinde polimerle iyileştirilmiş harçların basınç dayanımı	71
Tablo 3.10. Polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının donma-çözülme döngüleri sonunda ultrases hızları	86

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
ρ_c	: Numunenin Birim Kütlesi
SBR	:Stiren Butadien Rubber
PSBR	: Polykarboksilate Stiren Butadien Rubber
MAD	: Modified Acrylic Dispersion
PU	:Poliuretane
SAC	:Stiren Acrylic Co-polymer

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Beton, günümüz yapı teknolojisinde en sık kullanılan, kolay üretilen ve bileşenleri kolay temin edilebilen, ekonomik bir yapı malzemesi olmasına karşın, özellikle yük altındaki davranışının ve mekanik özelliklerinin tam anlaşılammış olması sebebiyle üzerinde yoğun çalışmaların hala sürdürüldüğü bir malzemedir. Beton basınç etkisi altında gösterdiği başarımı, eğilme ve çekme kuvvetleri etkisi altında gösterememektedir. Ayrıca yüksek süneklikten yoksundur (ACI 201-2R, 1992).

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 tasarımda dikkate alınmalıdır. Yapının işlevini yerine getirebilmesi için yapıda kullanılan betonun, maruz kalacağı etkilere karşı dayanıklılığı yeterli olmalı ve yapının performansını belirli bir düzeyin altına düşürmemelidir. Bu çevresel etkiler betonun performansının zamanla azalmasına hatta proje ömründen önce işlevini ve dayanımını tamamen yitirmesine yol açabilmektedir (ACI 201-2R, 1992; Teker, 2012). Bu nedenlerden dolayı günümüz yapısal tasarımında en az malzeme dayanımları kadar dayanıklılık (durabilite, kalıcılık) ölçütlerinin de dikkate alınması kabul görmektedir (Sommerville, 2000). Gelişmiş ülkelerde yapı sektöründeki toplam kaynakların %40'ının var olan yapıların bakım ve onarımına harcandığı, yalnız %60'ının yeni uygulama alanlarında kullanılmakta olduğu ifade edilmektedir. Diğer bir deyişle, malzemelerin dayanıklılık özelliklerinin de tıpkı mekanik özellikler ve maliyetler gibi, yapının tasarım aşamasında dikkate alınması gereken önemli birer unsur olduğu anlaşılmaktadır (Mehta ve Monterio, 1993).

Betonun tekrarlı donma-çözülme etkisinde kalması fiziksel etkilerden bir tanesidir. Karasal iklim gibi sert iklim koşullarının görüldüğü yörelerde binaların dış cepheleri, köprülerin kolon ve kirişleri, barajlar, istinat duvarları, beton yol döşemeleri ve hava meydanı pistleri gibi atmosfer etkilerine açık kalacak betonarme elemanlarda beton kalıcılığının karşısındaki en büyük tehditlerden birisi donma-çözülme olayıdır (Shang ve Song, 2008; Şengül vd., 2003; ACI.201-2R, 1992). Beton ve çimento hamuru içerisindeki su, düşük sıcaklıklarda buza dönüşebilir. Beton içerisindeki su donduğunda hacimce %9 genişir. Genleşen su beton bünyesinde iç gerilmelere yol açar ve çatlaklar oluşur (Baradan

vd., 2010; Powders ve Helmut 1953). Betonun don dayanıklılığı için ihtiyaç duyulan hava miktarı harç hacminin % 9'u kadardır. Katkısız betonda bu havanın homojen dağılması zordur. Hava sürükleyici katkıları betonun içerisindeki havanın homojen dağılmasını sağlar. Birbirinden bağımsız olarak homojen bir biçimde dağılan hava, içerisine giren su donduğunda iç gerilmeler oluşturamaz. Böylece donma-çözülme etkisine maruz beton daha az zarar görür. Ayrıca betonun işlenebilirliği ve donma-çözülme direnci artar, ayrışması ve su ihtiyacı azalır. Ancak hava miktarı %1-8 olan betonlarda, hava miktarındaki her %1'lik artış basınç dayanımını %5 oranında azaltmaktadır (Erdoğan, 2003; Neville,1997; Powers, 1949; Pigeon ve Pleau, 1995; Yalçınkaya, 2009).

Araştırmacılar, betonun kalıcılık yönünden zayıf yönlerini iyileştirebilmek için uzun yıllardan beri kapsamlı çalışmalar yapmaktadır. Endüstriyel olarak birçok alanda kullanılan polimer malzemeler son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte yapı malzemesi endüstrisinde de kullanılmaya başlanmıştır. Polimerin kullanımı betonun asit direncine, donma-çözülme direncine ve klor iyonlarına karşı direncine olumlu yönde katkı sağlamaktadır (Shaker vd., 1997; Montey vd., 2001; Steinberg, 1973; De Puy ve Dikeou, 1973). Bir başka deyişle, polimerlerin betona katkıları sadece mekanik yönden değil aynı zamanda dayanıklılık yönünden de olmaktadır (Chmielewska, 2007; Yang vd., 2008; Moreira ve Aguiar, 2006; Ogawa vd., 2007; Shirai vd., 2007; Huang ve Wu, 2006; Allan ve Wiiliam, 2006; Whiting ve Kline, 2003). Bu çalışmalar kapsamında betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek için yapılan çalışmalardan biri de polimerle iyileştirilmiş beton uygulamasıdır. Teknik literatürde polimer modifiyeli beton (polymer modified concrete (PMC)) olarak adlandırılan bu beton türü bu çalışmada polimerle iyileştirilmiş beton olarak anılacaktır. Polimerle iyileştirilmiş harç ve beton son elli yıl içerisinde beton uygulamalarında oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamıştır ve polimer modifiye uygulaması ile çimento bazlı malzemelerin işlenebilirliği, su geçirimsizliği ve diğer birçok özelliği iyileştirilebilir (Ohama, 1998; Chandra vd., 1994; Miller, 2005; Ohama, 1995). Polimer malzemeler, betonda temel olarak tamamlayıcı veya tamir malzemesi olarak kullanılmıştır (Ohama, 1995). Fakat gelişen polimerleşme ve kompozit malzeme tekniği ile polimer modifiye uygulamaları yapı malzemesi olarak bazı projelerde kullanılmaya başlanmıştır; yol kaplamaları, betonarme köprü kaplamaları, kaldırım taşları vb. (Yao vd., 2005).

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Polimer malzeme, polimerle iyileştirilmiş beton ve harç uygulamalarında bu betonların kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler ile dayanıklılık özelliklerine önemli katkılar sağlamaktadır. Öte yandan, polimerle iyileştirilmiş betonlarda en önemli açmaz; polimerlerin 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. Yine polimerin betonun çekme ve eğilme dayanımı ile geçirimsizliğine sağladığı katkı da betonun donma çözülme direncini artırmaya yönelik önemli bir ipucunu teşkil etmektedir.

Bu bağlamda, bu çalışmanın amaçları, polimerle iyileştirilmiş harçlar için en uygun kür şartlarının belirlenmesi ve polimer katkısının harçların mekanik ve donma-çözülme 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 ve (iii) 1 gün dışarıda 1 gün suda olacak şekilde uygulanmıştır. Böylece çimento hamuruna en iyi mekanik özellikler kazandıran en uygun kür koşulu tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan polimer malzemeler; SBR (Stiren Butadien Rubber), PSBR (Polycarboxylate-Stiren Butadien Rubber), SAC (Stiren Acrylik Co-Polymer) olup, bu malzemeler harçlara çimento kütlesinin %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 5 farklı katkı oranında (%0, %5, %10, %15 ve %20) hazırlanan numuneler, 3 farklı donma-çözülme döngüsüne (0, 100 ve 200) tabi tutulmuş ve mekanik özelliklerinin değişimi gözlemlenmiştir. Yine donma-çözülme döngüsüne tabi kalan numunelerin ultrases hızı ölçülerek değişim gözlemlenmiştir. Polimerle iyileştirilmiş betonların su geçirimsizliğini incelemek için ise en uygun katkı oranlarında 10 cm çapında silindir numuneler dökülmüş ve polimerlerin su işleme derinliği üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Ayrıca, su emme ve birim kütle değişimi gibi fiziksel özelliklerindeki değişimlerinin yanı sıra bu numunelerin petrografik özellikleri de incelenmiştir.

1.3. Polimerler

“Polimer” kelimesi “çok parçalı” demektir. Polimer malzemeler, kimyasal olarak birbirine bağlı birçok parça veya birimi içeren bir katı madde olarak veya başka bir deyişle birbirine bağlanarak bir katı madde meydana getiren parçalar veya birimler olarak düşünülebilir (URL-1). 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 ağırlıklı bileşiklerdir (Çökeliler, 2010). Plastik malzeme olarak da bilinen suni polimerler, son 40-50 yıl içinde büyük gelişme göstererek günümüzde hacim olarak metallere 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. liflerle kuvvetlendirilen plastik malzemeler, daha yüksek mekanik özelliklere sahip olurlar. Takviyeli plastikler özellikle içten yanmalı motorların ve uçakların yapımında kullanılır. Ayrıca plastik-beton karışımından elde edilen ve çok iyi sönümleme kabiliyetine sahip olan kompozit malzemelerde bunlara örnek olarak verilebilir (Öztürk, 2013).

1.3.1. Polimerlerin Sınıflandırılması

1.3.1.1. Elde Edilişlerine Yöntemine Göre

Polimerler elde edilişlerine göre doğal, sentetik ve yarı sentetik olmak üzere üçe ayrılır (Çökeliler, 2010; URL-3)

Doğal polimerler: Doğal polimerlerin bazıları farklı yapıda değişik birimlerin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Yün, deri ve biyopolimer olarak isimlendirilen ve yaşamla 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: Monomerlerin birleşmesiyle oluşan polimerlerdir. Bunlar, monomerlerden başlayarak endüstride üretilen polietilen, polipropilen, poliamidler gibi polimerlerdir (Çökeliler, 2010, Öztürk, 2013).

Yarı sentetik polimerler: Doğal polimerlerin iyileştirilmesi ile elde edilirler; örneğin doğal selülozdan elde edilen selüloz türevleri bu türden sayılır (Çökeliler, 2010; Öztürk, 2013).

1.3.1.2. Kimyasal Bileşimlerine Göre Polimerler

Polimerler, kimyasal bileşimlerine göre organik ve inorganik olarak iki grupta sınıflandırılmıştır (Saçak, 2002).

Organik polimerler: Yapılarında başta karbon atomu olmak üzere hidrojen, oksijen, azot ve halojen (F, Cl, Br, I gibi) atomları içerir. Eğer polimer zinciri üzerinde dizili atomların hepsi aynı türden ise bu polimerlere “homozincir”, farklı atomlar ise “heterozincir” polimer olarak adlandırılır. Bir atomun polimer ana zinciri üzerinde yer alabilmesi için en az ‘2’ değerlikli olması gerekir. Bu nedenle hidrojen ve halojenler ana zincir üzerinde yer almazlar. Organik polimerler, diğer organik maddelerin aldıkları isimlere göre sınıflandırılabilirler. alifatik, aromatik organik polimerlere örnek verilebilir (Saçak, 2002).

İnorganik polimerler: Organik polimerler kadar yaygın kullanılmazlar. Polimer ana zincirinde karbon atomu yerine periyodik cetvelde yer alan 4. ve 6. Grup elementleri bulunur. Bunlara örnek olarak Si, B ve Ge verilebilir (Saçak, 2002).

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 yapısında polimer zincirleri birbirlerine dolanmış halde bulunur. Amorf, ana yapı içerisinde bulunan küçük yapıli bölgeler, kristalitler olarak adlandırılır ve oluşan kristaller rastgele yönlendirler (Saçak, 2002).

1.3.1.3. Monomer Çeşitlerine Göre Polimerler

Homopolimer: Tek bir cins monomerin polimerleşmesiyle elde edilen polimerlerdir. Örneğin; polietilen, polipropilen, polistiren, polivinilklorür gibi polimerler homopolimerlerdir (Beşergil, 2003).

Kopolimer: İki veya daha fazla cinsten olan monomerlerin beraberce polimerleşmesinden oluşan polimerlerdir. Bunlar monomerlerin diziliş sırasına göre dörde ayrılırlar (Beşergil, 2003);

- I. Ardışık (alternatif) polimer. Örneğin, Stiren-maleikanhidrit; A-B-A-B-A-B-A-
II. Blok (düzenli) polimer. Örneğin, Stiren-izopren; -A-B-B-B-A-B-B-B-A-B-B-
III. Gelişigüzel polimer. Örneğin, Stiren-metilmetakrilat; -A-A-B-A-B-B-A-B-A
IV. Graft (aşılı) polimer: Ana zincire başka bir monomerin bağlanması ile oluşur
(Öztürk, 2013).

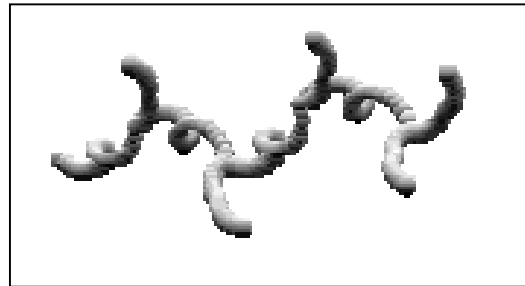
1.3.1.4. Makromolekül Zincirinin Şekline Göre Polimerler

I. Doğrusal (lineer) polimer: Yüksek yoğunluklu polietilen bu gruba örnek verilebilir (YYPE veya HDPE). Diziliş örneği (-A-A-A-A-A-A-A-A-) şeklindedir (Şekil 1.1).



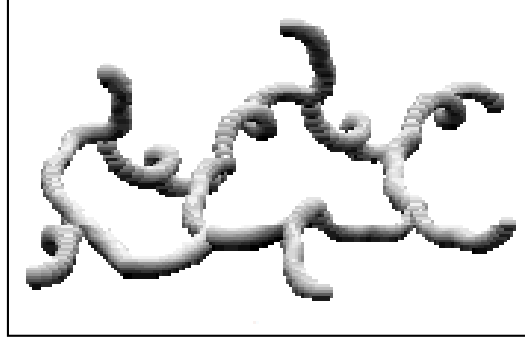
Şekil 1.1. Doğrusal polimer dizilişi

II. Dallanmış polimer: Alçak yoğunluklu polietilen bu gruba örnek verilebilir (AYPE veya LDPE). Diziliş örneği (-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-A) şeklindedir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Dallanmış polimer dizilişi

III. Çapraz bağlı (Ağ) polimer: Vulkanize ve kauçuk bu polimer türüne örnek verilebilir. (-A-A-A-A-A-A-A-A-AB) ve (-B-A-A-A-A-A-A-A-A-A) şeklinde dizilişlere sahiptir (Şekil 1.3) (Beşergil, 2003).



Şekil 1.3. Çapraz bağlı (ağ) polimer dizilişi

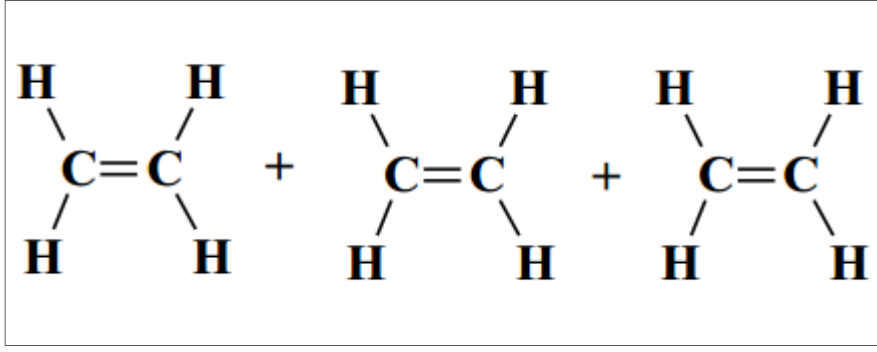
1.3.1.5. Sentez Yöntemlerine Göre Polimerler

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

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

1.3.2. Polimerleşme

Polimerleşme, polimer malzemenin oluşumuna imkân veren kimyasal bir tepkimesidir. 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 polimerleşmedir (Şekil 1.4) (Altıntaş, 2013).



Şekil 1.4. Etilenin polimerleşme mekanizması

Olay öylesine hızlı gelişir ki meydana gelen dev molekülün ucuna yeni CH_2 '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 (Isı, ışınlama, katalizör). Üretimde en önemli noktalardan biri gelişmenin denetim altına alınmasıdır. Aksi halde farklı boyda heterojen bir molekül yapı oluşur. Bu denetim, ısının, ışığın kontrolü ile sağlanır ve tamamen kimyasal teknolojinin sorunudur. Eklenme 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).

1.3.3. 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 ve 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 aşılması 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).

1.3.4. Polimerlerin Geçirgenlik Özelliği

Polimerlerin gazlara ve sıvılara karşı geçirgenliği polimerlerin kimyasal dayanımıyla ilgilidir. Gaz geçişi düzgün kanallarda katı molekül parçalarıyla birlikte meydana gelir. Kristalsi, camsı veya yüksek çapraz bağlı polimerler de geçiş difüzyonla olur ve viskoz malzemeler bu geçiş sırasında bir miktar tutunabilir. Difüzyon, polimer yapısında bulunan bazı komponentler içindeki gaz çözücüler tarafından artabilir. Yüksek kristallik derecesi, yüksek yoğunluk ve yüksek çapraz bağlanma derecesinin sonucudur. Polimer boyunca hem sıvı hem de gazlardaki difüzyon oranı azalması sonucu olarak kimyasal direnç artar. CO²'in O², N² diğer gazlara göre geçirimsizlik oranı daha yüksektir. Araştırmalara göre bu oran sırasıyla N², O², CO² için 1:4:14'tür (Hollaway, 1993).

Geçirimsizlik polimerlerin uygulandığı endüstri sektöründe önemli rol oynar. Örneğin; polimer filmleri, plastik kovalar, korozyona dirençli kaplamalar, elektrik uygulamaları, endüstriyel membranlar gibi uygulamalarda bu özelliğinden yararlanılır (Öztürk, 2013). İnşaat mühendisliği sektöründe ise geçirimsiz beton üretiminde polimer malzemelerin geçirimsizlik özelliğinden faydalanılmaktadır.

1.3.5. Polimer Malzemenin Kullanım Yerleri

Polimerler, monomer denen çok sayıda organik molekülün polimerleşme adı verilen kimyasal bir reaksiyon sonunda bir zincir yapı oluşturmasıyla meydana gelmektedir. Polimerler termoplastikler ve termosetler olarak iki temel guruba ayrılmaktadırlar. Termoplastikler, paralel doğrusal zincir yapısına sahiptirler ve ısıtma-soğutma çevrimleriyle yumuşama-sertleşme dönüşümleri yaparlar. Termosetler ise rastgele düzenlenmiş ve birbirleriyle bağlar kurmuş zincirlerden oluşmakta ve polimerleşme işlemi ile sertleştikten sonra ısıtma ile yumuşamazlar. 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 kullanımı ise; altyapı ürünlerinden, ev dekorasyon ürünlerine kadar her alanda plastik malzemeleri ya da 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.

1.3.6. Polimerlerin Yapı Malzemelerinde 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 kapsamaktaydı ve bağlayıcı malzeme olarak çimento kullanılmıştır. Modern polimer modifiyeli beton uygulaması ise 1924 yılında Lefebure tarafından geliştirilmiştir. Lefebure ilk olarak latex modifiyeli beton ve çimento hamuru üzerinde karışım oranlarını belirleme yöntemi ile çalışmıştır. Bu çalışma polimerle iyileştirilmiş beton tarihinin dönüm noktası olmuştur (Lefebur, 1924). Benzer bir çalışma 1925 yılında Kirkpatrick tarafından da yapılmıştır (Kirkpatrick, 1925). Gelişen teknoloji ile 1920'lerde ve 1930'lu yıllarda doğal plastik latex kullanılan polimerle iyileştirilmiş beton ve çimento hamuru uygulaması artmıştır.

1940'lı yıllarda polimer modifiye sistemindeki bazı çalışmalarda kloropren kauçuk lateksleri ve poliakrilik ester, sentetik lateks ile birlikte 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 modifiye sistemlerinin fizibilite çalışmasını yapmışlardır. Dağılıbilir polimer tozunun, hidrolük çimento karışımlarında polimer modifiyesi olarak kullanılması için 1953 yılında bir patent yayınlandı (Werk ve Wirken, 1997). 1960'lı yıllarda SBR, poliakrilik ester ve bu benzeri malzemelerinin modifiye 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 kullanılmada vazgeçilmez hale gelmiştir.

1.3.7. 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, yapııştırıcı ve tamir malzemeleri, mobilya kaplamaları, su iletim boruları (sert ve yumuşak PVC) gibi malzemeler. Plastik maddelerin inşaat mühendisliğindeki diğer uygulaması; doğrudan taşıyıcı malzeme olarak yer alması veya taşıyıcı malzemelerin dayanıklılığın arttırmak üzere kullanılmasıdır. Bu polimerlerin beton katkı maddesi olarak kullanımı taşıyıcı elemanların dayanımı ve dayanıklılıklarının arttırılması 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 alanda ki araştırmalar günümüzde de güncelliğini korumaktadır (Öztürk, 2013).

1.3.8. Polimer İçeren Beton

Yüksek basınç mukavemeti elde etmek için pek çok yöntem geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunlar çoğunlukla imento hamuru fazındaki boşlukların en aza indirilmesi esasına dayanır. Günümüzdeki en büyük gelişme, su/imento oranı düşük, buna karşılık işlenebilme özelliği yüksek, beton harcı yapabilmeye olanak sağlayan süper akışkanlaştırıcıların gelişmesidir. Bu katkıları ile su/imento oranı %30'lar mertebesine çekilmiştir. Böylece kılcal boşluklar ortadan kalkmaktadır. Çimento tanelerinden 25 defa daha ince silis dumanı kullanımı ile mukavemet de artmıştır. Silis dumanı kılcaldan ince boşlukları tıkayarak, agrega imento bağlanmasını puzolonik etkileri ile iyileştirir, hamur fazının mükemmelleşmesini sağlamaktadır. Beton sürekli imento hamuru içinde agregalardan oluşan dağılmış bir faza sahip bir kompozittir. Yüksek mukavemetli beton üretebilmek; imento hamuru fazının mukavemetini arttırmak ve agregayla olan aderansını arttırmakla olur. Elastik sabitlerin hesabında yararı olan kompozit malzeme modelleri, mekanik dayanımları tahmininde yararlı olmamaktadır. Ancak kompozitin mukavemeti, matriksin veya dağılım fazı mukavemetleri ile sınırlıdır. Normal ağırlıkta bir betonda, doğal kayalardan elde edilen agregaların mukavemetleri imento matrisinin mukavemetinden yüksektir (Akman, 1990). Sonuç olarak kompozitin mukavemetini, daha düşük mukavemetli olan imento hamuru ve agrega-imento birleşimini belirleyecektir. Betondaki boşluk oranını azaltmak ve işlenebilirliği sağlamak amacı ile betona kimyasal ve mineral katkıları katılmaktadır. Ancak klasik betondan elde edebileceğimiz mertebe 150 MPa'lar civarındadır. Beton kalitesini arttırmak ve kimyasallara direnç kazandırmak maksadıyla polimer beton ve harçların kullanılmaya başlanmasıdır. Beton-polimer kompozitleri, geleneksel harç ve betondaki suyla karıştırılmış imento bağlayıcının bütünü veya bir kısmının polimerle yer değiştirilmesiyle ve imento hidrate bağlayıcının polimerle güçlendirilmesiyle elde edilen malzemelerdir. Polimerlerin beton teknolojisinde kullanımını üç grupta toplanabilir (Akman, 1990; Öztürk, 2013; Ohama, 1995);

I. Polimerle İyileştirilmiş Beton (PIB) (Polymer Modified Concrete; PMC) olarak adlandırılan polimer portland imento betonları.

II. Polimer Emdirilmiş Beton (PEB) (Polymer Impregnated Concrete; PIC) olarak adlandırılan polimer emprenye edilmiş beton veya harçlar.

III. Polimer Beton (PB) (Polymer Concrete; PC) olarak adlandırılan sentetik reçine betonları.

1.3.8.1. Polimerle İyileştirilmiş Betonlar

Lateks çok küçük (koloidal) boyutlu polimer parçacıkların su içindeki emülsiyonudur. Polimerle iyileştirilmiş betonlar kullanılan malzemeler ve üretim tekniği açısından normal beton ile aynı olup tek fark lateksin karıştırma sırasında betona katkı olarak ilave edilmesidir. Günümüzde en çok kullanılan lateksler stirenbutadiyen ve poliakrilat kopolimer bazlı elastomer kauçuk polimerlerdir (Ohama, 1997).

Portland çimentosu betonlarının lateks ile modifikasyonu portland çimentosunun hidratasyonu ile lateksin polimer film oluşturması mekanizmalarının sıralı olarak gelişmesiyle oluşmaktadır. Sonuçta C-S-H ve polimer film komatrisi oluşmakta ve agrega fazını sarmaktadır. Lateks taze beton karışımına ilave edildiğinde, öncelikle polimer taneleri çimento hamuru fazında uniform 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).

Polimer film aynı zamanda kapiler boşlukların yüzeylerinde ve agrega-çimento hamuru arayüzeyinde de oluşmakta ve böylece sertleşmiş betonda ara yüzeyde 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 ara yüzeyini iyileştirmeyi amaçlamışlar ve mikroçatlak mekanizmasını iyileştirerek, tokluğu oldukça arttırmışlar, ancak dayanım ve elastiklik modülünde azalma gözlemişlerdir (Morin vd., 2011).

Polimer lateksler suda dağılı çok küçük boyutlu (0.05-0.5 µm) polimer küreciklerden oluşurlar ve monomerin emülsiyon 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 katkılı 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 kg/m³ aralığında değişmektedir (Metha ve Monterio, 2006). Lateks katkılı 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).

Polimerle iyileştirilmiş betonlarda polimer filmin tam oluşması genellikle kuru kür koşulları altında olur ve betonun basınç dayanımı artar. Stiren butadiyen kauçuk lateks ile iyileştirilmiş polistiren hafif agregalı betonların basınç ve eğilme dayanımları ıslak-kuru birleşik kür sistemi ile en yüksek değerlerine ulaşmaktadır (Chen ve Liu). 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 1.1). 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 1.1. Polimerle iyileştirilmiş harçların mekanik özellikleri (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	-	-

1.3.8.2. Polimer Emdirilmiş Beton

Betonda düşük dayanım ve dayanıklılığın baş sorumlusu olarak boşluklar gösterildiği 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 polimerize olarak 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).

Betona polimer emdirme teknolojisi oldukça zorlu süreçler içermektedir. Yapıdaki betona polimer emdirme teknikleri geliştirilmiş olsa da, polimer emdirilmiş betonlar çoğunlukla tesislerde prefabrik elemanlar olarak üretilmektedirler. Tipik polimer emdirme işlemi aşağıdaki adımları içermektedir (Metha ve Monterio, 2006):

- Normal beton elemanların dökümü: Polimer emdirme işleminden önceki beton özelliklerinin son ürünün kalitesi açısından fazla bir önemi olmadığı için normal beton elemanların üretiminde malzeme ve karışım oranlarının belirlenmesi aşamasında özel bir hassasiyet gösterilmesi gerekliliği yoktur.

- Beton elemanların kür edilmesi: Kalıplar alındıktan sonra 28 gün, hatta bazen 7 gün rutubetli kür uygulanması yeterlidir. Süreci hızlandırmak için bazen ısı işlem uygulanabilir.

- Kurutma: Betonun kapiler boşluklarındaki suyun tamamen boşaltılması için gerekli etkin kurutma şartları (sıcaklık ve süre) beton elemanın boyutlarına bağlıdır. Normalde kullanılan kurutma sıcaklıklarında (105-110 °C), 150x300 mm boyutlu bir silindir numunenin tam kurutulması için 3-7 gün gerekmektedir (Metha ve Monterio, 2006). Kurutma sıcaklığı 150-175 °C'ye yükseltildiğinde tam kurutma için 1-2 gün yeterli olabilmektedir. Beton elemanlar hızlı ve tam polimer emdirmeye maruz bırakılacaksa kurutulmuş elemanlar içerisindeki hava tamamen boşaltılmalıdır. Ancak, dayanıklılığın artırılmasının amaçlandığı durumlarda bu işleme gerek kalmadan kurutulmuş numunenin bir gece polimer emdirme işlemine maruz kalmasıyla yüzeyden itibaren numune kalınlığının yarısı ya da dörtte üçü mesafeye polimer emdirilmesi sağlanabilmektedir.

- Kuru betonun monomere yatırılması: Yapıdaki elemanlarda yüzeyden polimer emdirme yapılırken, prekast elemanlar ise monomer-katalizör karışımına yatırılmaktadır. Beton boşluk sisteminin dolambaçlı yapısından dolayı tam emdirme çoğunlukla başarısızdır. Su/çimento oranı 0.56 olan 10 cm küp beton numuneleri 7 gün suda kür ettikten sonra, 4 gün boyunca 150 °C sıcaklıkta kurutulmuşlar ve metilmetakrilat içinde 5 dakikadan 48 saate kadar 64 sürelerde tutmuşlardır. Kırksekiz saat boyunca polimer emdirilen numunelerde polimerleşmeden sonra yapılan incelemelerde yüzeyden 3,5 cm derinliğe kadar penetrasyon olduğu gözlemlenmiştir. Penetrasyon derinlikleri 100 dk, 4 saat ve 8 saatte, sırasıyla, 2 cm, 2,5 cm ve 3 cm olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla, numunelerdeki boşlukların tam olarak polimer ile doldurulması ancak basınç altında polimer emdirilmesiyle mümkün olacaktır (Sopler vd., 1973).

- Numunenin korunması: Monomerin buharlaşma yoluyla kaybını önlemek için polimerizasyon süresince numunelerin çelik kaplar içinde ya da alüminyum folyoya sarılarak korunması gerekir. Köprü tabliyelerindeki uygulamalarda yüzey kum ile kaplanır.

- Monomerin polimerleşmesi: Termal-katalitik polimerizasyon tercih edilen yöntemdir. Kür sıcaklığının 70-80 °C olduğu durumlarda tam polimerizasyon için gerekli

süre birkaç saatten, bir güne kadar değişmektedir. Metilmetakrilat monomeri kullanılan numuneler 70 °C sıcaklıkta hava ile 16 saat ve ya 70 °C sıcaklıkta su ile 4 saat kür edildiğinde beton dayanımları arasında fark gözlenmemiştir (Sopler vd., 1973).

1.3.8.3. Polimer Beton

Polimer beton, uygun dağılımdaki bir agrega karışımının bir tür monomer ile karıştırılıp ortam sıcaklığında polimerize edilmesiyle oluşmaktadır. Karışıma katılan bir sertleştirici polimer zincirleri arasında çapraz bağ oluşturulmasını, katalizör ise polimerleşme 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 unu 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 (Balagra ve Beaudoin, 1995). Polimer betonu normal betona benzer şekilde kalıba vibrasyon uygulanarak yerleştirilmektedir. Kullanılacak polimerin miktarını en aza indirebilmek için agrega karışım oranlarının ve dağılımının en yüksek doluluğu sağlayacak şekilde ayarlanması gereklidir.

Yapılan bir çalışmada polimer betona iki farklı sıcaklıkta (20 °C ve 50-70 °C) kür uygulamış ve yüksek sıcaklıkta kür edilen betonda beş saatte 140 MPa, normal sıcaklıkta kür edilen betonda ise 7 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 yaratmamaktadır (Metha ve Monterio, 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 Monterio, 2006; Fowler, 1999).

Polimer beton yüksek erken dayanım ve elastisite modülüne sahip olması ve kimyasal dayanıklılığının iyi olması nedeniyle çoğunlukla endüstriyel betonlarda, döşeme kaplamalarında ve onarım işlerinde kullanılmaktadır. Yapısal beton uygulamalarında yoğun kullanımını engelleyen unsur ise ısıl özellikleri ile sünme deformasyonunun uygun olmamasıdır (2006; Fowler, 1999). Çeşitli polimer betonların normal portland çimentosu ile karşılaştırılmalı özellikleri ve uygulama alanları Çizelge 2 ve 3'de verilmektedir.

Polimer betonların mekanik özellikleri ve deformasyon davranışları kullanılan polimer tipine ve miktarına göre değişmektedir. Metilmetakrilat ile üretilen polimer betonlar neredeyse tümüyle doğrusal gerilme–deformasyon diyagramına sahip olup, oldukça gevrek bir davranış göstermekte ve yüksek dayanımlara ulaşmaktadır. Ancak, butilakrilat ilavesiyle kompozitin daha sünek bir davranış gösterdiği anlaşılmaktadır (Özturan, 2013).

1.4. Beton ve Çimento Harçlarında Kullanılan Polimer Türleri

Polimer katkı malzemelerinin, beton ve çimento hamuru üzerinde sağladığı teknik avantajların 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.

1.4.1. 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 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.2. 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 ³)	1.01
Ortalama parça çapı (mikron)	0.15
Polimer şeridinin çekme kuvveti (N/mm ²)	6
Polimer şeridinin uzaması (%)	1000

Kullanım Yerleri: Çimento harçlarının kalitesini önemli ölçüde arttıran yüksek nitelikli bir emülsiyon olarak aşağıdaki uygulamalarda kullanılır;

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

Avantajları:

- Mükemmel yapışma
- Büzülmenin azaltılması
- Daha fazla elâstikiyet
- Mükemmel su geçirimsizlik
- Aşınma dayanımının artırılması
- Kimyasal dayanımın iyileştirilmesi
- Korozyon değildir, donatıya zarar vermez
- Kullanıma hazırdır
- Yüksek alkali ortamlarda bile Latex'in emülsiyonu bozulmaz.

1.4.2. Poliüretan

Poliüretan (PÜ) karbamat bağlantıları ile birleştirilen organik üniteler zincirinden oluşan bir polimerdir. Esnek ve esnemeyen köpükler, dayanıklı elastomerler ve yüksek performanslı yapıştırıcılar, sentetik fiberler, 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-2). Malzemenin teknik özellikleri Tablo 1.3'de verilmiştir.

Tablo 1.3. Poliüretan (PÜ) 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 ² / lt (40 mikron kuru filmde)

1.4.3. Polikarboksilat Stiren Bütadiyen Kauçuğu

Polycarboxylate-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 1.4'te verilmiştir.

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

Avantajları:

- 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.

Tablo 1.4. PSBR'nin teknik özellikleri

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

1.4.4. 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 1.5'de verilmiştir.

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.
 - Serpme sıva hazırlanmasında;
 - Pürüzsüz beton yüzeyler ile gazbeton yüzeylere, sıva ve seramik uygulamalarından önce, aderansı artırmak amacı ile bağlayıcı olarak kullanılır.

Avantajları:

- 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.

Tablo 1.5. MAD polimerinin 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	-20°C +80°C

1.5. Beton ve Çimento Harçlarında Donma- Çözülme Etkisi

Beton, günümüz yapı teknolojisinde en sık kullanılan, kolay üretilen ve bileşenleri kolay temin edilebilen, ekonomik bir malzemedir. Dünyada kişi başına düşen yıllık beton üretimi yaklaşık 2.5 tondur (Aitcin, 1998).

Yapılar servis ömrü süresince çeşitli çevresel etkilere maruz kalmaktadır. Yapının maruz kalacağı çevresel etki iyi belirlenmeli ve tasarımda dikkate alınmalıdır. Yapının işlevini yerine getirebilmesi için yapıda kullanılan malzemelerin maruz kalacağı etkilere karşı dayanıklılığı yeterli olmalı ve yapının performansını belirli bir düzeyin altına düşürmemelidir. Günümüz yapısal tasarımında malzeme dayanımları kadar dayanıklılık ölçütlerinin de dikkate alınması kabul görmektedir (Sommerville, 2000). Yapıda taşıyıcı elamanları oluşturan beton, servis ömrü boyunca çeşitli çevresel etkilerle hasara uğrayabilir. Bu etkiler fiziksel, kimyasal, fiziko - kimyasal veya mekanik olabilmektedir. Bu çevresel etkiler betonun performansının zamanla azalmasına hatta proje ömründen önce işlevini ve dayanımını tamamen yitirmesine yol açabilmektedir. (ACI 201-2R, 1992)

Betonun tekrarlı donma-çözülme etkisinde kalması fiziksel etkilerden bir tanesidir. Karasal iklim gibi sert iklim koşullarının görüldüğü yörelerde binaların dış cepeleri, köprülerin kolon ve kirişleri, barajlar, beton yol döşemeleri, hava meydanı pistleri gibi yüzeyleri atmosfer etkilerine açık kalacak betonarme elemanlarda beton kalıcılığının karşısındaki en büyük tehditlerden birisi donma-çözülme olayıdır. Donma-çözülme olayı beton taze veya sertleşmiş haldeyken meydana gelebilmektedir (Ataş, 2013; Baradan, 2012; Çavdar, 2014).

1.5.1. Taze Betonda Donma – Çözülme Etkisi

Taze betonda donma etkisi, suya doygun toprak üzerindeki don etkisine benzemektedir. Henüz sertleşmemiş yani plastik halde bulunan beton içerisindeki su donmaya başladığında su hacmi yaklaşık %9 oranında artar. Beton henüz plastik kıvamda olduğundan oluşan buz hacim artışı nedeni ile boşluklara doğru hareket eder. Bu olay tekrarlı donma çözülme ile buz kütesinin büyümesini sağlar (Baradan vd., 2010).

Taze beton donduğu zaman çimento harcı ile iri agregalar arasındaki yüzey bağları kütle transferi nedeniyle bozulmaya başlamaktadır. İri agregaların özgül ağırlığı betona kıyasla daha büyük olduğundan çimento harcından daha iyi ısı iletirler. Beton donmaya başlayınca, agregalar beton harcından daha çabuk soğur. Oluşan sıcaklık farkı ile düşük sıcaklıklardaki bölgelerde bağıl basınç daha az olduğundan su daha soğuk olan agregalara doğru hareket etmeye başlar. Böylelikle agregalar yüzeyinde donarak birikmeye başlayan su agregalar çevresinde bir buz-su filmi oluşturur. Buz filminin hacimsel olarak büyümesi ile oluşan genleşme neticesinde agregalar-çimento ara yüzeyindeki fiziksel bağ koparır. Aderansın azalmasına paralel olarak agregalar çimento hamurundan kolayca ayrılabilir. Boşluklu agregaların kullanımı durumunda hafif betonda olduğu gibi, agregalar suyu emip film tabakası oluşumunu azaltarak hasarı minimuma indirmektedir. (Baradan vd. 2002; Yalçınkaya, 2009).

Donma sırasında oluşan kütle transferinin başka bir nedeni de çimentonun su ile temasıyla başlayan hidrasyonun, egzotermik yapıda tepkimeler oluşturması sebebiyle beton içerisindeki suyun tamamen donmamasıdır. -5°C’de beton karışım suyunun %92 si donarken -45°C’de bu oran %96’ya çıkmaktadır. Bu durum taze beton içindeki suyun tamamının donmadığını göstermektedir. Donmayan su çimento tanecikleri ile tepkimeye girdiğinde, tanecikler etrafında ısı açığa çıkması ile su daha soğuk bölgelere kayar.

Böylelikle buz kütesinin daha da büyümesini sağlar. Ayrıca nispeten daha sıcak olan iç bölgelerdeki sular donmaya başlayan dış yüzeye hareket ederek ek bir kütle transferi oluşturmaktadır. Priz henüz başlayan beton için dış bölgelerde donup genleşen su, betonun ana iskeletini parçalayıcı etki oluşturmaktadır (Baradan vd., 2010).

Çimento ve diğer bağlayıcıların hidratasyonu için gereken su donduğunda taze betonun prizinin durduğu gözlemlenir. Bu nedenle -12°C 'nin altında sıcaklıklarda betonun dayanım kazanmadığı kabul edilir (Baradan vd., 2002).

Hava sıcaklığının yükselmesi ile donma etkisinde kalan beton içerisindeki buzlar çözülmeye başlar ve hidratasyon kaldığı yerden devam eder. Hidrate olan çimento jelleri buzun çözülmesi ile oluşan boşlukları dolduramadığından makro yapıda boşluklar dahi oluşabilmektedir, böylelikle geçirimli bir beton imalatı yapılmış olur. Bu sebeple gerek mekanik özelliklerde gerek kalıcılık performansında düşmeler meydana gelmektedir.

Donma olayı beton, buzun oluşturduğu genleşmeye karşı koyabilecek dayanıma ulaştıktan sonra gerçekleşirse bu ilk donma periyodunu zararsız atlatabilir. Bu yeterli basınç dayanım 5-14 MPa arasındaki değerler olarak değişik araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Betonun zarar görmemesi için diğer bir etken karışım suyunun reaksiyona girmesi, reaksiyona girmeyen suyun dışarıya sızması veya buharlaşması ile beton içinde donabilecek suyun azalmasıdır (Baradan vd., 2010).

Taze betonda karşılaşılan bu olumsuzlukları önlemek için aşağıdaki gibi basit ama etkili önlemler alınabilir.

- Beton döküm sırasında ve sonrasında beton üstünü örtü ile kapatmak gibi kütle sıcaklığını koruyucu önlemlerin alınması.
- Günün daha sıcak olduğu (öğle) saatlerde döküm yapılması.
- Priz hızlandırıcı veya don engelleyici (antifriz) kimyasalların kullanılması
- Dona dayanıklı agregaların kullanılması.
- Kullanılan çimentonun türünün, inceliğinin ve kimyasal bileşenlerinin uygun seçilmesi.

1.5.2. Sertleşmiş Betonda Donma – Çözülme Etkisi

Sertleşmiş bir beton suya doygun halde don etkisinde kaldığında matris içerisindeki kapiler boşluklarda bulunan su donar ve genleşir. Tekrarlı donma-çözülme etkileri sonucu bu genleşme kümülatif olarak artar (Baradan ve Aydın, 2012). Bu nedenle tekrarlı donma-çözülmenin oluşturduğu olumsuz etki çözülmenin gerçekleşmediği uzun süreli don

etkisinden çok daha fazladır. Bu durum bir önceki donma periyodunun oluşturduğu ince bir çatlağın yeniden donma etkisi ile genişleyip büyümesinden kaynaklanmaktadır. Temel olarak beton içerisindeki su donduğunda hacmi %9 oranında artar. Bu genişlemenin oluşturduğu gerilmenin betonun çekme dayanımını aşması durumunda betonda harita görünümlü çatlaklar, kabuk atma, ufalanma gibi bozulmalar görülür (Baradan vd., 2010; Rostam, 1983). Şekil 1.6'da donma-çözülme etkisi ile bozulmuş beton elamanları görülmektedir.



Şekil 1.5. Donma-çözülmenin betonarme elamanlar üzerinde etkisi

Beton içindeki suyun donması yavaş ilerleyen bir olaydır. Boşluk çapları ve niteliği, ısının transfer edilme hızı, beton içerisindeki suyun çözülebilir madde yoğunluğu donma hızını etkilemektedir. Donma büyük boşluklardan küçük boşluklara doğru ilerlemektedir. Bunun sebebi küçük boşluklardaki yüzey geriliminin daha fazla olmasıdır (Baradan vd., 2002).

Donma sırasında boşluk yüzeylerinde oluşan enerji beton içindeki suyun donma noktasını düşürmektedir. Beton içindeki boşluk çapları değişken olduğundan suyun donma dereceleri de değişmektedir. Boşluk suyunun yaklaşık üçte biri -30°C 'de donarken üçte ikisi -60°C 'de donmaktadır. Donma sırasında ortam koşulları ve betonun doygunluk derecesi uygun ise suyun önemli bir miktarı buharlaşır. Eğer beton tamamen suya doygun ise buharlaşma gerçekleşmez (Baradan vd., 2010).

Betonun boşluk yapısı ve kritik doygunluk derecesi betonun donmaya karşı dayanıklılığını etkileyen en önemli iki etkidir. Kritik doygunluk derecesinin altındaki betonların donmaya karşı oldukça dayanıklı olduğu söylenebilir. Kuru haldeki betonlar ise donmadan etkilenmezler. Yani betonun donma-çözülme hasarı doygunluk derecesi ile

alakalıdır. Beton kritik doygunluk derecesine gelmedikçe donma-çözülme olayından hasar gördüğü söylenemez. Bu nedenle soğuk iklim koşullarında betonu su emmeyecek şekilde korumak ve beton dökümünü yaz aylarında yaparak taze betonu don olayından korumak betonun dayanımına önemli katkılar sağlayacaktır (Baradan vd., 2010).

Fagerlund betonun suya doygunluk derecesinin etkisini incelemek için bir seri laboratuvar deneyleri yapmış ve buradan kritik doygunluk oranının 0.80'ler mertebesinde olduğunu belirtmiştir (Çopuroğlu, 2006; Fagerlund, 1977; Schulson, 1998).

1.5.3. Betonda Buz Çözücü Tuzların Etkisi

Kış aylarında buz tutan, beton kaldırım ve yollardan buz tabakasını kaldırmak için sıklıkla kalsiyum ve sodyum tuzları kullanılmaktadır. Bu tuzlar betona zarar vermektedir. Bu buz çözücü tuzların verdiği hasar, sadece donma etkisinden kalan betonda oluşan hasardan çok daha şiddetli olmaktadır. Bu hasar fiziksel bir mekanizma kaynaklıdır. Tuzlamayla birlikte bir miktar tuz betonun üst tabakaları tarafından emilir. Bu da osmotik basınç oluşturarak donmanın başladığı en soğuk bölgeye doğru su akımını başlatır. Böylelikle salt donma-çözülme hasarının etkisini arttırmaktadır. Bunun yanında buz tabakasının üzerinde bulunan tuzlar buz tabakasının erimesiyle önemli derecede termal şok etkisi yapar. Yüzeide ve iç bölgede oluşan sıcaklık farkından dolayı yüzey çatlakları meydana gelir. Buz yoğunluğunun beton derinliğince farklı olması farklı zamanlarda donma-çözülme olayına sebep olur. Bu da tabaka veya kabuk halinde bozulmalara sebep olmaktadır. Keza betonarme donatıları klorür korozyonuna maruz kalmaktadır. Böylece buz çözücü tuzları betonla birlikte donatılara da zarar vermektedir (Yalçınkaya, 2009).

Buz çözücü tuzların oluşturduğu hasar betondaki boşluk karakteristiği ile doğrudan ilişkilidir. Hava sürüklenmiş beton bağımsız ve küresel küçük boşluklar içerdiğinden bu kimyasallara karşı daha dayanıklıdır. Boşluk çapları küçüldükçe tuzlu suların donma noktası yalın suyun donma noktasına yaklaşmaktadır. Diğer bir deyişle boşluk çapı küçüldükçe tuzların donma noktasını düşürücü etkisi azalmaktadır. Bu da küçülen boşluk çapı ile daha geçirimsiz ve tuzlara dayanıklı bir beton tasarımının sağlanabileceği anlamına gelmektedir (Baradan, 2002; Yalçınkaya, 2009).

1.5.4. Polimerle İyileştirilmiş Betonda Donma-Çözülme Etkisi

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. (Ohama, 1997; Fowler, 1999). Beton içerisindeki su donmaya başladığında genleşen su kapiler boşluklardan dışarıya çıkmaya zorlanmaktadır. Hava boşlukları dışarıya çıkmaya zorlanan suyu içine alarak bir nevi emniyet supabı görevi görmektedir. Bu hava boşlukları donma sonucunda oluşan hidrolik basınç etkisini azaltmakta ve beton içerisindeki gerilmenin üst mertebelere çıkmasını önlemektedir. Böylece donma çözülme hasarını azaltmaktadır (Erdoğan, 2003; Powders, 1945; Powders ve Helmut, 1953; Powders ve Brownard, 1947). Polimerler beton içine bağdaşık olarak katıldığında çekme etkisine katkıları sebebiyle donma sırasında ortaya çıkan iç gerilmeleri azaltabilecek bir görev üstlenebilirler.

1.5.6. Donma-Çözülme Dayanıklılığını Etkileyen Unsurlara Genel Bakış

Donma-çözülme dayanıklılığını birçok unsur etkilemektedir. Genel anlamda betonun donma-çözülme dayanıklılığı, geçirimsizlik ve uygun hava boşluğu ile doğrudan ilişkilidir. Doygunluk derecesi kritik doyumluk derecesinin (%80) üstüne çıkmadıkça donma-çözülmeden pek etkilenmez. Hava sürüklenmesi ise hasarı en aza indirmektedir. Polimer katkıların çatlakları sınırladığı ve dağılmayı geciktirdikleri bilinmektedir. Bunlarla birlikte kompoziti oluşturan malzemelerin donma dayanıklılığı matrisin geçirimsizliğine bağlı olarak donma-çözülme direncini etkilemektedir. Donma olayının beton özelliklerine etkisinin donma hızı, sıcaklık düzeyi, donma süresi vb. değişkenlere bağlı olarak geliştiği görülmektedir. Donma-çözülme dayanıklılığını etkileyen genel unsurlar Tablo 1.3.'te özetlenmiştir (Yalçınkaya, 2009).

Tablo 1.6. Betonun donma-çözülme dayanıklılığını etkileyen unsurlar (Yalçinkaya, 2009)

İç Faktörler	Dış Faktörler
S/Ç oranı (birincil etki)	Doygunluk Derecesi (birincil etki)
Sürüklenmiş Hava (birincil etki)	Donma Hızı
Agrega	En Düşük Sıcaklık
Çimento Türü	Donmada Bekleme Süresi
Akışkanlaştırıcı katkıları	Kür Sıcaklığı
Alkaliler	Geçirimsizlik sağlayıcılar
Viskozite Artırıcı Kimyasallar	Uygulanan Yük
Lateks Katkısı	
Lif Katkıları	

1.6. Polimerle İyileştirilmiş Beton ve Harçlar ile İlgili Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Yangrong vd., 2012 yılında yaptığı bir çalışmada; beton harçları içerisinde Lateks oranının %3'ten daha fazla olması durumunda betonun boşluklu yapısının azaldığını ve geçirimsizliğinin ise arttığını tespit etmişlerdir.

Ramli vd., 2013 yılında yaptıkları çalışmada 3 farklı polimer (SBR (Stiren Butadien Rubber, PAE (Poly Acrylic Ester) ve VAE (Vinil Asetat Ethylene)) kullanarak beton 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 porozitesinin 5 kat daha küçük çıktığı gözlemlenmiştir.

Bae vd., 2012 yılında yaptıkları çalışmada lateks katkı malzemesi kullanımı ile betonda çatlaklara sebep olmadan 1.49 mm kalınlığında elastik bir tabaka oluşturarak betonun su geçirimsizlik özelliğini oldukça geliştirmiştir.

2001 yılında yaptıkları bir çalışmada Bureau vd., polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarında polimer malzemenin geçirimsizlik özelliğini kullanarak donma-çözülme direncine karşı dayanıklılı betonlar elde etmişlerdir.

İki farklı polimer/çimento oranı kullanarak polimerle iyileştirilmiş beton kaplaması hazırlayan Diamanti vd. (2013), bu numunelerin su geçirimsizliklerini incelemiştir. Yaptıkları deneyler sonucunda ıslak kür koşulunda polimerle iyileştirmenin, çimento kaplamalarının su geçirimsizliğini oldukça azalttığı görülmüştür.

Keampfer vd., 1998 yılında yaptıkları bir çalışmada, geleneksel betonlar ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının laktik asit ve sülfürik asit gibi zararlı sıvılara karşı dirençlerini karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışmalar sonunda polimerle iyileştirilmiş harçların bu zararlı sıvılara karşı oldukça yüksek dirençte olduğunu gözlemlemişlerdir.

Mirza vd., 2002 yılında yaptıkları bir çalışmada çimento hamurunda lateks kullanarak eğilme ve çekme dayanımında büyük oranda artış elde etmişlerdir. Fakat kullanılan lateks oranının arttırdıklarında basınç dayanımında istenmeyen düşüşler tespit etmişlerdir.

Yun vd., 2012 yılında yaptıkları bir çalışmada lateks kullanılan betonun eğilme dayanımında, düşük S/Ç oranı ve betonda oluşan plastik film tabakaları sayesinde artışlar olduğunu tespit etmişlerdir. Daha sonra artan lateks oranlarında eğilme dayanımının da arttığını gözlemlemişlerdir.

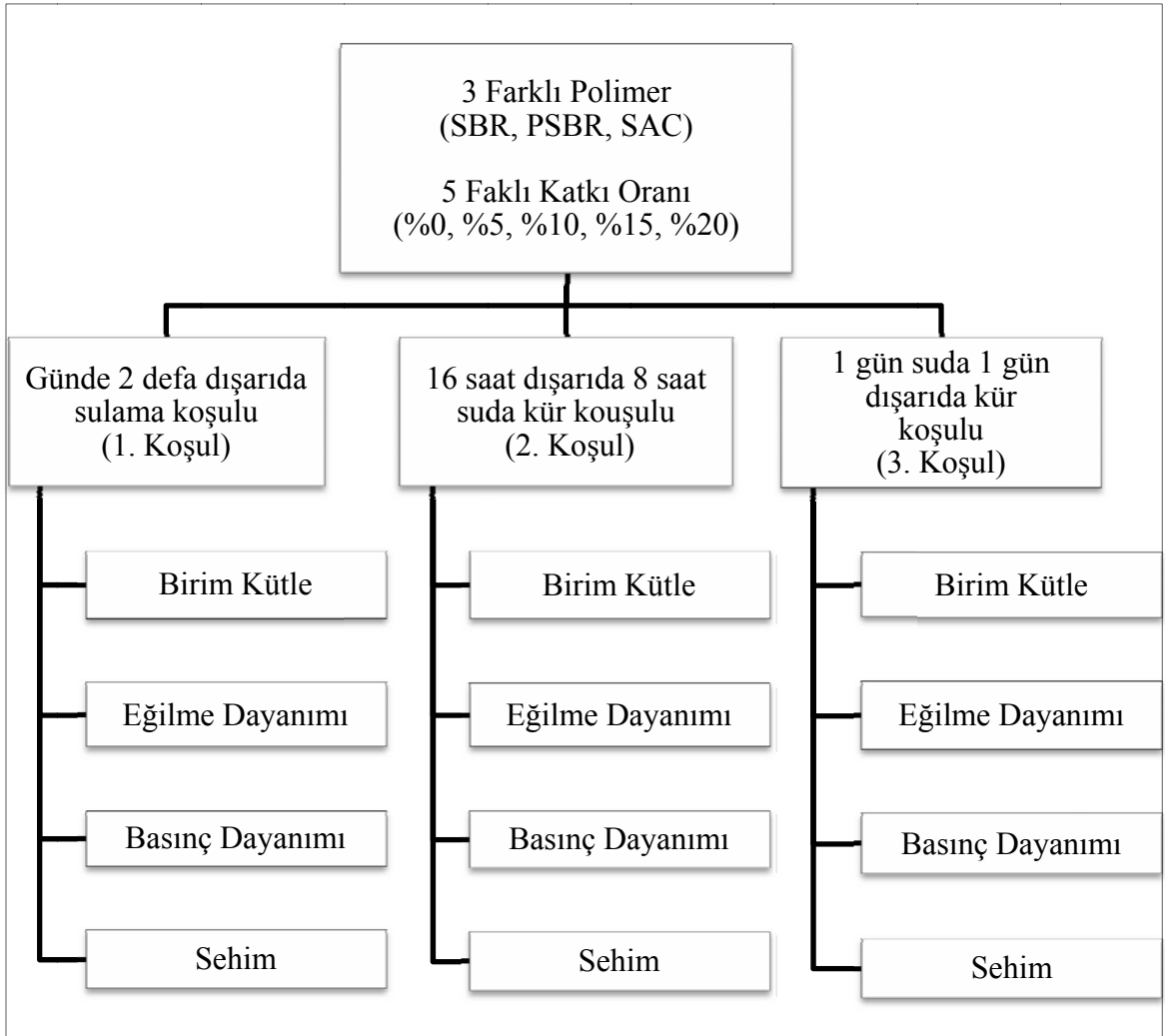
Kurbetci vd., 2012 yılında yaptıkları bir çalışmada çimento hamurunda SBR lateksi kullanılması durumunda, uçucu kül kullanımı olmaksızın çimento harçlarının su emme özelliğinde önemli derecede düşüş olduğunu tespit etmişlerdir.

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 basınç dayanımlarını incelemişlerdir. Deneyler sonucunda polimer oranı arttıkça basınç dayanımında bir azalma görülmüştür. Ancak kür süreleri kıyaslandığında kür süresi arttıkça basınç dayanımında bir artış gözlemlenmiştir.

2. MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DENEYSEL YÖNTEM

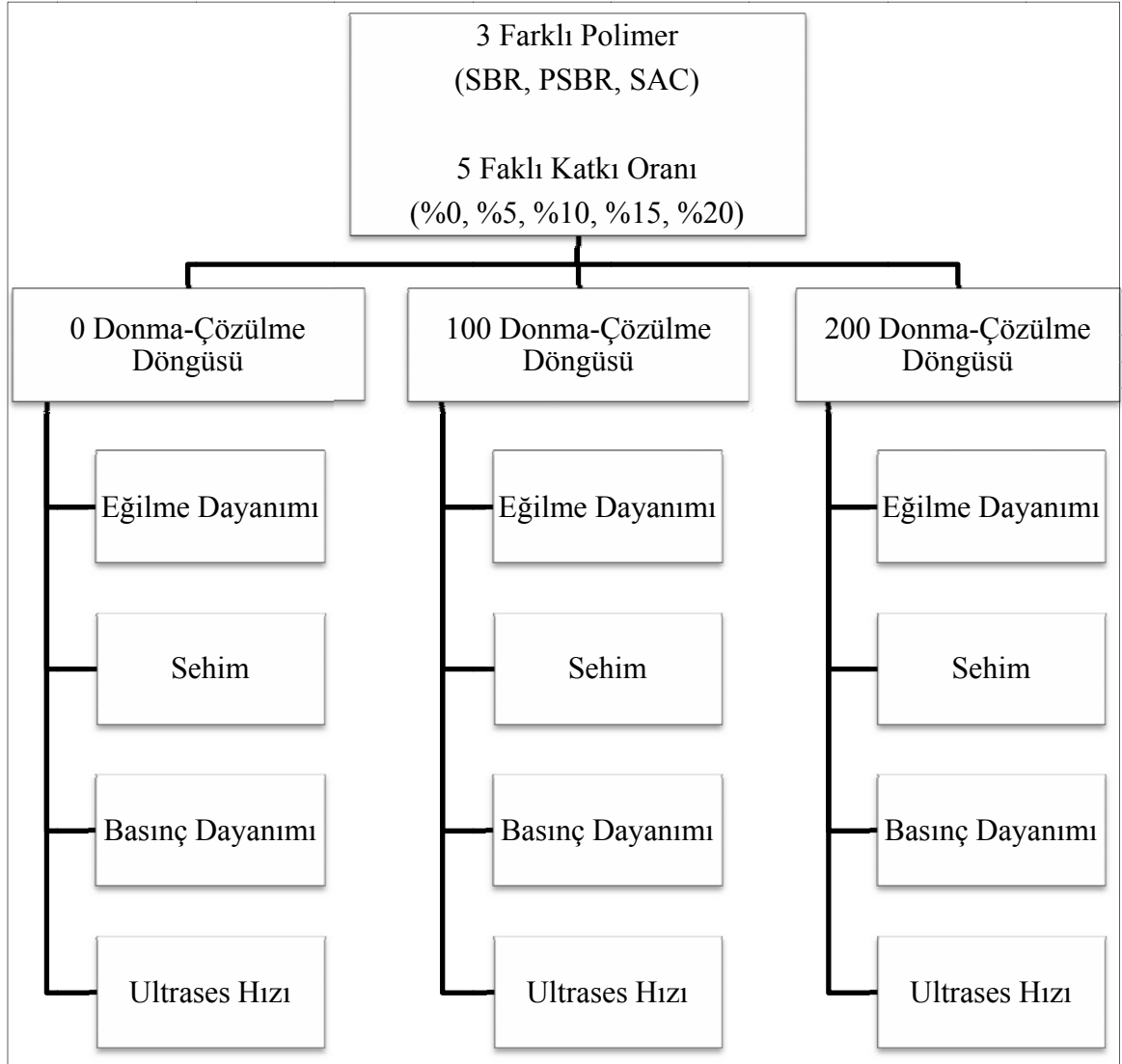
2.1. Deney Yönergesi

İki kısımdan oluşan bu çalışmanın ilk kısmında 3 farklı polimer (SBR, PSBR, SAC) 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, 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 Birinci kısım deney yönerge şeması

Çalışmanın ikinci kısmında 3 farklı polimer (SBR, PSBR, SAC) çimento harçlarına 5 farklı katkı oranında (%0, %5, %10, %15 ve %20) katılarak 3 (0, 100, 200) farklı donma-çözülme döngüsü için numuneler hazırlanmıştır. Bu numuneler ilk kısımda belirlenen en uygun kür koşulu ile 28 gün boyunca kür edilmiştir. Kür işleminden sonra her bir donma-çözülme döngüsü için hazırlanan numuneler deney uygulaması için donma-çözülme aletine yerleştirilmiştir ve döngü sayısı kadar donma-çözölmeye tabi tutulmuştur. Donma-çözölme döngüleri bittikten sonra polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının mekanik özellikleri ve ultrases hızı incelenmiştir. Bu amaca yönelik olarak 2. Kısım deney yönergesi (Şekil 2.2) tasarlanmıştır.



Şekil 2.2. İkinci 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 standarttır. 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, harç numunelerine beşer farklı hacim oranında (%0, %5, %10, %15 ve %20) SBR, PSBR, ve SAC polimer ilaveleri yapılmıştır. Polimer ilavesi 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 sn süreyle karıştırılır.



Şekil 2.3. Özel tasarım çimento harç karıştırıcısı

Hazırlanan harç bekletilmeden kalıplara doldurulup sıkıştırılır. Bu işlem iki aşamada gerçekleştirilir. İlk aşamada bir miktar harç üçlü prizma kalıba konulup kalıba yayılarak, titreşim masasında yeterli bir süre (polimer oranına bağlı olarak 2-5 dakika) sıkıştırılır. Daha sonra yaka kaldırılıp, kalıbın yüzeyi sıyrılarak, düzeltilir (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 ± 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 (Şekil 2.5).

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.



Şekil 2.5. Numunelerin 1. Koşulda kür edilmesi

2.3. Deneylerin Uygulanması

Hazırlanan numuneler farklı kür koşullarında bekletildikten sonra iki deneye tabi tutulmuştur. Bunlar eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleridir. Eğilme deneyi sırasında numunelerin kırılmada yaptığı sehim de ayrıca belirtilmiştir. Daha sonraki işlemlerde ise numunelerin fiziksel özelliklerinin değişimi incelenmiştir. İlk kısım deneyleri uygulanıp en uygun kür koşulu belirlendikten sonra donma-çözülme deneylerini kapsayan ikinci kısma geçilmiştir. İkinci kısmın sonunda donam-çözölmeye 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 2.6) 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 ± 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 2.6. 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. Sehım Ölçümü

Polimer katkısı ile numunelerin sehım değerlerindeki değışimlerin incelenmesi amacıyla bu değerler tespit edilmiştir. Eğilme cihazı şekil değıştirme kontrol donanımına sahip olmadığından bu işlem bir dijital şekil değıştirme ölçer (ekstansometre) yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

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 ± 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 kırılıncaya 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/mm²),

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

1600; Plâkaların veya yardımcı plâkaların (40 mm × 40 mm) alanı (mm²)'dir.

2.3.4. Donma-Çözülme Döngüleri

Birinci kısımda belirlenen kür şartı ile kür edildikten sonra TS 699'a uygun olarak numuneler üzerinde donma-çözülme deneyi yapılmıştır. Donma-çözülme deney aletinin çalışma prensibi Tablo 2.3.'de verilmiştir. Donma çözülme aletinde numuneler 3 farklı (0, 100, 200) çevrime maruz bırakılmıştır (Şekil 2.8). Tablo 2.2.'den de anlaşılacağı üzere her bir döngü yaklaşık 6½ saat gibi bir süreç aldığından 100 ve 200 döngünün tamamlanması 27 ve 54 günlük bir süreci kapsamaktadır. Henüz hidratasyonu nihai anlamda tamamlanmamış olan çimento harçlarında 27 ve 54 günlük dayanım farkının önemli

değerlere ulaşacağı açıktır. Bunun önüne geçebilmek için her döngü sonunda ilgili numuneler donma-çözülme cihazından alınarak diğer numunelerin döngü süreci tamamlanana kadar 1. Kür koşulunda beklemeye alınmıştır.



Şekil 2.8. Numunelerin donma-çözülme aletine yerleştirilmesi

Tablo 2.2. Bir çevrim için geçen süre ve sıcaklık değerleri

1 çevrim için;		
Set sayısı	Sıcaklık °C	Zaman(dk)
1.set	20	1
2.set	-15	5
3.set	-16	5
4.set	-17	5
5.set	-18	5
6.set	-20	90
7.set	-20	121
Su al bekle	20	120
Su boşalt	-	25

Donma-çözülme döngülerinin bittikten sonra numunelerin mekanik özelliklerinin değişimi gözlemlenmiştir. Mekanik özelliklerin değişiminin incelenmesi için yapılan deneyler birinci kısım ile aynı şekilde yapılmıştır. Bunun yanı sıra donma-çözülme döngülerine maruz kalan numunelerin ultrasonik ses hızları ölçülmüştür.

2.3.5. Ultrases Hızı Deneyi

Bu yöntemde, Şekil 2.9'deki 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 donma-çözülme döngüsü 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:

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

Burada;

V ; Ses üstü dalga hızı (km/sn),

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

t ; Ses üstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı diğer yüzeye kadar geçen zaman (mikro saniye) (Erdoğan, 2003; ASTM C 597, 1994; Yonar vd., 2013).



Şekil 2.9. Ultrasonik test cihazı

2.3.6. Numune Kütlesinin 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 kefi 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 (2.3) kullanılarak hesaplanır:

$$V = \frac{m_a - [(m_{st} + m_w) - m_{st}]}{\rho_w} \quad (2.3)$$

Burada;

$$\rho_c = \frac{m_a}{V} \quad (2.4)$$

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)

ρ_w ; suyun 998 kg/ m^3 olarak kabul edilen, 20 °C sıcaklıktaki yoğunluğudur.

ρ_c ; numunenin birim kütlesi (g/ cm^3)

2.3.7. Su İşleme Derinliği Tayini Deneyi

Su işleme derinliği 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 tayini cihazına üzerli gruplar halinde (Şekil 2.10) yerleştirilmiştir.



Şekil 2.10. Su işleme derinliği deneyi

Numuneler 72 saat boyunca 5 Bar basınç altında geçirimsizlik aletinde bekletilmiştir. Daha sonra suyun numuneler içindeki ilerleme miktarını bulmak için yarmada-çekme deneyi yapılmıştır ve kırılan numunelerin iç yüzeyi incelenerek suyun işleme derinliği tespit edilmiştir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. 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”nda ve “Optik Mineraloji Laboratuvarı”nda gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan 0.02 mm kalınlığındaki ince kesit örnekleri ise “Leica DM-EP” marka polarizon mikroskop yardımıyla incelemeden geçirilmiştir.

Söz konusu örneklerde özellikle hamur yapıları ve hamur içerisindeki boşluklarda polimer oluşumları 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 CaO/SiO_2 oranı 2.0'den az olmamalıdır. MgO muhtevası kütlece % 5'den fazla olmamalıdır (TS EN 197-1, 2002).

Deneyler sırasında Aşkale Çimento Fabrikası tarafından üretilen CEM I 42.5 R türü çimento kullanılmıştır. Bu çimentonun kimyasal özellikleri (Tablo 2.3)'te verilmektedir. Bu Çizelgede görüldüğü gibi MgO oranı standartta belirtilen sınırın oldukça altında kalmakta ve CaO/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 2.3. CEM 42.5 R tipi çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Analiz (%)		Özgül Yüzey (cm ² /g)	4050
SiO ₂	21.21	Katılma Başlangıcı (dak.)	140
Al ₂ O ₃	3.23	Katılma Sonu (dak.)	195
Fe ₂ O ₃	1.37	Özgül Kütle (g/cm ³)	3.08
CaO	60.44	Le Chatelier Genleşmesi (mm)	2
MgO	3.51	Basınç Dayanımı (MPa)	
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 2.4'te verilen sınırlar içerisinde olmalıdır. CEN standart kumu her tanecik büyüklüğüne göre ayrı ayrı veya önceden karıştırılmış deneye hazır halde 1350 g'lık torbalar içinde hazır bulunmaktadır.

Tablo 2.4. 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 beketme, dinlendirme gibi işlemlere tabi tutulmadan şebekeden alındığı gibi kullanılmıştır.

2.4.4. Polimer Katkı Malzemeleri

Çalışmada 3 farklı tür polimer katkı malzemesi kullanılmıştır. Bunlar çalışmada SBR, PSBR, SAC olarak isimlendirilmiş olup kimyasal ve teknik özellikleri Tablo 2.5 de verilmiştir. 3 farklı polimer malzeme ve akışkanlıkları Şekil 2. de gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Kullanılan polimerlere ait teknik özellikler

Teknik özellikler	Katkı malzemeleri		
	SBR	PSBR	SAC
Görünüm/Renk	Sıvı/ Açık mavimsi-beyaz	Sıvı/ Açık mavimsi	Akışkan/ Beyaz
pH (23°C)	8	6.0 ± 1.0	6 - 9
Katı Madde İçeriği (%)	48.5	48	50 ± 1
Partikül Boyutu (Mikron)	0.15	0.15 - 0.20	0.2 - 0.5
Özgül Kütle (g/ml)	1.01	1.01 - 1.04	1.01 - 1.1
Polimer Filminin Çekme Dayanımı (N/mm ²)	6	-	-
Polimer Filminin Boyuna Uzaması (%)	1000	-	-
Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C)	-5	-	--



Stiren Akrilik Kopolimer (SAC)



Poli Stiren Bütadiyen Kauçuğu



Stiren Bütadiyen Kauçuğu (SBR)

Şekil 2.12. Deneylerde kullanılan polimer malzemeler

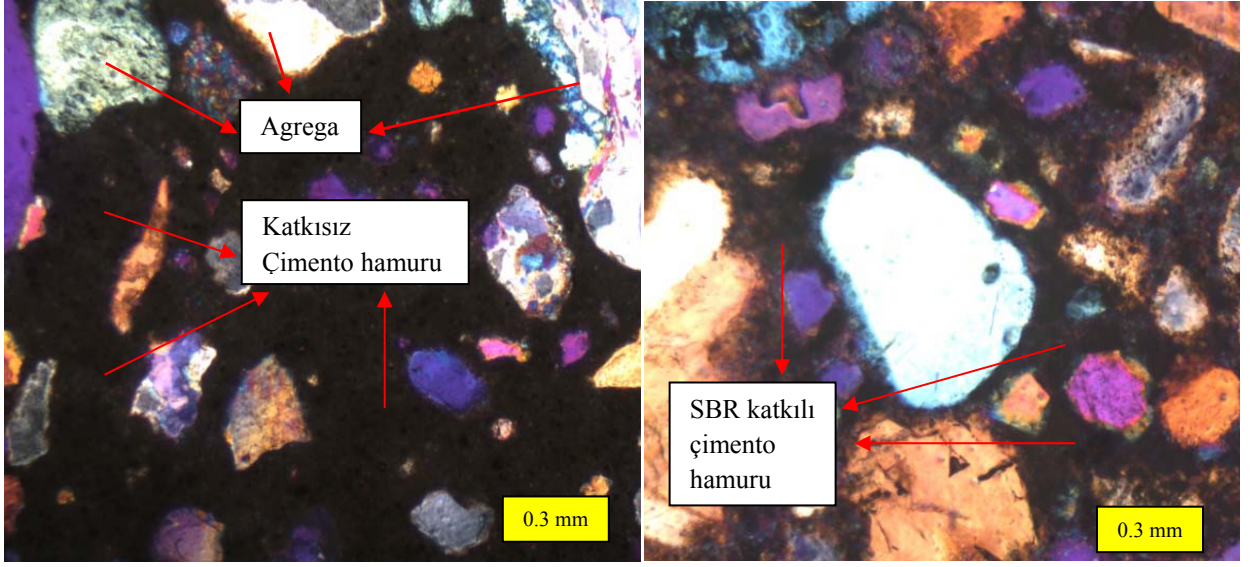
3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Çalışmanın amacına uygun olarak birinci kısımda farklı oranlarda polimer malzemeler harca eklenerek öncelikle bu katkıların çimento harçlarının fiziksel özelliklerine etkisi irdelenmiş, daha sonra mekanik özellikler bakımından en uygun kür koşulu ile en uygun polimer oranları bulunmuştur. Son aşamada ise en uygun kür koşulu ve polimer katkı oranlarına bağlı olarak numunelerin donma-çözülme etkisi altındaki mekanik özelliklerindeki değişim incelenmiştir.

3.1. Polimer Katkısının Harçların Fiziksel Özelliklerine Etkisi

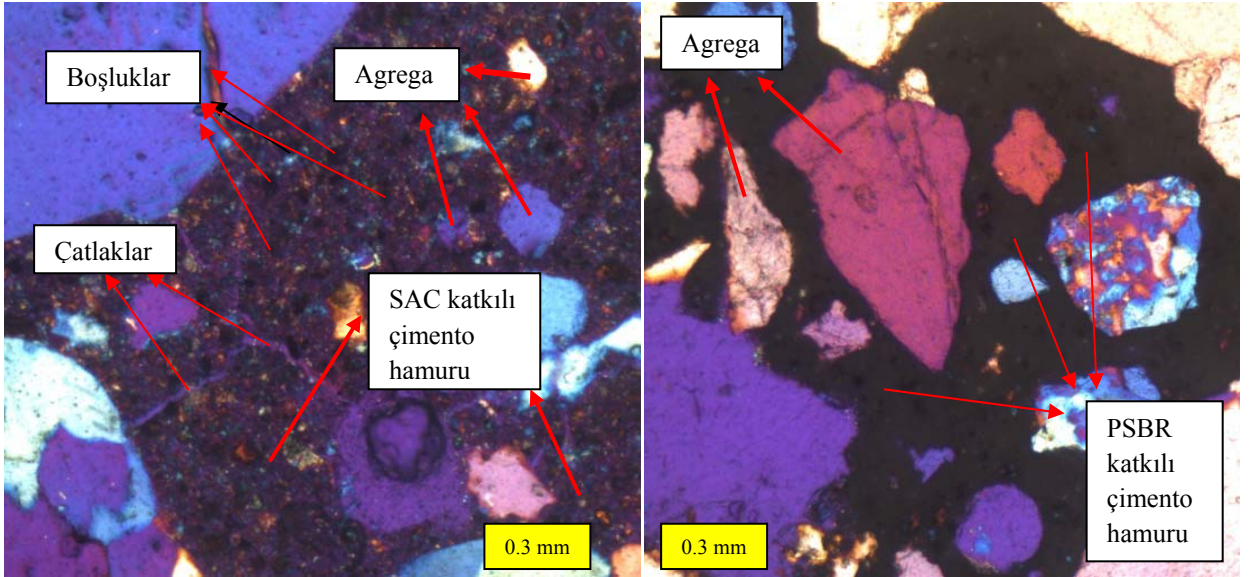
3.1.1. Polimerle İyileştirilmiş Çimento Harçlarının Petrografik Özellikleri

Numunelerden alınan ince kesit örneklerinde, polimer katkısının çimento hamuru içerisindeki dağılımı Şekil 3.1’de görülmektedir. Yapılan gözlemler sonucunda SBR ve PSBR içeren örneklerdeki renk değişimi polimerlerin harç içinde homojen dağıldığı yönünde önemli bir ipucu vermektedir. SBR ve PSBR katkılı numunelerin hem homojen dağılımı hem de boşluksuz ve çatlaksız kompozit yapısından dolayı çimento hamurlarına fiziksel ve mekanik yönden katkılar sağlamıştır. PSBR ve PSBR katkılı numunelerin çatlaksız ve daha az boşluklu yapısı sayesinde özellikle çimento hamurunun su emme ve su geçirimsizlik özellikleri geleneksel betona göre oldukça olumlu sonuçlar vermiştir. SAC katkılı numunelerde katkısız numunelerle kıyaslandığında çok boşluklu bir yapı oluşurken bunun yanı sıra mikro düzeyde çatlaklar oluşmuştur. Kontrol numuneleri, SBR ve PSBR katkılı numunelerde gözlenmeyen bu çatlaklar çimento harcının hem fiziksel hem de mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemiştir. Ayrıca köpük önleyici katkı maddesi kullanılmadığı için numunelerde hava boşlukları oluşmuş ve bu da özellikle SAC katkılı numunelerde önemli basınç dayanımı düşüşlerine sebep olmuştur.



Kontrol numunesi

SBR katkıli Numune



SAC katkıli numune

PSBR katkıli numune

Şekil 3.1. Numunelerin ince kesit görünüşleri

3.1.2. Polimer Katkısının, Harçların Birim Kütlesine Etkisi

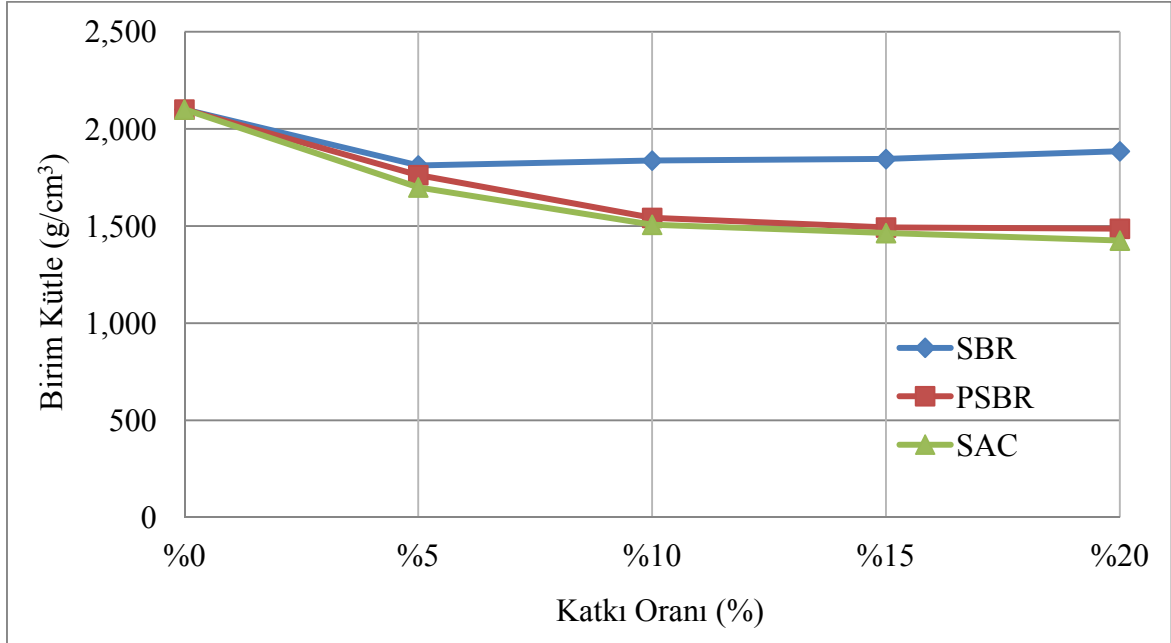
Birim kütle değişimlerinin incelenmesi için 3 farklı polimer (SBR, PSBR, SAC) ve 5 farklı katkı oranında (%0, %5, %10, %15, %20) çimento harcına katılarak değişim gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda numunelerin birim kütle değişimleri Tablo 3.1 ve Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Polimer katkılı numunelerin birim kütle değerleri

Polimer Katkı Oranı (%)	Birim Kütle (g/cm ³)		
	SBR	PSBR	SAC
0	2.100	2.100	2.100
5	1.812	1.762	1.699
10	1.837	1.542	1.507
15	1.845	1.493	1.464
20	1.885	1.486	1.425

Yapılan deneyler sonucu kontrol numunelerinin (%0) birim kütle değeri 2.10 g/cm³ olarak ölçülmüştür. SBR polimer katkısının %5 oranında katılması halinde birim kütle değeri 1.812 g/cm³ olarak ölçülmüştür kontrol numunelerinden %13,7 oranında daha az çıkmıştır. SBR katkısının %10 ve %15 oranında katılması halinde ise birim kütle değerleri 1.837-1.845 g/cm³ olarak ölçülmüş olup bu iki katkı oranı oldukça yakın sonuçlar vermiştir ve yaklaşık %12 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR polimer katkısının %20 oranında katılması halinde ise birim kütle değeri 1.885 g/cm³'ye gerilemiştir ve %10 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. Ayrıca %5 SBR ilavesinden sonra işlenebilirlik arttığı için birim kütle de artmıştır. Boşluk oranı ve süreksizlikteki bu azalma da basınç dayanımına olumlu yönde etki sağlar. PSBR polimer katkı malzemesinin artan oranlarında birim kütle değeri düşen bir izlem göstererek aralarında ters bir ilişki gözlemlenmiştir. PSBR polimer katkı malzemesinin %5 oranında kullanılması halinde birim kütle değeri 1.762 g/cm³ olarak ölçülmüştür ve %16 oranında düşüş gözlemlenmiştir. PSBR katkısı %10 oranında katıldığında birim kütle değeri 1.542 g/cm³'ye düşerek %26 oranında azalma gözlemlenmiştir. PSBR polimer katkısının %15 oranında katılması halinde ise birim kütle değeri 1.493 g/cm³ ölçülerek %28 azalma kayıt edilmiştir. Son olarak PSBR katkısının %20 oranında katılması halinde ise birim kütle değeri 1.486 g/cm³ ölçülmüştür ve %29 oranında ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir. SAC katkı malzemesi oranlarındaki artış ile birim kütle değeri arasında ters ilişki gözlemlenmiştir. SAC polimer katkı malzemesi %5 oranında kullanıldığında birim kütle değeri 1.699 g/cm³'ye düşmüştür ve %19 oranında bir azalma meydana gelmiştir. SAC katkı malzemesinin %10 oranında katılması halinde birim kütle değeri 1.507 g/cm³ olarak ölçülmüş olup %28'lik bir düşüş gözlemlenmiştir. SAC katkısının %15 oranında katılması halinde birim kütle değeri azalmaya devam ederek 1.464 g/cm³ değerinde ölçülmüş olup %30 oranında ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir. SAC

polimer katkısının %20 oranında kullanılması halinde ise en düşük birim kütle değeri ölçülmüş olup bu değer 1.425 g/cm^3 'tür ve kontrol numunelerinden %32 oranında daha az çıkmıştır.



Şekil 3.2. Polimer katkı malzemesi ile birim kütle arasındaki ilişki

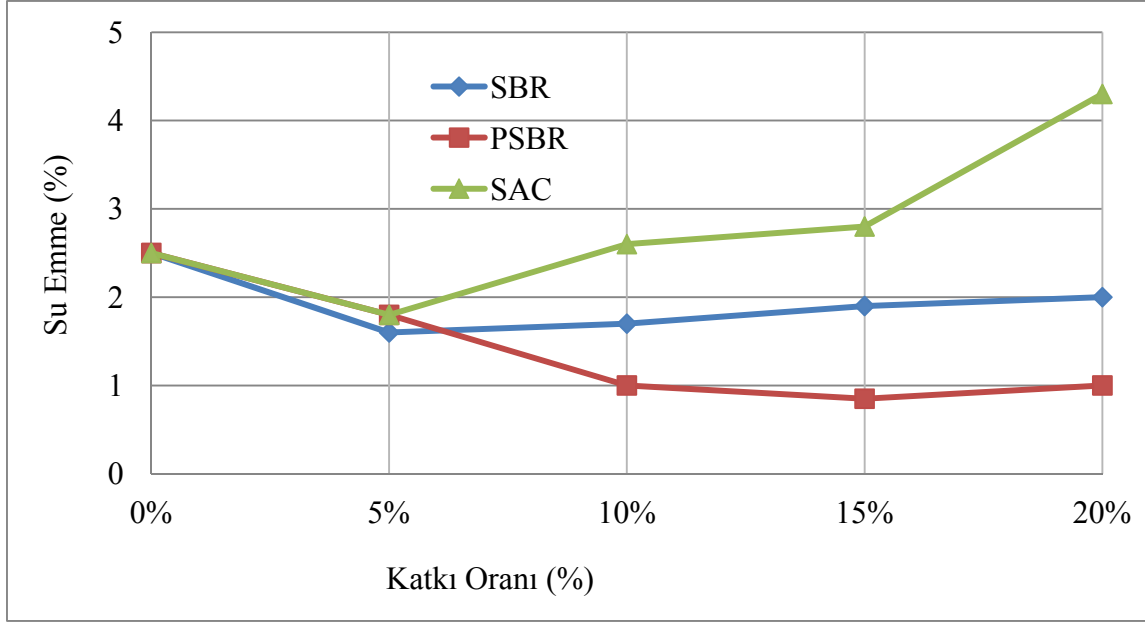
3.1.3. Polimer Katkısının, Harçların Su Emme Özelliklerine Etkisi

Su emme oranlarının değişimlerinin incelenmesi için 3 farklı polimer (SBR, PSBR ve SAC) ve 5 farklı katkı oranda (%0, %5, %10, %15, %20) çimento harcına katılarak, değişim gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda numunelerin su emme değerleri Tablo 3.2 ve Şekil 3.3'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Polimer katkılı numunelerin su emme değerleri

Polimer Katkı Oranı (%)	Su Emme (%)		
	PSBR	SBR	SAC
0	2.50	2.50	2.50
5	1.80	1.60	1.80
10	1.00	1.70	2.60
15	0.85	1.90	2.80
20	1.10	2.00	4.30

Su emme oranı kontrol numuneleri için %2.5 olarak belirlenmiştir. PSBR katkısının %5 oranında katılması halinde su emme oranı %1.8 çıkmıştır ve %28 oranında düşüş gözlemlenmiştir. PSBR katkısının %10 ve %15 katkılarında su emme oranı %1.0 ve %0.85 çıkarak birbirlerine yakın değer vermiştir ve %60-65 oranında çok büyük bir düşüş oluşmuştur. PSBR katkısının %20 oranında kullanılması halinde ise su emme oranı %1.1 çıkmıştır ve %56 oranında ciddi bir düşüş meydana gelmiştir. SBR katkısının %5 ve %10 oranlarında katılması halinde su emme oranları %1.6 ve 1.7 ölçülerek oldukça yakın sonuçlar elde edilmiştir ve 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 edilmiştir ve %20-24 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SAC katkı malzemesinin %5 oranında kullanılması halinde su emme oranı %1.8 çıkmıştır ve %28 oranında bir azalma kayıt edilmiştir. SAC katkısının %10 oranında kullanılması halinde su emme oranı ilk kez artan bir izlem göstermiştir ve %2.6 oranında çıkmıştır ve %3.8 oranında bir artış gözlemlenmiştir. SAC katkısının %15 oranında kullanılması halinde ise su emme oranı %2.8 ölçülmüş olup %10.7 oranına bir artış meydana gelmiştir. Son olarak SAC katkısının %20 oranında kullanılması halinde su emme oranı %4.3 olarak ölçülmüştür ve %42 oranına ciddi bir artış gözlemlenmiştir. Su emme özelliğine genel olarak bakıldığında en ideal sonucu %0.85'lik oranla PSBR polimer katkı malzemesinin %15 oranında elde edilmiştir. SAC polimer katkı malzemesinin artan oranlarında ise su emme artarak istenmeyen sonuçlar elde edilmiştir. Petrografik incelemelerden de (Şekil 3.1) anlaşılacağı üzere SAC katkısı içeren numunelerde mikroskopla tespit edilebilen mikro çatlaklar su emme ve su işleme derinliği miktarlarını önemli derecede artırmaktadır.



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

3.1.4. Polimer Katkısının, Harçların Su İşleme Derinliğine Etkisi

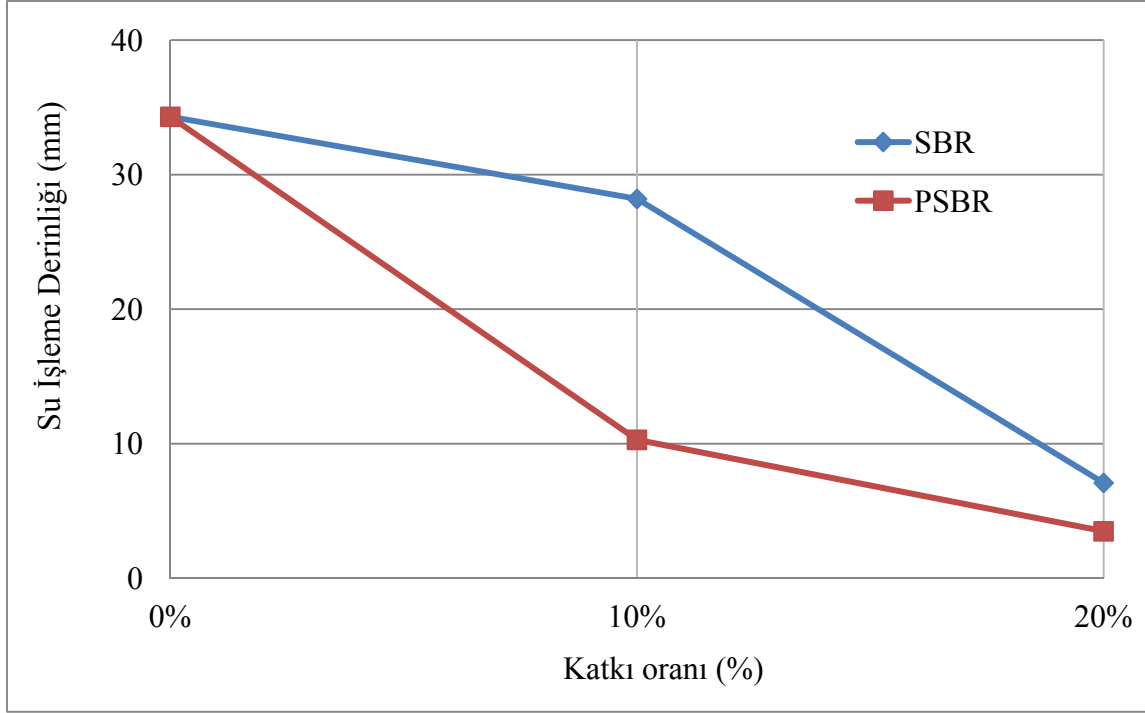
3 farklı polimer ve 3 farklı katkı oranı (%0, %10, %20) ile üretilen numuneler deney düzeneğinde 72 saat boyunca bekletildikten sonra kırımı yapılarak suyun numuneler içinde ilerleme miktarı cetvelle ölçülerek değişimleri Tablo 3.3’de ve Şekil 3.4’te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Polimer katkılı numunelerin su işleme derinliği değerleri

Polimer Katkı Oranı (%)	Su İşleme Derinliği (mm)		
	PSBR	SBR	SAC
0	34.3	34.3	34.3
10	10.3	28.2	X
20	3.5	7.1	X

Yapılan deneyler sonucu kontrol numunelerinin (%0) ilerleme miktarı 34.3 mm olarak ölçülmüştür. PSBR polimer katkısı %10 oranında kullanıldığında geçirimsizlik değeri 10.3 mm olarak ölçülmüştür ve su ilerleme miktarı kontrol numunelerinde %69 daha az ölçülmüştür. PSBR katkısının % 20 oranında katılması halinde ise su işleme derinliği deneylerinde en düşük değer olan 3.5 mm elde edilmiştir ve kontrol numunelerinde %89 daha az bir su ilerleme miktarı gözlemlenmiştir. SBR polimer katkısının %10 oranında

katılması halinde katılması halinde su işleme derinliği değeri 28.2 mm olarak ölçülmüştür ve su ilerleme miktarı kontrol numunelerinde %17 daha az çıkmıştır. SBR katkı malzemesinin %20 oranında katılması halinde ise su işleme derinliği değeri 7.1 mm olarak ölçülmüş olup %79 oranında büyük bir düşüş gözlemlenmiştir.



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

SAC katkısı ile üretilen numuneler ise deney başladığı anda numunenin yüzeyinden su sızdırma izlemi gözlemlenmiştir ve deney süreci ilerleyememiştir (Şekil 3.4). Yukarıda da ifade edildiği üzere, SAC katkısı içeren numunelerde mikroskopla tespit edilebilen mikro çatlaklar su emme ve su işleme derinliği miktarlarını önemli derecede artırmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.5. SAC katkılı numunenin su işleme derinliği deneyi sırasındaki davranışı

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 esasları 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

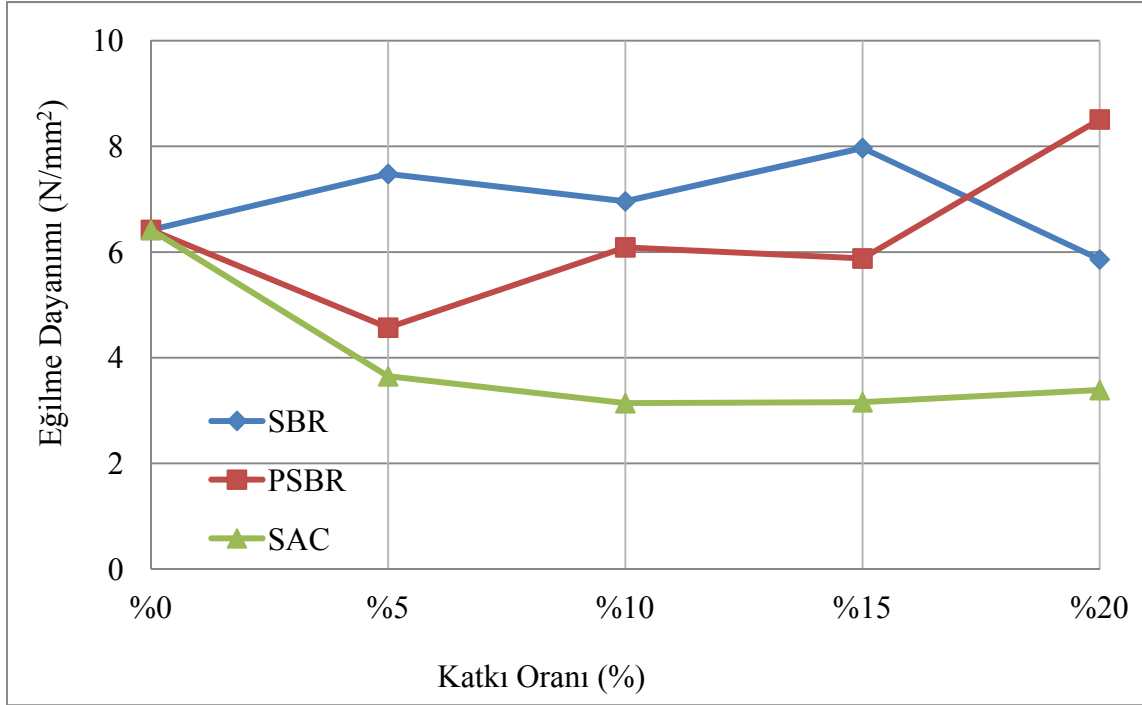
3 farklı kür koşuluna tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda, kür koşullarının polimerle iyileştirilmiş harçların eğilme dayanımına etkisi Tablo 3.4'de gösterilmiştir. 3 farklı kür koşulu için polimerle iyileştirilmiş harçların eğilme dayanımlarının değişimi Şekil 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.4. Polimerle iyileştirilmiş harçlarda, kür koşullarının eğilme dayanımına etkisi

Katkı Oranı (%)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)								
	1. kür koşulu			2. kür koşulu			3. kür koşulu		
	SBR	PSBR	SAC	SBR	PSBR	SAC	SBR	PSBR	SAC
0	6.42	6.42	6.42	6.24	6.24	6.24	6.75	6.75	6.75
5	7.48	4.57	3.65	7.03	3.84	3.61	6.78	5.15	3.93
10	6.96	6.09	3.14	5.95	5.71	3.42	6.77	7.49	3.75
15	7.97	5.88	3.16	5.84	5.03	3.27	5.77	3.79	3.7
20	5.86	8.51	3.39	5.74	5.66	3.14	4.99	5.19	3.3

1. Kür koşulu için eğilme dayanımı ile polimer katkı oranı arasındaki ilişki Şekil 3.6'da verilmiştir. Polimer malzemenin kuru ortamda polimerleşme özelliğinden dolayı, su ile en az temas eden 1. Kür koşulunda eğilme dayanımlarında kontrol numunelerine göre bir miktar artış olmuştur. Fakat bu artış beklenildiği gibi tüm numunelerde olmamıştır. Özellikle SAC neredeyse hiçbir katkı oranında olumlu sonuç vermemiştir. Bu katkı malzemesi %15 oranında katılması halinde eğilme dayanımı 6.42 N/mm²'den 3.14 N/mm²'ye düşerek yaklaşık %40'lara varan bir düşüş sergilemiş olup 1. kür koşulunda kaydedilen en büyük düşüş miktarı olmuştur. PSBR katkı malzemelerinin %20 oranında katıldığında eğilme dayanımları 6.42 N/mm²'den 8.51N/mm²'ye yükselerek %25 oranında bir artış meydana gelmiştir. Bu artış miktarı ise 1. Kür koşulu için en büyük eğilme dayanımı miktarı olmuştur. PSBR polimer katkı malzemesi için %5 ve %15 katkı oranlarında eğilme dayanımında düşüş gözlemlenirken %10 ve % 20 katkı oranlarında ise artış gözlemlenmiştir. SBR polimer katkı malzemesi %15 oranında katıldığında eğilme

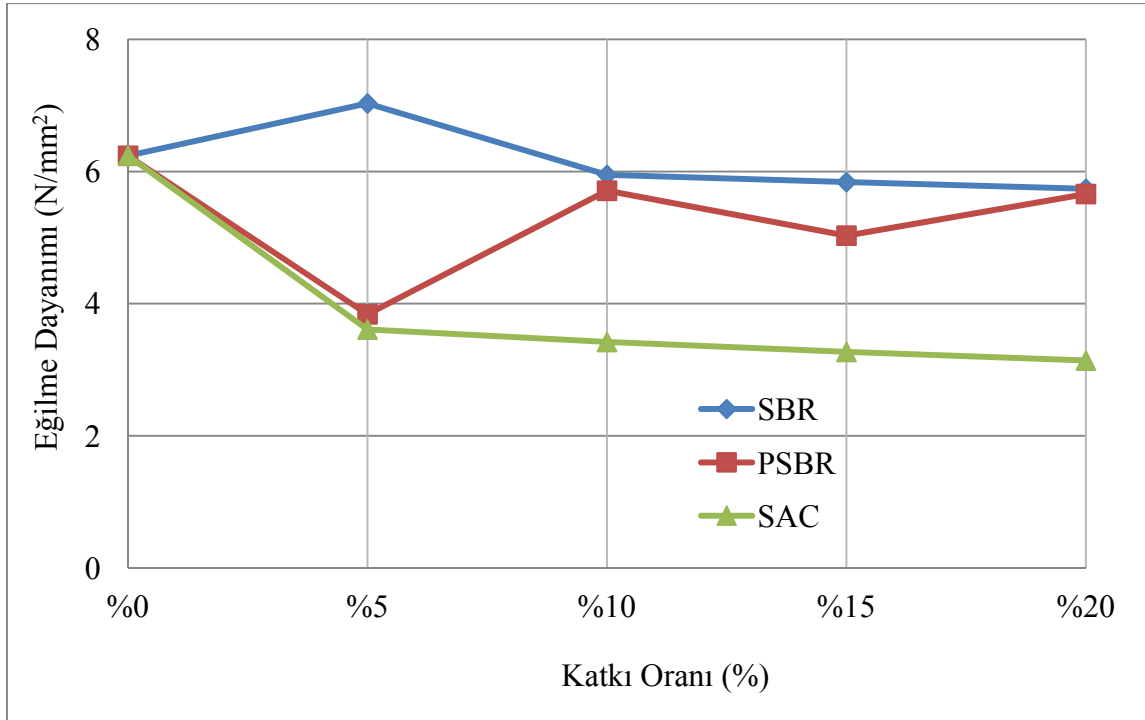
dayanımı 6.42 N/mm^2 'den 7.97 N/mm^2 'ye yükselerek %24 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Bu %24'lük artış SBR için 1. Kür koşulunda ölçülen en yüksek artış oranı olmuştur. SBR polimer katkı malzemesi %5, %10 ve %15 katkı oranlarında eğilme dayanımında belirli miktarlarda artış meydana getirmiştir. Kontrol numunesinin (%0) eğilme dayanımı 6.42 N/mm^2 iken, SBR'nin %15 katılması halinde 7.97 N/mm^2 olarak %19'luk bir artış gözlemlenmiştir. SBR'nin %20 oranında katılmasında ise eğilme dayanımı %8 azalarak 5.86 N/mm^2 olarak ölçülmüştür. 1. Kür koşulu için SAC katkı malzemesi hariç diğer katkı malzemelerinin çeşitli oranlarında eğilme dayanımı için olumlu sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3.6. 1. Kür koşulunda katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

2. Kür koşulu için eğilme dayanımı ile polimer katkı oranı arasındaki ilişki Şekil 3.7'de verilmiştir. Bu kür koşulu için kontrol numunelerinin (%0) eğilme dayanımı 6.24 N/mm^2 olarak ölçülmüştür. SBR katkı malzemesinin %5 oranında katılması halinde eğilme dayanımı 7.03 N/mm^2 'ye yükselerek %11'lik bir artış meydana gelmiştir. Bu artış miktarı 2. Kür koşulu için ölçülen en yüksek kür koşulu olmuştur. SBR katkısının %10-%15- %20 oranında katılması halinde ise eğilme dayanımları sırası ile 5.95 - 5.84 - 5.74 N/mm^2 'ye düşerek yaklaşık %5-7 miktarında bir düşüş gözlemlenmiştir. PSBR katkı malzemesi ilk katkı oranında büyük miktarda düşüş göstermiştir. Daha sonraki katkı oranlarında eğilme

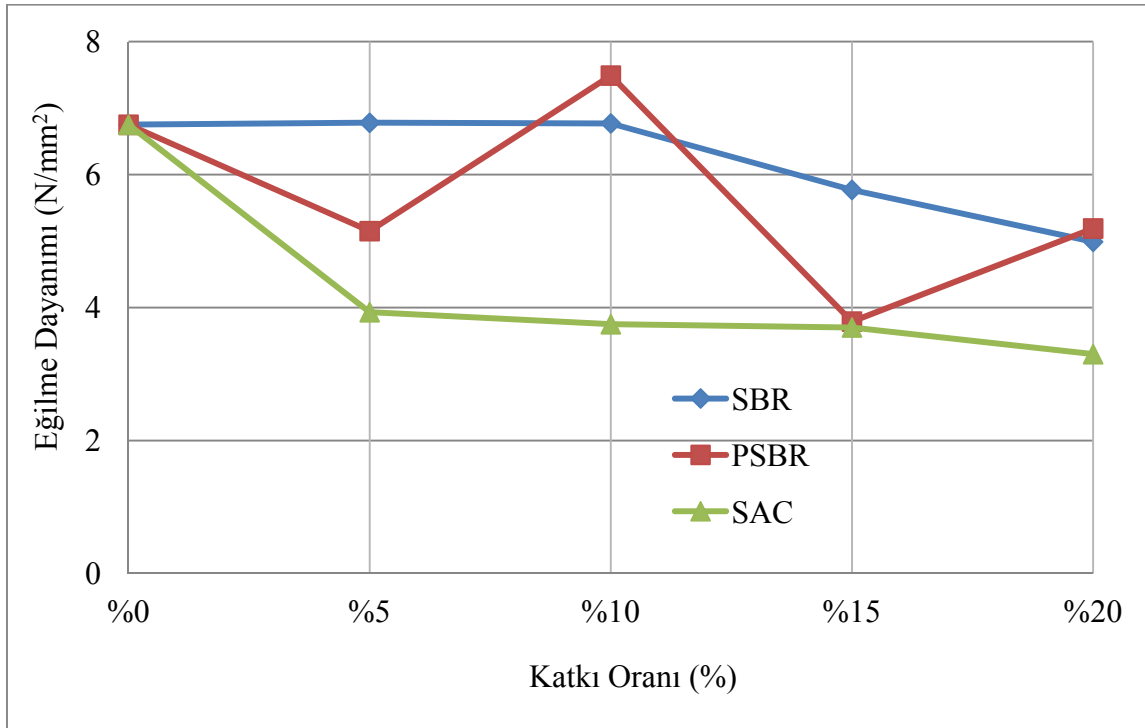
dayanımında artış gözlemlenmiştir fakat hiçbir katkı oranında kontrol numunelerinin değerinin üzerine çıkılamamıştır. PSBR %5 katkı oranında 3.84 N/mm^2 'ye düşerek %38 oranında büyük bir düşüş göstermiştir. PSBR katkısının %10 ve %20 oranlarında katılması halinde eğilme dayanımı 5.71 - 5.66 N/mm^2 olarak yaklaşık %10'luk bir düşüş göstermiştir. PSBR'nin %15 oranında kullanılması halinde ise eğilme dayanımı 5.03 N/mm^2 'ye düşerek %19'luk bir azalma sergilemiştir. SAC katkısının %5 oranında katılması halinde eğilme dayanımı 3.61 N/mm^2 'ye düşerek %42 oranında bir azalma göstermiştir. Bu malzemenin %10 oranında katılması halinde eğilme dayanımı 3.42 N/mm^2 'ye düşerek %45 oranında azalma göstermiştir. SAC polimer katkısı %15 ve %20 oranlarında katıldığında eğilme dayanımları sırasıyla 3.27 ve 3.14 N/mm^2 'ye düşerek yaklaşık %47'lik bir azalma meydana getirmiştir. 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 SAC katkısı tüm oranlarında eğilme dayanımında büyük düşüş göstermiştir.



Şekil 3.7. 2. Kür koşulunda katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

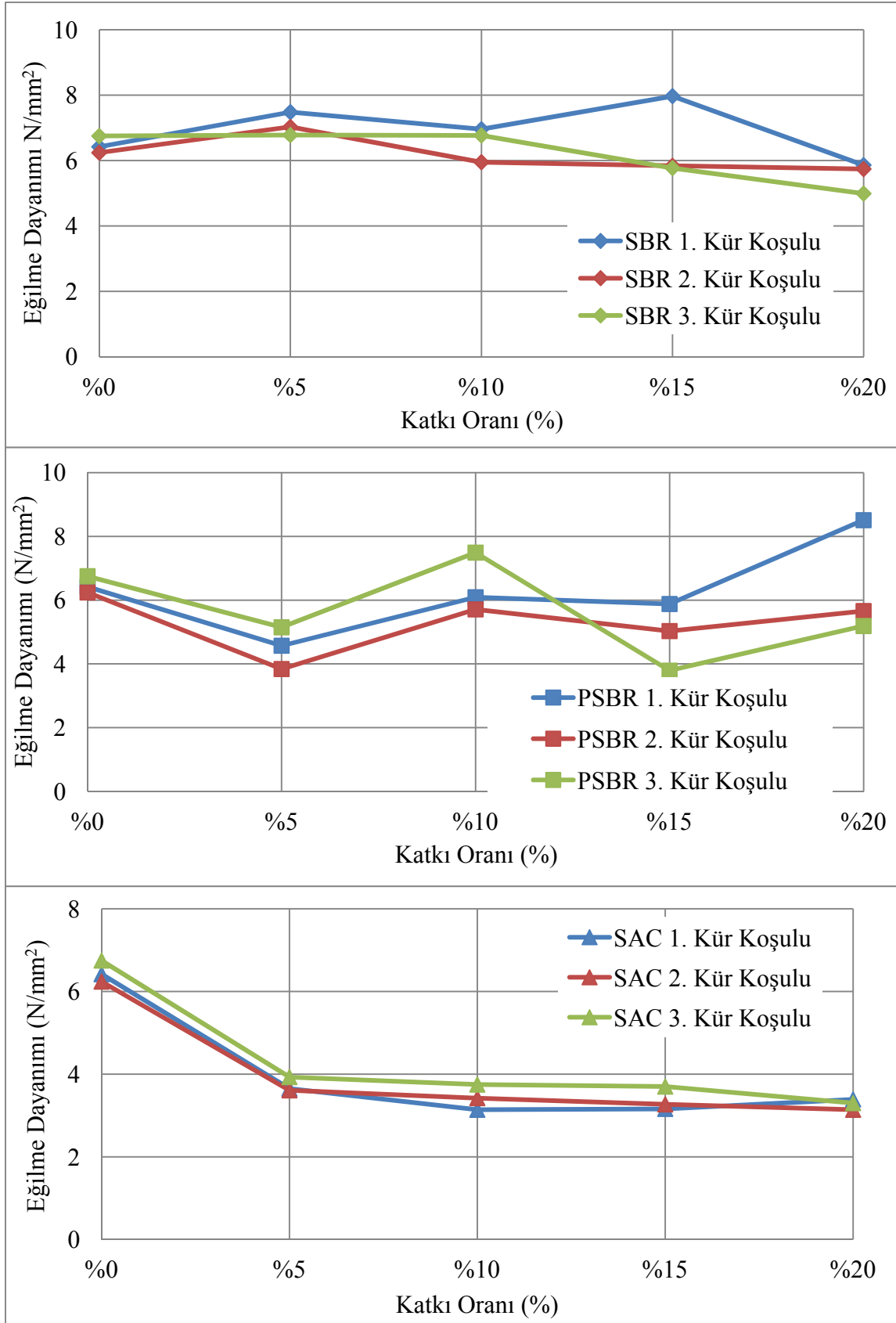
3. Kür koşulunda eğilme dayanımı ile polimer katkı oranı arasındaki ilişki Şekil 3.8'de verilmiştir. Bu kür koşulunda kontrol numunesinin (%0) eğilme dayanımı 6.75

N/mm² olarak ölçülmüştür. SBR katkı malzemesinin %5 ve %10 oranlarında katılması durumunda eğilme dayanımı 6.77 ve 6.78 N/mm² çok az bir miktar artış ile neredeyse hem birbiri ile hem de kontrol numuneleri ile aynı değerde ölçülmüştür. SBR polimer katkı malzemesinin %15 oranında katılması halinde eğilme dayanımı 5.77 N/mm²'ye düşerek %14 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. SBR katkı malzemesinin %20 oranında katılması halinde ise eğilme dayanımı 4.99 N/mm² ölçülerek %26 oranında bir düşüş göstermiştir. PSBR katkısının %5 oranında katılması durumunda eğilme dayanımı 5.15 N/mm² olarak ölçülerek %23 oranında bir azalma meydana gelmiştir. PSBR polimer katkısının %10 oranında katılması durumunda bu kür koşulu için en yüksek eğilme dayanımı elde edilmiştir. Bu eğilme dayanımı 7.49 N/mm² olarak ölçülerek kontrol numunelerinden yaklaşık %10 oranında daha fazla çıkmıştır. PSBR polimer katkısının %15 oranında katılması halinde eğilme dayanımında tekrar bir düşüş olmuştur ve eğilme dayanımı 3.79 N/mm² olarak ölçülerek %43'lük bir düşüş gözlemlenmiştir. PSBR katkısının %20 oranında katılması durumunda eğilme dayanımı yeniden artan bir izlem göstermiştir fakat bu değer kontrol numunelerinin üzerine çıkamamıştır. PSBR katkısı için %20 katkı oranında eğilme dayanımı 5.19 N/mm² olarak %23'lük düşüş göstermiştir.



Şekil 3.8. 3. Kür koşulunda katkı oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

SAC polimer katkı malzemesi kullanılması halinde bu kr koşulu için hiçbir katkı oranında eğilme dayanımı kontrol numunelerinin üzerinde bir değere çıkamamıştır. SAC katkısı %5 oranında kullanıldığında eğilme dayanımı 3.93 N/mm^2 çıkarak %41'lik bir düşüş meydana gelmiştir. SAC polimer katkı malzemesinin %10 ve %15 olarak katılması durumunda eğilme dayanımları benzer davranış göstererek 3.75 ve 3.7 N/mm^2 olarak ölçülüp yaklaşık %45 oranında bir azalma göstermiştir. SAC katkısının %20 oranında katılması halinde eğilme dayanımı 3.3 N/mm^2 olarak ölçülmüştür ve %50 oranında büyük bir düşüş göstermiştir.



Şekil 3.9. Kür koşulları ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının eğilme dayanımı arasındaki ilişki

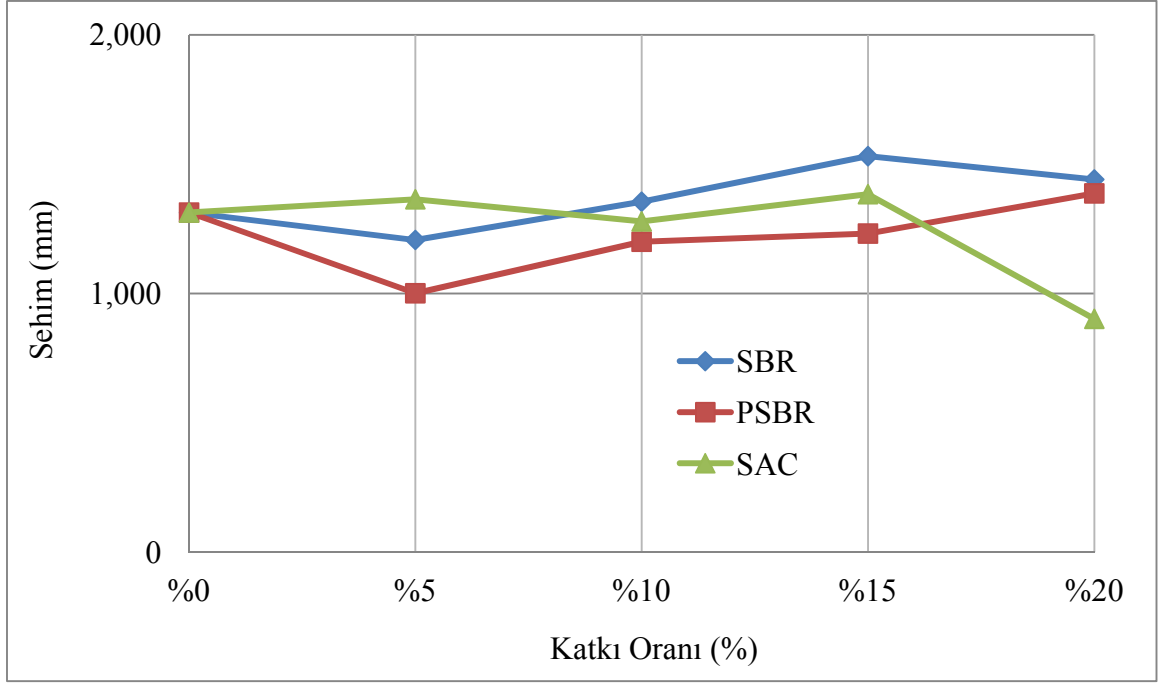
3.1.1.2. Kür Şartı ile Sehim Değeri Arasındaki İlişki

3 farklı kür koşuluna tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda, kür koşullarının polimerle iyileştirilmiş harçların sehim değerine etkisi Tablo 3.5’de gösterilmiştir. Kür şartları ile sehim değerleri arasındaki genel değişim ise Şekil 3.13’de verilmiştir.

Tablo 3.5. Polimerle iyileştirilmiş harçlarda, kür koşullarının sehim değerine etkisi

Katkı Oranı (%)	Sehim (mm)								
	1. kür koşulu			2. kür koşulu			3. kür koşulu		
	SBR	PSBR	SAC	SBR	PSBR	SAC	SBR	PSBR	SAC
0	1.313	1.313	1.313	1.300	1.300	1.300	1.782	1.782	1.782
5	1.207	1.001	1.364	1.336	1.197	1.248	1.360	1.689	0.770
10	1.355	1.200	1.279	1.339	1.470	0.770	1.419	1.722	0.479
15	1.531	1.232	1.384	1.302	1.280	0.790	1.400	1.674	0.628
20	1.441	1.387	0.902	1.181	1.590	0.485	1.296	1.274	0.531

1. Kür koşulu için numunelerin sehim değerlerinin değişimi Şekil 3.10’da verilmiştir. Öncelikle olarak 1. Kür koşulu için kontrol numunelerinin (%0) sehim değeri 1.313 mm olarak ölçülmüştür. Polimer katkı ilave edilmiş numunelerin sehim değerleri incelendiğinde SBR polimer katkısının %5 oranında katılması halinde sehim değeri 1.207 mm değerinde ölçülmüş olup %8 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR polimer katkı malzemesinin %10 oranında katılması halinde sehim değeri 1.355 mm çıkarak bu oranda %3’lük artan bir izlem gözlemlenmiştir. Bu artan izlem %15 katkı oranında da devam ederek sehim değeri 1.531 mm’ye ulaşmıştır ve %14’lük bir artış ile SBR katkısının bu kür koşulu için en yüksek sehim değerine ulaşılmıştır. SBR katkısının %20 oranında katılması halinde sehim değeri 1.441 mm olarak ölçülmüş olup %8.8 oranında bir yükseliş kayıt edilmiştir.

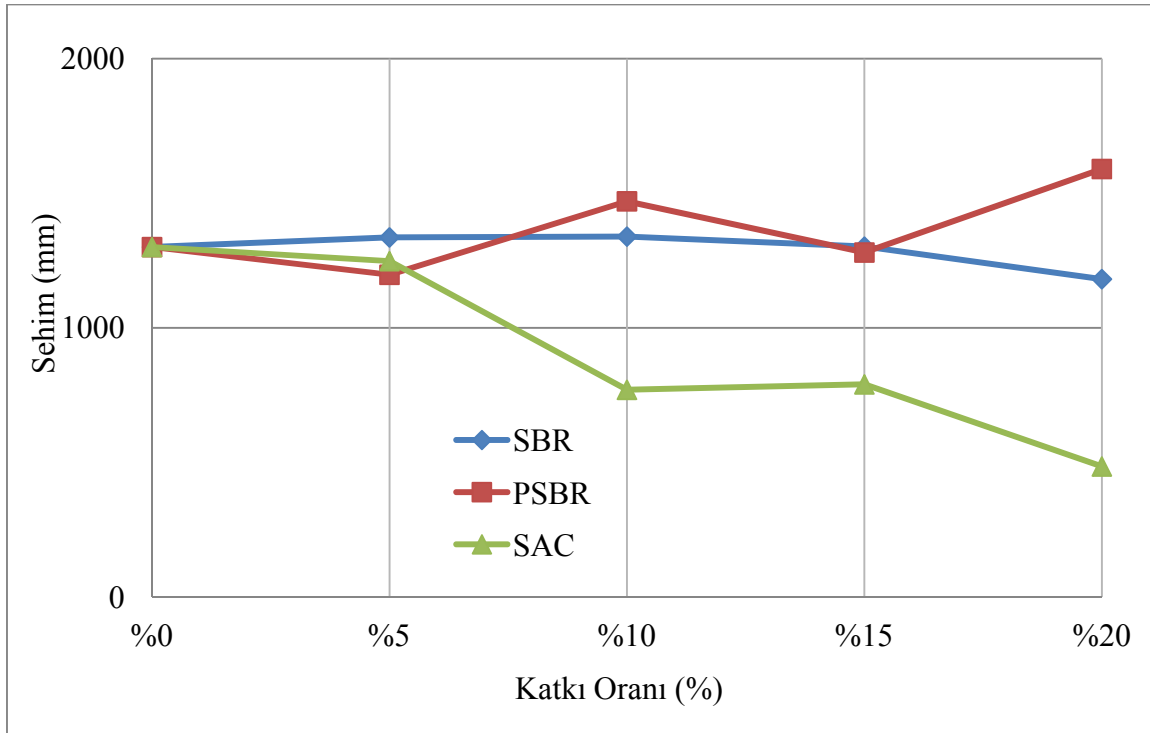


Şekil 3.10. 1. Kür koşulunda katkı oranı ile sehım değeri arasındaki ilişki

PSBR polimer katkı malzemesi katkı oranlarında önce düşen fakat daha sonra artan bir izlem göstermiştir. Bu katkı malzemesi %5 oranında katıldığında sehım değeri 1.001 mm olarak çıkmıştır ve %23 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. Daha sonraki PSBR'nin %10 ve %15 oranlarında sehım değerleri 1.200 ve 1.232 mm değerlerinde çıkarak birbirlerine oldukça yakın değerler vermiştir ve %6-8 arasında bir düşüş gözlemlenmiştir. PSBR katkısı %20 oranında katıldığında sehım değeri olumlu sonuç vermiş olup 1.387 mm çıkmıştır ve %5 oranında bir artış ile kontrol numunelerinin üzerinde bir sehım değeri elde edilmiştir. SAC katkısının %5 ve %15 oranında katılması halinde sehım değerleri 1.364 ve 1.384 mm ölçülmüş olup oldukça yakın değerler elde edilmiştir ve %3-5 arasında küçük bir artış gözlemlenmiştir. 1. Kür koşuluna genel olarak bakıldığında SBR ve PSBR katkı malzemeleri belirli oranlarda oldukça olumlu sonuçlar verirken SAC katkı malzemesi sehım değerlerinde istenilen sonuçları verememiştir.

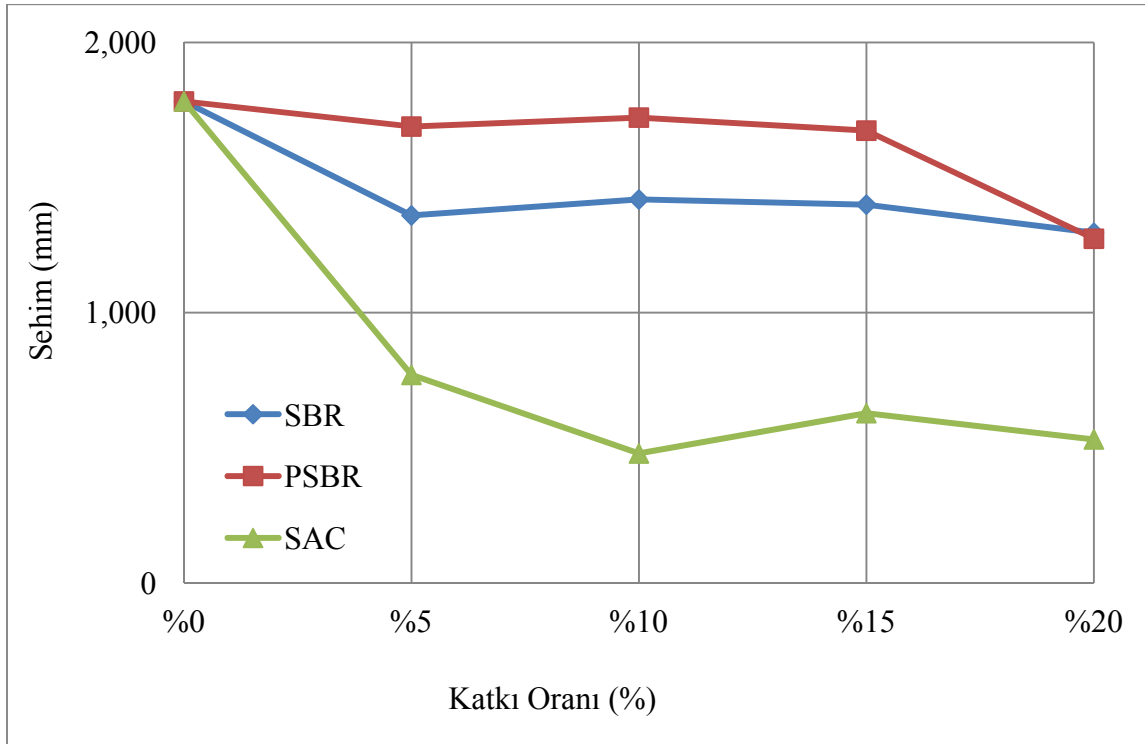
2. Kür koşulu için; numunelerin sehım değişimi Şekil 3.11'de verilmiştir. Öncelikli olarak 2. Kür koşulu için kontrol numunelerinin (0%) sehım değeri 1.300 mm olarak ölçülmüştür. SBR polimer katkı malzemesinin bu kür şartında %5, %10 ve %15 oranlarında kullanıldığında sehım değerleri sırası ile 1.336-1.339-1.302 mm ölçülerek birbirlerine oldukça yakın değerler vermiştir ve yaklaşık %2 oranında küçük miktarda bir artış gözlemlenmiştir. SBR katkısının %20 oranında katılması halinde sehım değeri 1.181

mm olarak ölçülmüş olup %9 oranında bir düşüş göstererek 1. Kür koşulu için SBR katkı malzemesi için en düşük sehim değeri kayıt edilmiştir. PSBR katkısının %5 oranında katılması halinde sehim değeri 1.197 mm ölçülmüştür ve %7.9 oranında azalan bir eğilim gözlemlenmiştir. PSBR katkısının %10 oranında katılması halinde sehim değeri 1.470 mm olarak ölçülmüştür ve %11.5 oranında yükselme gözlemlenmiştir. PSBR katkısı %15 oranında katıldığında sehim değeri tekrar azalan bir izlem göstererek 1.280 mm ölçülmüştür ve %1.5 oranında küçük bir düşüş gözlemlenmiştir. PSBR katkısının %20 oranında kullanılması halinde ise sehim değeri bu kür koşulu için en yüksek değerine ulaşarak 1.590 mm ölçülmüştür ve %18 oranında bir artış gözlemlenmiştir. SAC katkısı %5 oranında katıldığında sehim değeri 1.248 mm çıkarak %49 oranında ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir. SAC katkı malzemesinin %10 ve %15 oranlarında kullanılması halinde ise sehim değerleri 0.770-0.790 mm dolaylarında oldukça yakın çıkmıştır ve yaklaşık %40 oranında büyük düşüşler gözlemlenmiştir. SAC katkı malzemesinin %20 oranında kullanılması halinde ise sehim değeri 2. Kür koşulu için en düşük değerine ulaşarak 0.485 mm çıkmıştır ve kontrol numunelerinden %63 gibi büyük bir oranda düşük çıkmıştır.



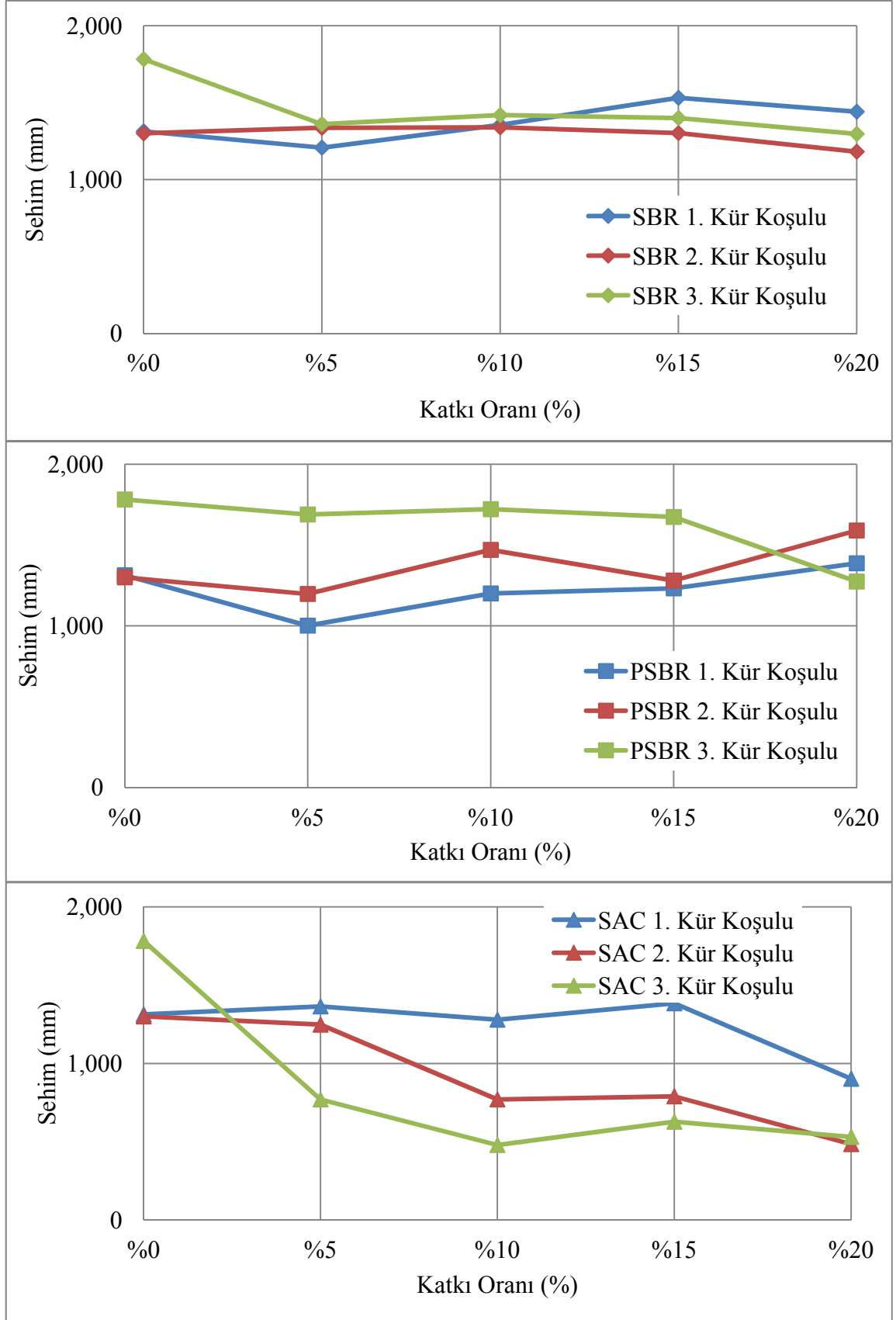
Şekil 3.11. 2. Kür koşulunda katkı oranı ile sehim değeri arasındaki ilişki

3. Kür koşulu için numunelerin sehim değerlerinin değişimi Şekil 3.12'de verilmiştir. Öncelikli olarak 3. Kür koşulu için kontrol numunelerinin (%0) sehim değeri 1.782 mm olarak ölçülmüştür. Bu kür koşulu için kontrol numunelerinin ölçülen sehim değeri diğer iki kür koşulundan daha yüksek çıkmıştır. SBR katkısının %5 oranında katılması halinde sehim değeri 1.360 mm ölçülmüş olup %23 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR polimer katkısının %10 ve %15 oranında katılması halinde sehim değerleri sırası ile 1.419-1.400 mm olarak ölçülerek birbirlerine çok yakın değerler vermişlerdir ve yaklaşık %20-21 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR polimer katkısının %20 oranında katılması halinde sehim değeri 1.296 mm olarak ölçülmüştür ve %27 oranında ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir. PSBR polimer katkısının %5 ve %15 oranlarında sehim değerleri sırasıyla 1.698-1.674 mm ölçülerek birbirlerine çok yakın iki değer çıkmıştır ve yaklaşık %5 oranında bir düşüş meydana gelmiştir. PSBR katkı malzemesi %10 oranında kullanıldığında sehim değeri 1.722 mm çıkarak kontrol numunelerinden %3'lük küçük bir oranda daha az ölçülmüştür. PSBR katkısının %20 oranında kullanılması halinde sehim değeri 1.274 mm çıkarak %28.5'lik bir azalma kayıt edilmiştir.



Şekil 3.12. 3. Kür koşulunda katkı oranı ile sehim değeri arasındaki ilişki

SAC polimer katkısının %5 oranında kullanılması halinde sehîm değeri 0.770 mm ölçülmüş olup %56 oranında büyük bir düşüş gözlemlenmiştir. SAC polimer katkısının %15 oranında katılması halinde ise sehîm değeri 0.628 mm olarak ölçülmüştür ve %64 oranında çok büyük bir düşüş gözlemlenmiştir. Son olarak SAC katkısı %20 oranında kullanıldığında sehîm değeri 0.531 mm çıkmıştır ve %70 oranında çok büyük ve ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir. 3. Kür koşuluna genel olarak bakıldığında tüm polimer katkı malzemelerinin tüm oranlarında kontrol numunelerinin üzerinde bir sehîm değeri elde edilememiştir. Özellikle SAC polimer katkılı numunelerin sehîm değerleri oldukça fazla düşüşler göstermiştir.



Şekil 3.13. Kür şartları ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının sehım değerleri arasındaki ilişki

3.1.1.3. Kür Şartı İle Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

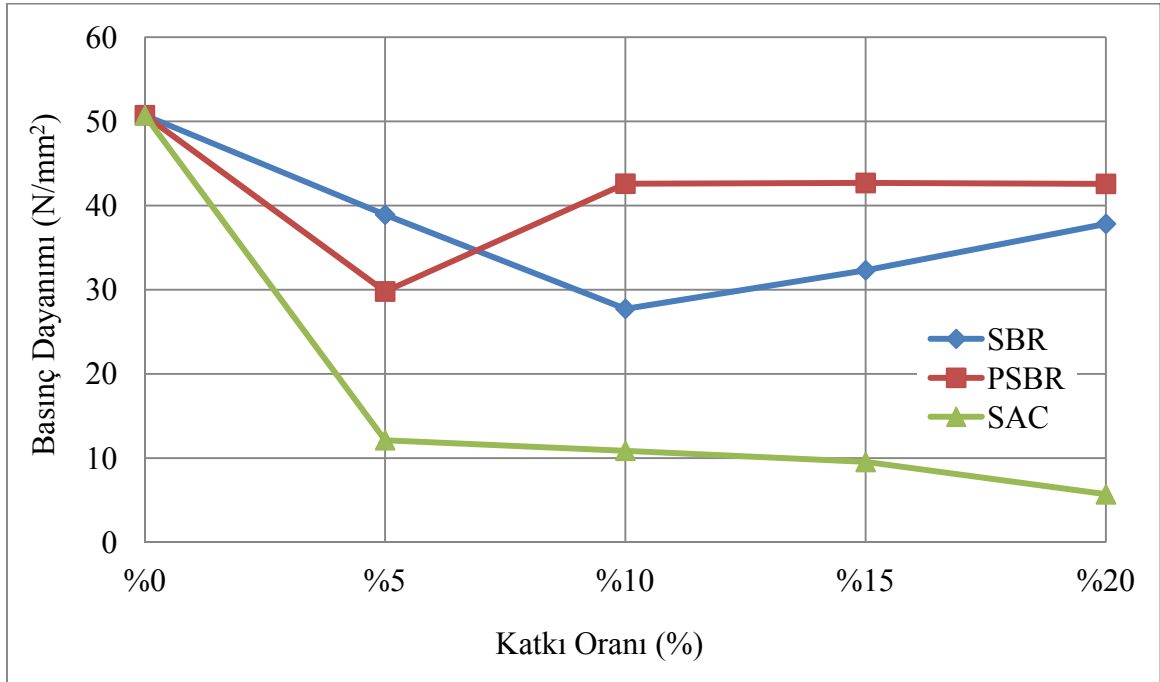
3 farklı kür koşuluna tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda, kür koşullarının polimerle iyileştirilmiş harçların basınç dayanımına etkisi Tablo 3.6'da gösterilmiştir. Tüm kür koşullarında katkılı numunelerin basınç dayanımları Şekil 3.17'de gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Polimerle iyileştirilmiş harçlarda, kür koşullarının basınç dayanımına etkisi

Katkı Oranı (%)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)								
	1. kür koşulu			2. kür koşulu			3. kür koşulu		
	SBR	PSBR	SAC	SBR	PSBR	SAC	SBR	PSBR	SAC
0	50.73	50.73	50.73	48.45	48.45	48.45	51.21	51.21	51.21
5	38.91	29.79	12.12	38.61	26.01	9.57	37.1	27.46	12.71
10	27.73	42.6	10.86	32.05	41.49	8.32	50.76	36.82	11.5
15	32.31	42.68	9.54	29.51	40.78	6.66	50.84	38.27	7.92
20	37.82	42.57	5.7	32.38	37.01	5.98	51.88	36.87	6.6

1. Kür koşulu için numunelerin basınç dayanımlarının değişimi Şekil 3.14'te gösterilmektedir. Polimer katkı malzemesi kullanımı ile numunelerin basınç dayanımında düşüş olacağı tahmin edilmiştir ve Şekil 3.4'de görüldüğü gibi katkı malzemesi olan tüm oranlarda basınç dayanımı değişen miktarlarda azalma göstermiştir. 1. Kür koşulu için kontrol numunelerinin basınç dayanımı 50.73 N/mm² olarak ölçülmüştür. SBR katkısının %5 oranında katılması durumunda basınç dayanımı 38.91 N/mm² olarak ölçülmüştür ve %23 oranında bir azalma kayıt edilmiştir. SBR katkısının %10 oranında katılması durumunda basınç dayanımı 27.73 N/mm² düşerek %45 oranında büyük bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR %15 oranında katıldığında basınç dayanımı tekrar artan bir izlem göstermiştir fakat bu değer kontrol numunelerinin üzerine çıkamamıştır. Bu malzeme %15 oranında katıldığında 32.31N/mm² çıkarak kontrol numunelerinden %36 oranında daha az bir basınç dayanımı elde edilmiştir. SBR katkısının %20 oranında katılması halinde basınç dayanımında artış izlemi devam etmiştir ancak yine de kontrol numunelerinin üzerinde bir değer kayıt edilememiştir. Bu oranda basınç dayanımı 37.82 N/mm² olarak ölçülmüş olup %25'lik bir düşüş kayıt edilmiştir. PSBR polimer katkı malzemesi %5 oranında katıldığında basınç dayanımı 29.79 N/mm² ölçülmüş olup %41 oranında bir düşüş

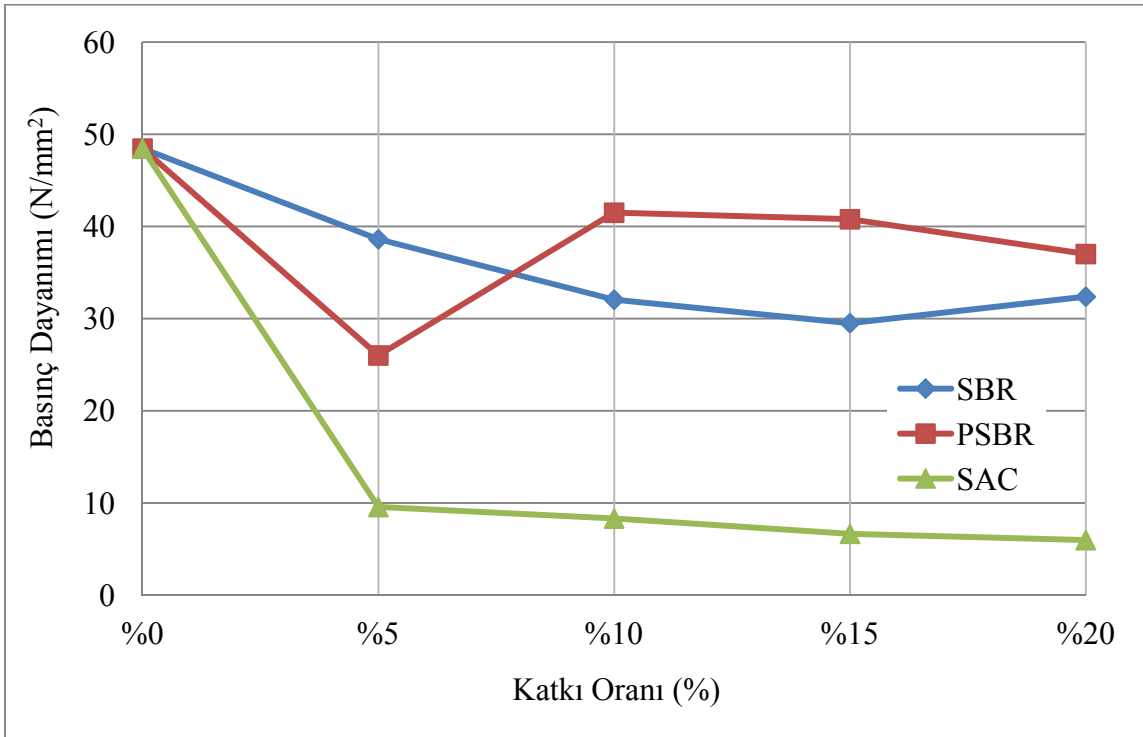
gözlemlenmiştir. PSBR daha sonra %10, %15 ve %20 oranlarında neredeyse aynı değeri vermiştir ve bu değer yaklaşık 42.6 N/mm^2 olarak ölçülmüş olup %16 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SAC polimer katkısının %5, %10 ve %15 oranlarında katıldığı birbirine yakın değerlerde basınç dayanımı elde edilmiştir. Bu değerler sırası ile $12.12-10.86-9.54 \text{ N/mm}^2$ olarak ölçülmüş olup basınç dayanımlarında %75-80 oranında çok büyük ve tehlikeli boyutlarda düşüşler gözlemlenmiştir. SAC katkısının %20 oranında katılması halinde ise basınç dayanımı 5.7 N/mm^2 ölçülerek %88'lik düşüş ile bu kür koşulu için en düşük basınç dayanımı elde edilmiştir. 1. Kür koşulu için basınç dayanımlarında beklenen azalmalar meydana gelmiştir fakat SAC polimer katkısında bu düşüş değerleri çok büyük miktarda olmuştur. En az basınç değeri düşüşleri ise PSBR polimer katkılarında elde edilmiştir.



Şekil 3.14. 1. Kür koşulunda katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

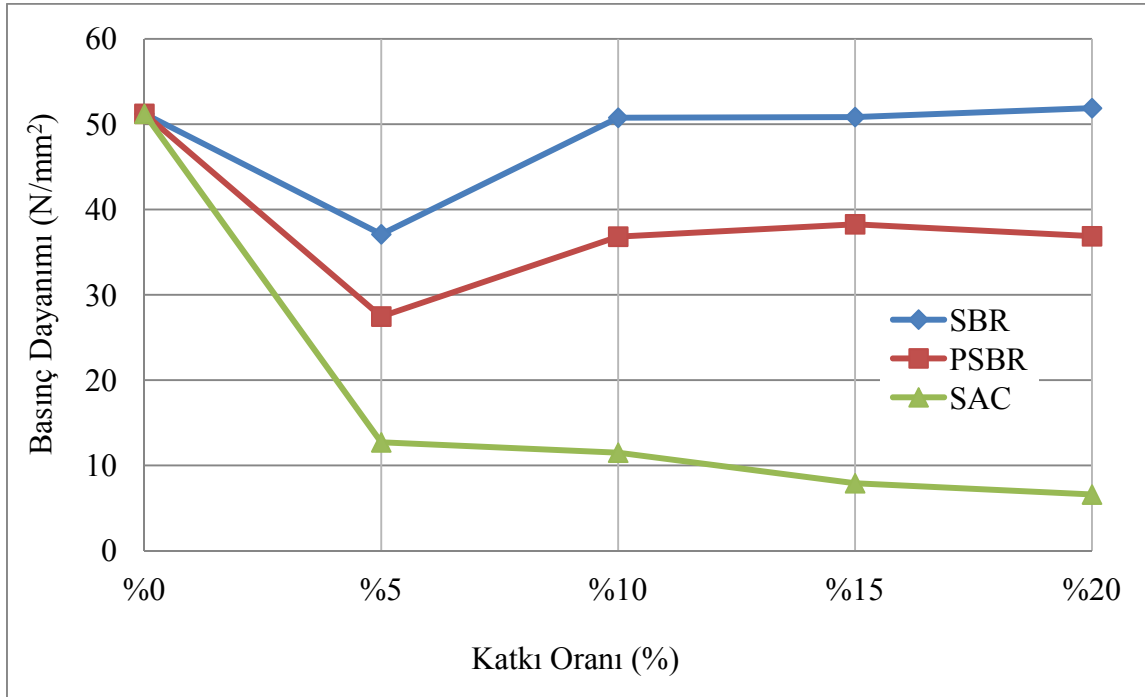
2. kür koşulu için numunelerin basınç dayanımlarının Şekil 3.15'te gösterilmiştir. Bu kür koşulu için kontrol numunelerinin basınç dayanımı 48.45 N/mm^2 olarak ölçülmüştür. Bu kür koşulu içinde ilk kür şartına benzer olarak basınç dayanımlarında tüm oranlarda belirli miktarlarda azalma meydana gelmiştir. SBR polimer katkı malzemesinin %5 oranında katılması halinde basınç dayanımı 38.61 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 N/mm^2 olarak ölçülmüş olup %33'lük bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu malzemenin %15 oranında kullanılması halinde ise basınç dayanımı 29.51 N/mm^2 ölçülmüştür ve %39 oranında bir azalma meydana gelmiştir. PSBR katkısının %5 oranında kullanılması halinde basınç dayanımı 26.01 N/mm^2 ölçülmüş olup %46'lık büyük bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu malzemenin %10 ve %15 oranlarında katılması halinde basınç dayanımları neredeyse aynı çıkmış olup $41.49\text{-}40.78 \text{ N/mm}^2$ olarak gözlemlenmiştir. PSBR katkısının %10 oranında kullanılması halinde basınç dayanımı 41.49 N/mm^2 çıkarak bu kür koşulu için %14'lük bir azalma ile en yüksek basınç dayanımına ulaşılmıştır. PSBR katkısının %20 oranında kullanılması halinde ise basınç dayanımı 37.01 N/mm^2 ölçülerek %23'lük bir düşüş gözlemlenmiştir. SAC polimer katkı malzemesi katılım oranlarının artması ile ters orantılı olarak basınç dayanımında sürekli bir azalma sergilemiştir. SAC katkı malzemesi %5, %10, %15 ve %20 oranlarında sırası ile $9.57\text{-}8.32\text{-}6.66\text{-}5.98 \text{ N/mm}^2$ çıkarak %80-87 civarında çok büyük ve tehlikeli boyutlarda düşüşler sergilemiştir. Bu kür koşulunda da en az düşüşler ve en fazla düşüşler 1. Kür koşuluna benzer olmuştur. En fazla düşüşler yine SAC polimer katkısında en az düşüşler ise PSBR katkısında meydana gelmiştir.



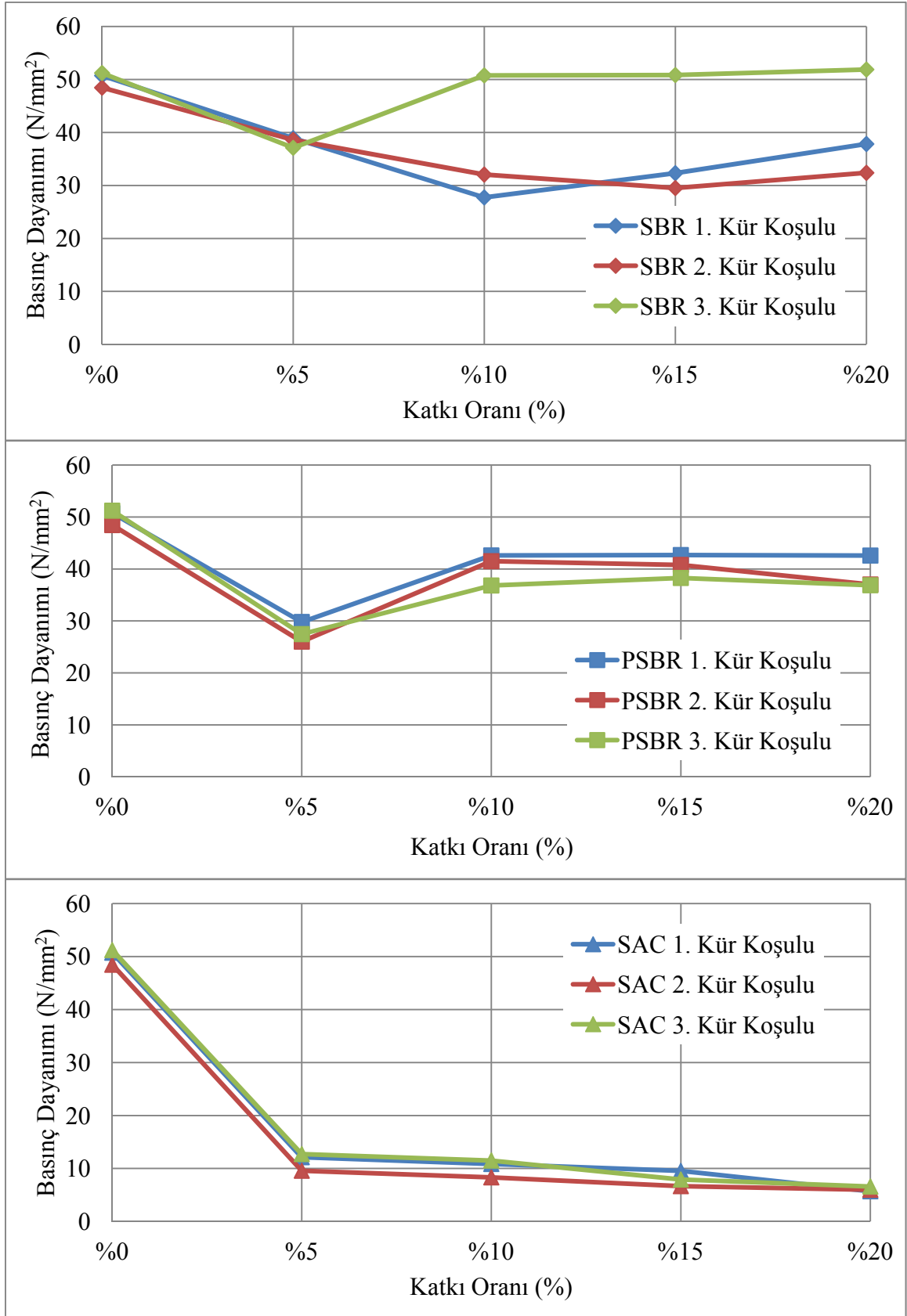
Şekil 3.15. 2. Kür koşulunda katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

3. kür koşulu için numunelerin basınç dayanımları değişimi Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Bu kür koşulu için kontrol numunelerinin basınç dayanımı 51.21 N/mm^2 olarak ölçülmüştür. Bu kür koşulu içinde 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 katkısının %5 oranında katılması halinde basınç dayanımı 37.1 N/mm^2 'ye düşerek %27 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. SBR katkısı %10 ve %15 oranlarında neredeyse aynı basınç değerini vererek 50.76 ve 50.84 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 N/mm^2 çıkmıştır ve %1 civarında az bir artış gözlemlenmiştir. PSBR katkısının %5 oranında katılması halinde basınç dayanımı ciddi bir düşüş göstererek 27.46 N/mm^2 ölçülmüş olup %46 oranında bir azalma kayıt edilmiştir. PSBR katkısının %10, %15 ve %20 oranlarında katılması halinde basınç dayanımları 36.82 - 38.27 - 36.87 ölçülerek birbirine oldukça yakın çıkmıştır ve %25-28 oranlarında bir azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 3.16. 3. Kür koşulunda katkı oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

SAC polimer katkısının %5 ve %10 oranlarında basınç dayanımları 12.71-11.5 N/mm² olarak birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır ve %75-77 dolaylarında çok büyük bir düşüş gözlemlenmiştir. SAC katkısının %15 ve %20 oranlarında katılması halinde de basınç dayanımları 7.92 ve 6.6 N/mm² olarak birbirlerine yakın değerler vermiştir ve %84-87 oranında çok büyük ve çok olumsuz şekilde bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu kür koşulunda SBR katkısının belirli oranlarında oldukça olumlu sonuçlar alınmıştır. Diğer kür koşullarında olduğu gibi SAC polimer katkı malzemesinin kullanılması halinde basınç dayanım oldukça fazla düşüş göstermiştir.



Şekil 3.17. Kür şartları ile polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının basınç dayanımları arasındaki ilişki

3.3. Polimer Katkısının, Harçların Donma-Çözülme Dayanımına 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 3 farklı (0, 100 ve 200) donma-çözülme döngüsüne maruz bırakılmıştır. Donma-çözülme döngülerinin sonunda numunelerin eğilme ve basınç dayanımları bunun yanı sıra sehim ve ultrases hızı değişimi gözlemlenmiştir.

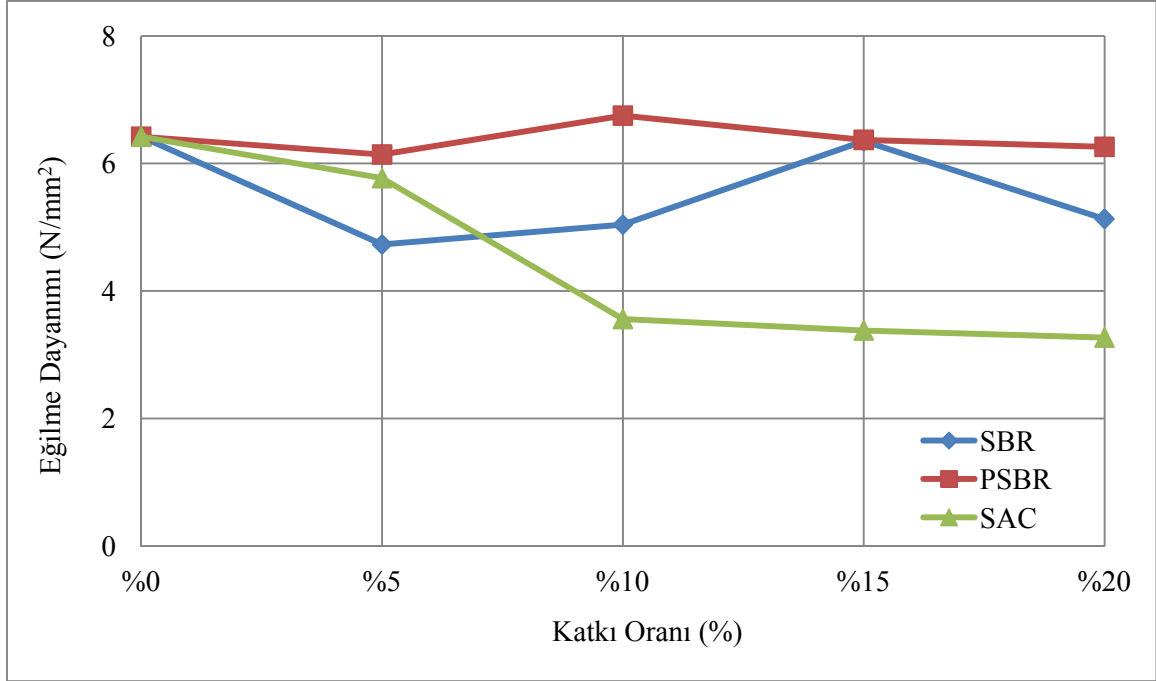
3.3.1. Donma-Çözülme Etkisindeki Polimer İyileştirilmiş Harçların Eğilme Dayanımının Değişimi

3 farklı donma-çözülme döngüsüne tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda, döngülerin polimerle iyileştirilmiş harçların eğilme dayanımına etkisi Tablo 3.7’de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Donma-çözülme etkisinde polimerle iyileştirilmiş harçların eğilme dayanımı

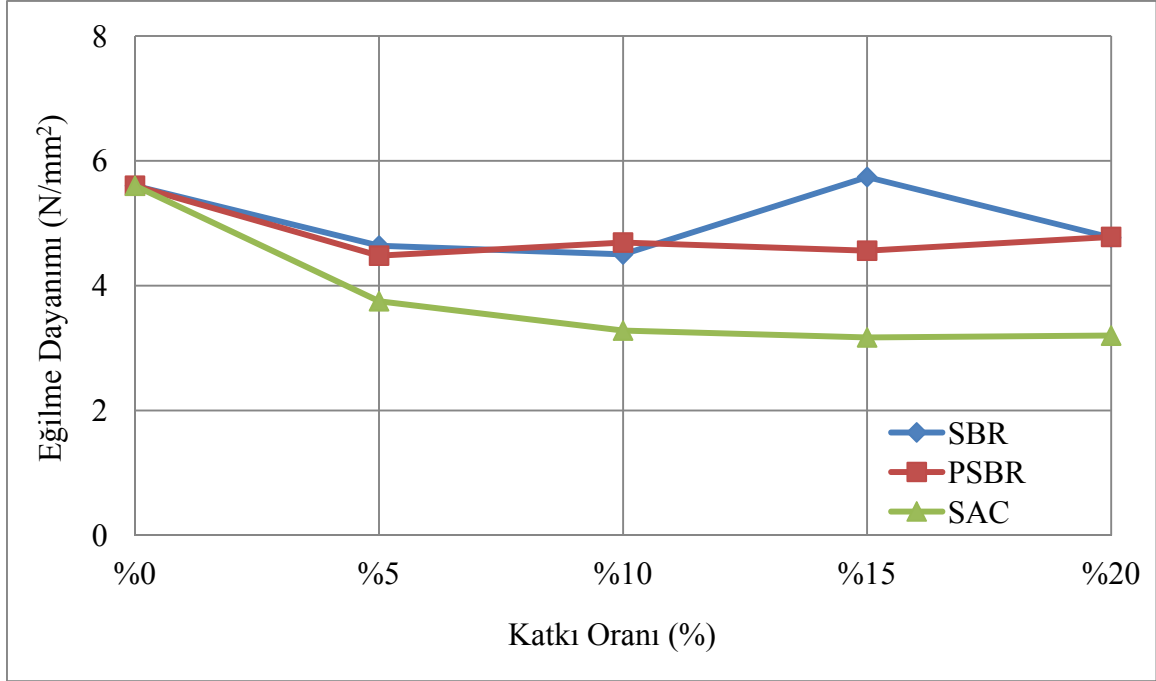
Katkı Oranı (%)	Eğilme Dayanımı (N/mm ²)								
	0 Döngü			100 döngü			200 döngü		
	SBR	PSBR	SAC	SBR	PSBR	SAC	SBR	PSBR	SAC
0	6.42	6.42	6.42	5.6	5.6	5,6	3,16	3,16	3,16
5	4.73	6.14	5.77	4.64	4.48	3.75	3.4	3.97	3.28
10	5.04	6.75	3.56	4.5	4.69	3.28	4.17	5.91	0
15	6.35	6.37	3.38	5.74	4.56	3.17	5.77	6.17	
20	5.13	6.26	3.27	4.77	4.78	3.2	4.68	6.63	

0 döngü için numunelerin eğilme dayanımlarının değişimi Şekil 3.18’de 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 donma-çözülme döngülerine maruz kalmaması durumundaki sonuçların deneye maruz kalan numuneler ile kıyaslanmasıdır.



Şekil 3.18. Kontrol numuneleri (0 döngü) ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

100 donma-çözülme döngüsü sonunda numunelerin eğilme dayanımlarının değişimi Şekil 3.19'da verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 100 döngü donma-çözülme maruz kalan katkısız (kontrol) numunelerin eğilme dayanımı 5.60 N/mm^2 olarak ölçülmüştür ve 0 döngüye maruz kalan numunelere göre yaklaşık %12 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. PSBR katkı malzemesinin %10 oranında kullanılması halinde eğilme dayanımı 4.69 N/mm^2 olarak ölçülmüştür ve aynı oranda 0 döngüye göre %30 oranında bir düşüş gözlemlenmiştir. PSBR %10 oranında 100 döngüdeki kontrol numunesine göre ise %16 oranında azalma gözlemlenmiştir. PSBR katkısının %20 oranında katılması halinde 0 döngüdeki oranına göre %23 azalma ve 100 döngüdeki kontrol numunesine göre %14 oranında bir azalma gözlemlenmiştir. SBR katkısının %5 oranında kullanılması durumunda eğilme dayanımı 4.64 N/mm^2 olarak ölçülmüştür ve 0 döngüdeki aynı oranına göre %1 oranında çok küçük bir düşüş gözlemlenmiştir ve 100 döngüdeki kontrol numunelerine göre ise %17 oranında düşüş gözlemlenmiştir. 100 döngü sonunda katkılı numunelerin eğilme dayanımları bu donma-çözülme döngüsündeki kontrol numunelerinden daha düşük gözlemlenmiştir. SAC polimer katkı malzemesini %5 oranında kullanılması durumunda numunelerin eğilme dayanımı 3.75 N/mm^2 olarak ölçülmüştür ve hem 0 döngüdeki oranına göre hem de 100 döngü sonundaki kontrol numunelerine göre büyük oranlarda düşüşler gözlemlenmiştir.



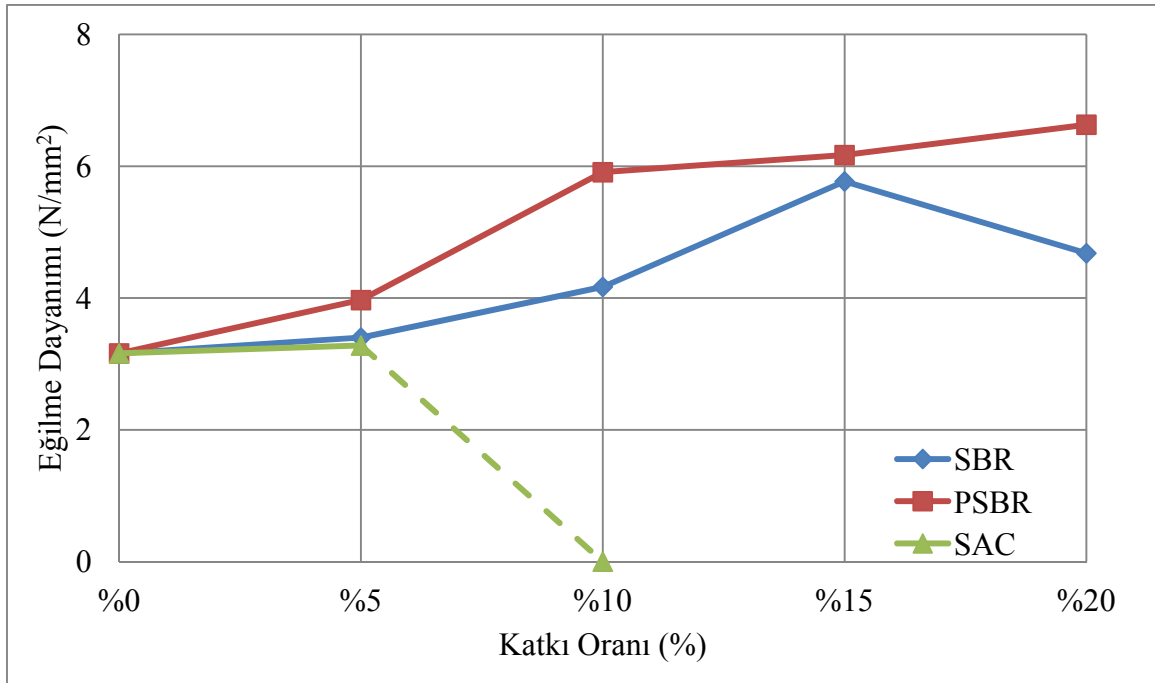
Şekil 3.19. 100 döngü sonunda polimer oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

200 donma-çözülme döngüsü sonunda numunelerin eğilme deneyi sonuçları Şekil 3.21’de verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 200 donma-çözülme döngüsü sonunda katkısız (kontrol) numunelerin eğilme dayanımı 3.16 N/mm^2 olarak ölçülmüş olup 0 döngüdeki kontrol numunelerine göre yaklaşık %50 oranında bir büyük azalma gözlemlenmiştir. PSBR polimer katkısının %10 oranında katılması durumunda eğilme dayanımı 5.91 N/mm^2 olarak ölçülmüştür ve 0 döngüdeki aynı orana göre %12 oranında küçük bir düşüş gözlemlenmiştir. Fakat PSBR katkısının %10 oranında kullanılması halinde eğilme dayanımı 200 döngüdeki kontrol numunesine göre yaklaşık %46 oranında daha fazla ölçülmüştür. Aynı şekilde PSBR katkısının %20 oranında eğilme dayanımı 6.63 N/mm^2 olarak gözlemlenmiştir ve 0 döngüdeki aynı oranı ile neredeyse aynı sonucu vermiştir fakat 200 döngüdeki kontrol numunesine göre yaklaşık %50 oranında daha fazla çıkmıştır ve donma-çözülmeye karşı oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. SBR katkısının %5 oranı için eğilme dayanımı 3.40 N/mm^2 olarak ölçülmüştür ve 0 döngüdeki aynı oranına göre %28 oranında düşüş gözlemlenmiştir fakat 200 döngüdeki kontrol numunesine göre %7 oranında küçük de olsa bir artış gözlemlenmiştir. SBR katkısının %15 oranında katılması halinde eğilme dayanımı 5.77 N/mm^2 olarak ölçülmüş olup 0 döngüdeki aynı oranına göre %9 oranında daha düşük gözlemlenmiştir fakat 200 döngüdeki kontrol numunelerine göre yaklaşık %45 oranında daha fazla ölçülmüştür. SAC

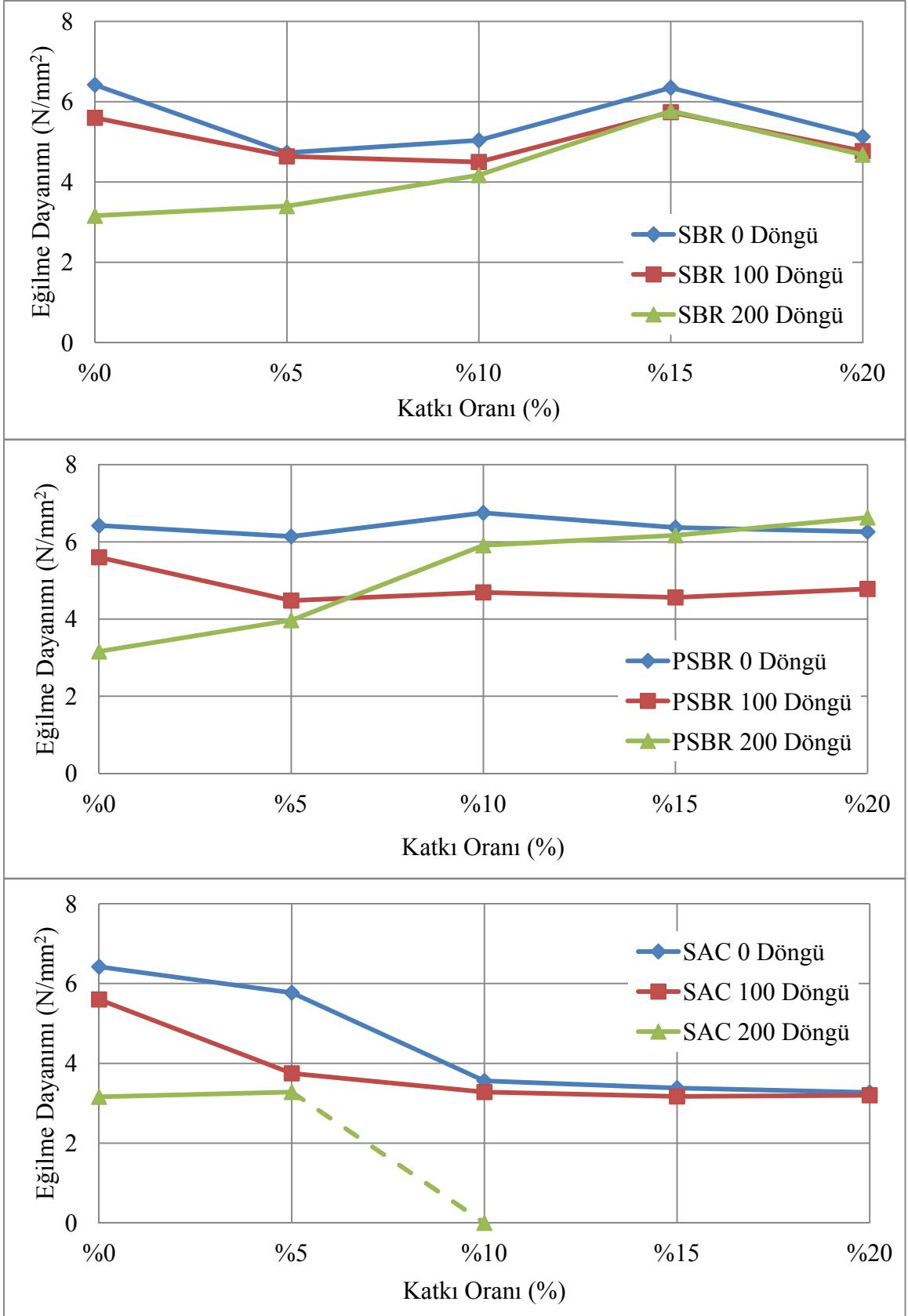
katkısı 200 donma-çözülme döngüsü için pek olumlu sonuçlar verememiştir ve %10 katkı oranı ile üretilen numuneleri donma-çözülme döngüleri etkisi sonucu parçalanmıştır (Şekil 3.20). Yapılan deneyler sonucunda katkısız numunelerin eğilme dayanımları ile döngü sayısı arasında ters ilişki gözlemlenmiştir fakat katkılı numuneler özellikle 200 döngü oldukça iyi sonuçlar vermiştir. Donma-çözülme döngüleri sonunda harç örneklerinin eğilme dayanımı değişimleri Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.20. 200 döngü sonunda %10 SAC katkıli numuneler



Şekil 3.21. 200 döngü sonunda polimer oranı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 3.22. Donma-çözülme döngülerinin, polimerle iyileştirilmiş harçların eğilme dayanımına etkisi

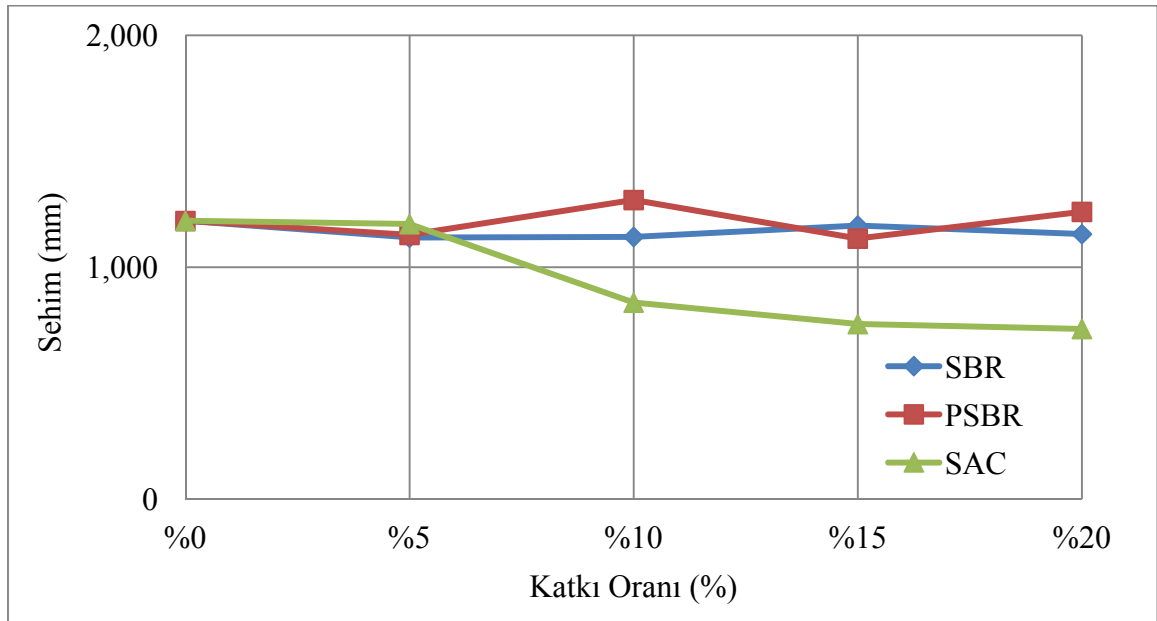
3.3.2. Donma-Çözülme Etkisindeki Polimerle İyileştirilmiş Harçların Sehım Değerlerinin Değişimi

Eğilme dayanımının deneyleri sırasında numunelerin sehım değerleri de gözlemlenmiştir. 3 farklı donma-çözülme döngüsüne tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda. Döngülerin polimerle iyileştirilmiş harçların sehım değerine etkisi Tablo 3.8’de gösterilmiştir.

Tablo 3.8. Donma-çözülme etkisinde polimerle iyileştirilmiş harçların sehım değerleri

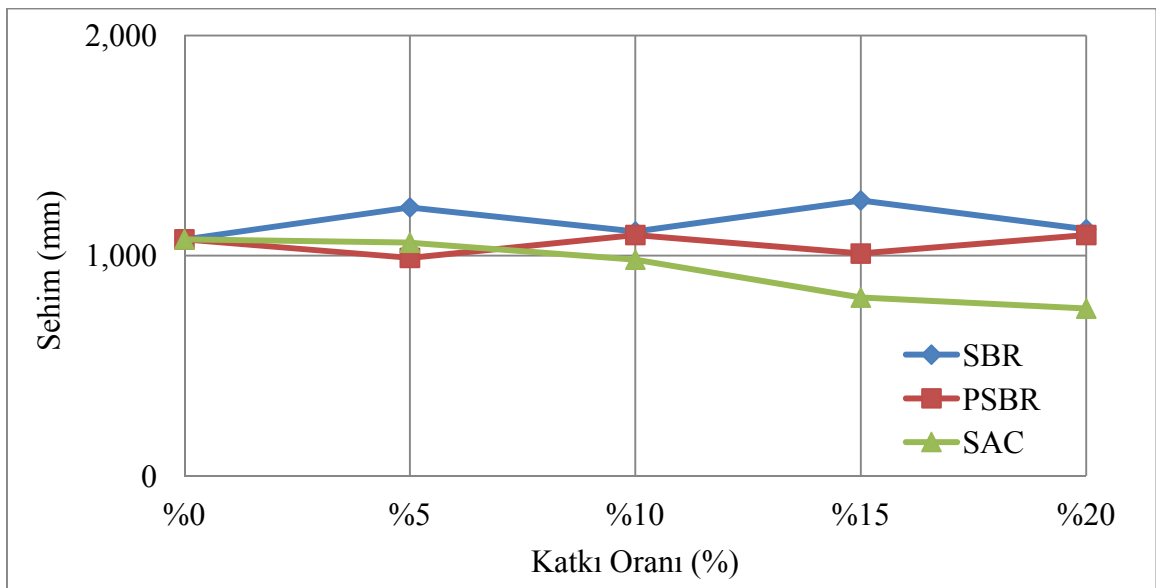
Katkı Oranı (%)	Sehım (mm)								
	0 Döngü			100 döngü			200 döngü		
	SBR	PSBR	SAC	SBR	PSBR	SAC	SBR	PSBR	SAC
0	1.200	1.200	1.200	1.074	1.074	1.074	0.766	0.766	0.766
5	1.128	1.140	1.186	1.219	990	1.059	0.964	1.124	0.860
10	1.131	1.290	0.848	1.110	1.094	0.982	0.956	1.216	0
15	1.180	1.124	0.755	1.251	1.010	0.810	1.133	1.177	-
20	1.143	1.239	0.734	1.120	1.094	0.760	0.980	1.166	-

Yapılan deneyler sonucunda 0 döngü için numunelerin sehım sonuçlarının değişimi Şekil 3.23’de verilmiştir. Bu kısım daha önce en uygun kür koşulunu belirleme deneylerinde olduğu gibi yapılmış olup değişimler gözlemlenmiştir.



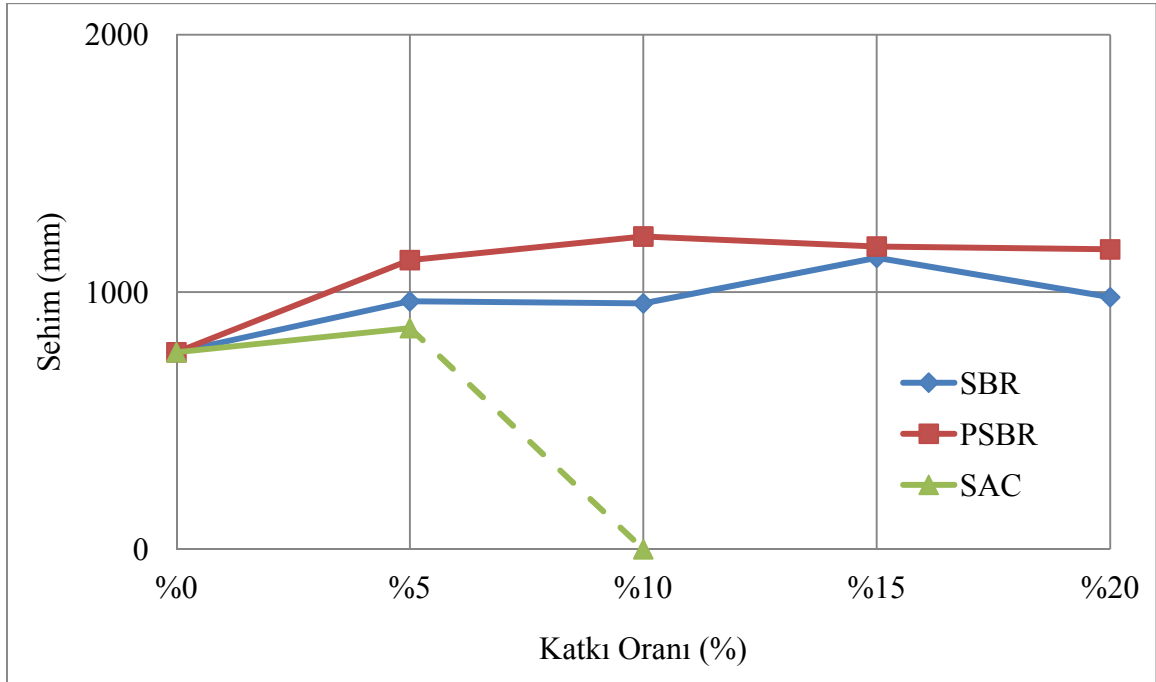
Şekil 3.23. 0 döngü sonunda polimer oranı ile sehım değeri arasındaki ilişki

100 donma-çözülme döngüsü sonucunda numunelerin sehim değerlerinin grafiksel olarak değişimi Şekil 3.24'te gösterilmiştir. Bu döngüde kontrol numuneleri için sehim değeri 1.074 mm olarak ölçülmüş olup 0 döngüdeki kontrol numunelerinde %10 daha düşük gözlemlenmiştir. PSBR katkısının %10 oranında kullanılması halinde 0 döngüdeki aynı oranına göre %15 oranında daha az gözlemlenmiştir fakat 100 döngüdeki kontrol numunesi ile kıyaslandığında azda olsa daha fazla çıktığı gözlemlenmiştir. PSBR katkısının %20 oranı için ise sehim değeri 1.220 mm olarak ölçülmüştür ve 0 döngüdeki aynı oranı ile neredeyse aynı ölçülmüştür. Aynı şekilde 100 döngüdeki kontrol numunesi ile kıyaslandığı zaman %11 oranında daha fazla çıktığı gözlemlenmiştir. SAC katkı malzemesi için %5 oranında kullanıldığında sehim değeri 1.059 mm olarak ölçülmüş olup aynı katkı oranına sahip 0 döngü değerine göre %10 daha düşük. 100 döngüdeki kontrol numunesi ile kıyaslandığında ise sadece %1 oranında daha düşük çıktığı gözlemlenmiştir. SBR polimer katkısı bu donma-çözülme döngüsünde oldukça olumlu sonuçlar elde edilmiştir. SBR katkısının %5 katkısı için sehim değeri 1.219 mm olarak ölçülmüş olup hem 0 döngüdeki aynı oranı ile neredeyse aynı sonuç elde edilmiştir ve 100 döngüdeki kontrol numunesine göre %12 oranında daha fazla ölçülmüştür. Aynı şekilde SBR katkısının %15 oranında sehim 1.251 mm olarak ölçülmüştür ve 0 döngüdeki aynı oranına göre %5 daha fazla. 100 döngüde ki kontrol numunesine göre ise %14 oranında daha fazla gözlemlenmiştir. 100 donma-çözülme döngüsü için kontrol numunelerinde sehim değeri düşmüştür fakat katkılı numunelerde bu düşüşler oldukça sınırlı olmuştur.

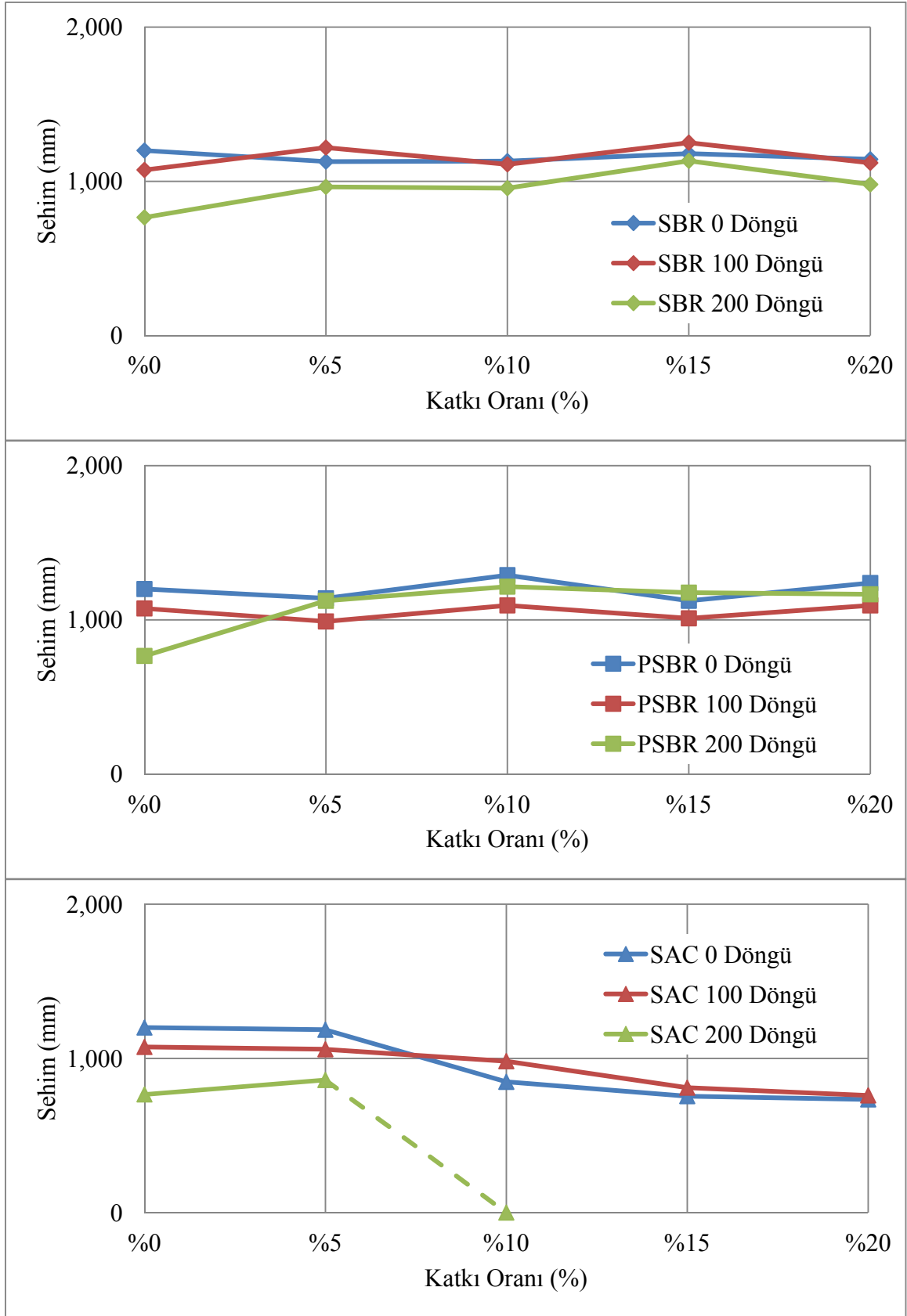


Şekil 3.24. 100 döngü sonunda polimer oranı ile sehim değeri arasındaki ilişki

200 donma-çözülme döngüsü sonucunda numunelerin sehim değerlerinin değişimi Şekil 3.25'te gösterilmiştir. Kontrol numuneleri için sehim değeri oldukça düşük çıkarak 0.766 mm olarak ölçülmüştür ve 0 döngüdeki kontrol numunelerine göre %36 oranında azalmıştır. PSBR katkısının %10 oranında kullanılması halinde sehim değeri 1.216 mm olarak ölçülmüştür ve 0 döngüdeki aynı oranı ile neredeyse aynı gözlemlenmiştir fakat 200 döngüdeki kontrol numunesi ile kıyaslandığında %37 oranında daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. SAC polimer katkısının %5 oranında kullanılması halinde 0 döngüdeki aynı oranına göre %27 az fakat 200 döngüdeki kontrol numunesine göre %10 daha fazla gözlemlenmiştir. SAC polimer katkısının %10 oranında kullanılması halinde 200 döngü için numuneler parçalandığı için sehim ölçümü yapılamamıştır. Polimer modifiyeli numuneler donma-çözülme deneyleri boyunca sehim değerlerinde birbirine yakın değerler vermiştir ve katkısız numunelere göre daha az düşüşler göstermiştir. Donma-çözülme döngüleri sonunda polimerle iyileştirmenin harçların sehim değerine etkisi genel olarak Şekil 3.26'da gösterilmiştir.



Şekil 3.25. 200 döngü sonunda polimer oranı ile sehim değeri arasındaki ilişki



Şekil 3.26. Donma-çözülme döngülerinin, polimerle iyileştirilmiş harçların sehim değerine etkisi

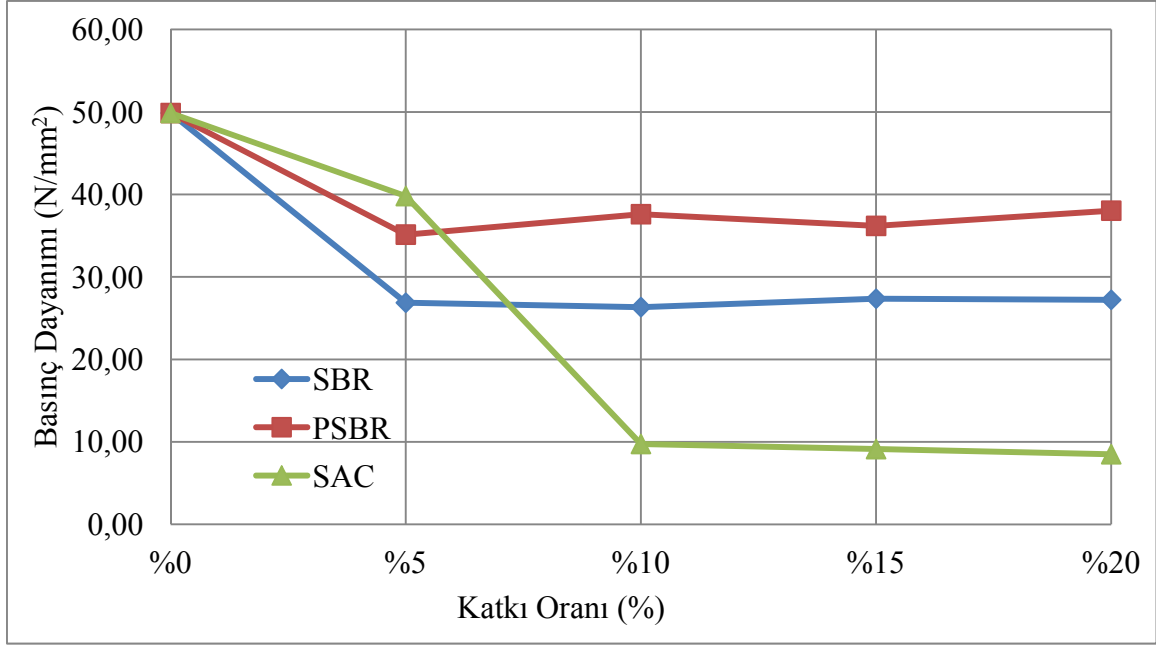
3.3.3. Donma-Çözülme Etkisindeki Polimerle İyileştirilmiş Harçların Basınç Dayanımlarının Değişimi

Eğilme dayanımı ve sehim ölçümü yapıldıktan sonra numuneler basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. 3 farklı donma-çözülme döngüsüne tabi tutulan numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda, döngülerin polimerle iyileştirilmiş harçların basınç dayanımına etkisi Tablo 3.9’de gösterilmiştir.

Tablo 3.9. Donma-çözülme etkisinde polimerle iyileştirilmiş harçların basınç dayanımı

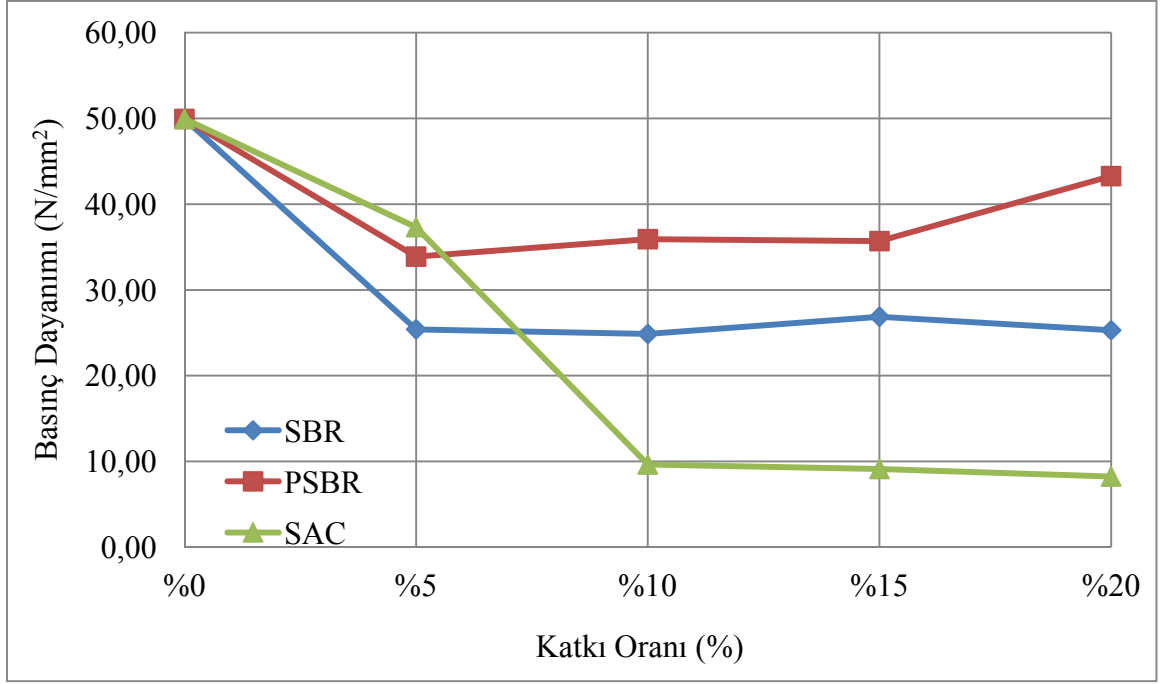
Katki Oranı (%)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)								
	0 Döngü			100 döngü			200 döngü		
	SBR	PSBR	SAC	SBR	PSBR	SAC	SBR	PSBR	SAC
0	49.88	49.88	49.88	49.94	49.94	49.94	37.58	37.58	37.58
5	26.88	35.13	39.81	25.40	33.89	37.31	25.00	33.56	34.47
10	26.34	37.60	9.74	24.87	35.93	9.63	24.67	34.89	0.00
15	27.36	36.18	9.13	26.88	35.70	9.11	25.44	35.54	-
20	27.22	38.03	8.50	25.30	43.27	8.23	25.12	37.63	-

Elde edilen sonuçlar grafik ortama aktarılarak değişimler gözlemlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 0 donma-çözülme döngüsü için basınç dayanımının değişimi Şekil 3.27’de gösterilmiştir. Çalışmanın birinci kısmında bu işlem aynı şekilde yapıldığı için burada sadece sonuçlar verilmiştir.



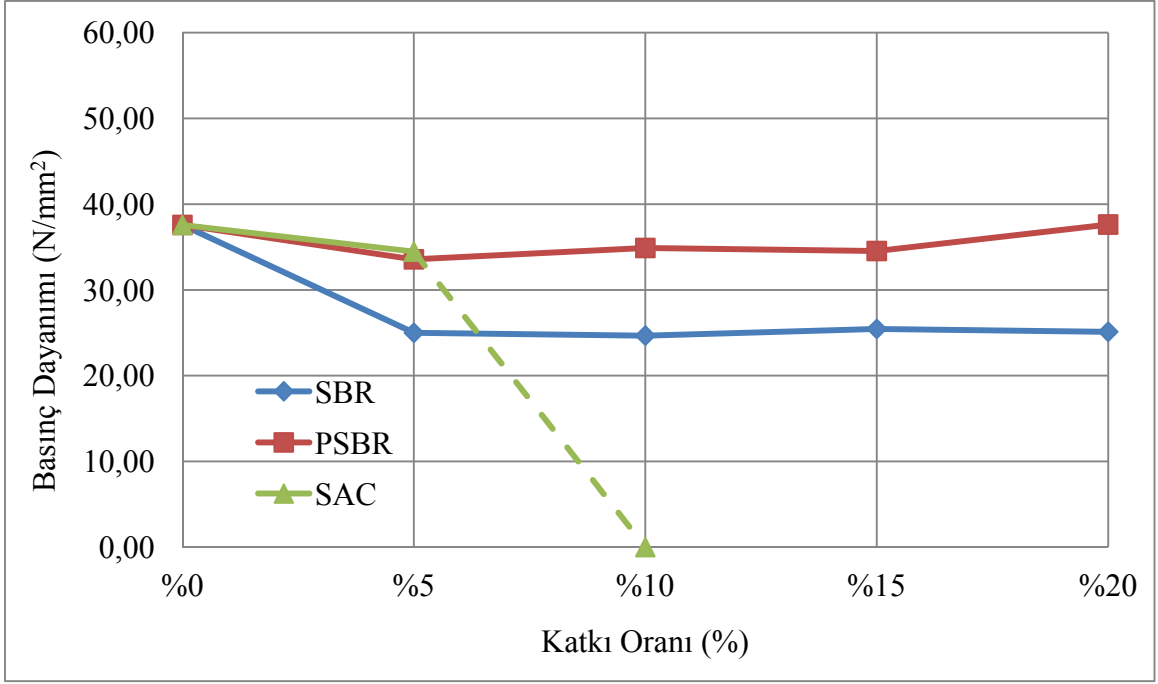
Şekil 3.27. Kontrol örneklerinin (0 döngü) polimer oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

100 donma-çözülme döngüsü sonucunda numunelerin basınç dayanımı değerlerinin grafiksel olarak değişimi Şekil 2.28'da gösterilmiştir. 100 donma-çözülme döngüsü sonunda kontrol numunelerinin basınç dayanımı 49.94 N/mm^2 olarak ölçülmüştür ve 0 döngüdeki kontrol numunesi ile aynı sonucu vererek donma-çözülmeden etkilenmemiştir. PSBR polimer katkısının %10 oranında kullanılması halinde basınç dayanımı 35.93 N/mm^2 olarak ölçülmüştür ve 0 döngüdeki aynı oranına göre %4 oranında. 100 döngüdeki kontrol numunesine göre ise %28 oranında daha az gözlemlenmiştir. SAC katkısının %5 oranında kullanılması halinde basınç dayanımı 37.31 N/mm^2 olarak ölçülmüştür ve 0 döngüdeki aynı oranında göre %6, 100 döngüdeki kontrol numunesine göre ise %25 daha düşük gözlemlenmiştir. SAC katkısının %10 oranında kullanılması halinde basınç dayanımında çok büyük düşüşler gözlemlenmiştir fakat 0 ve 100 donma-çözülme döngüleri sonunda basınç dayanımları neredeyse aynı çıkmıştır. SBR katkısının %5 ve %15 oranında kullanılması halinde 100 donma-çözülme döngüsü için basınç değerleri sırasıyla 25.40 ve 26.88 N/mm^2 olarak birbirine çok yakın gözlemlenmiştir ve sıfır döngüdeki aynı oranlarına göre neredeyse değişim gözlenmemiştir.

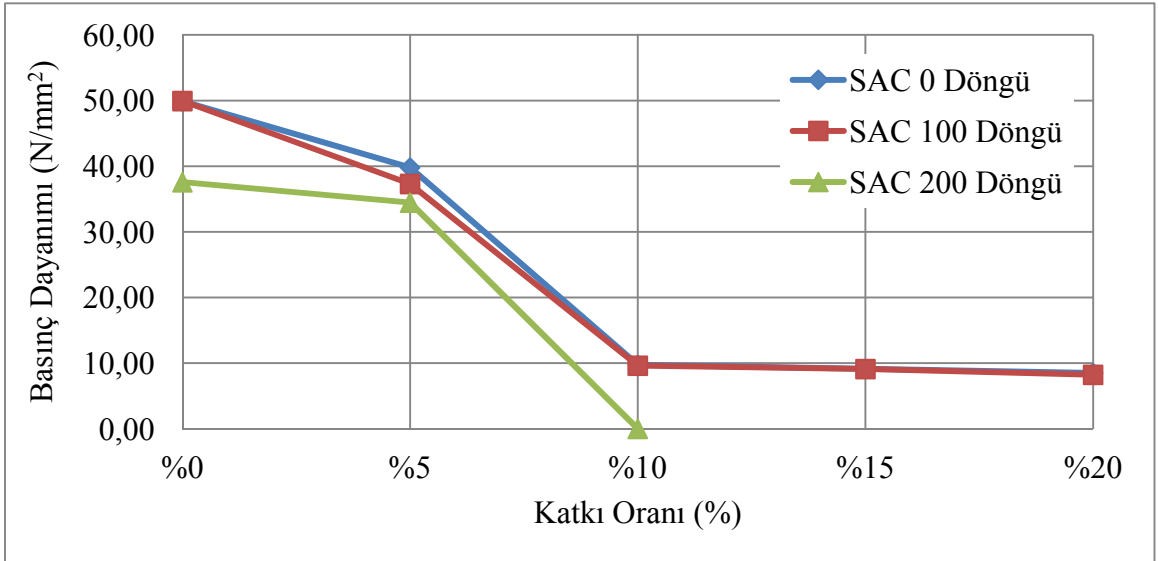
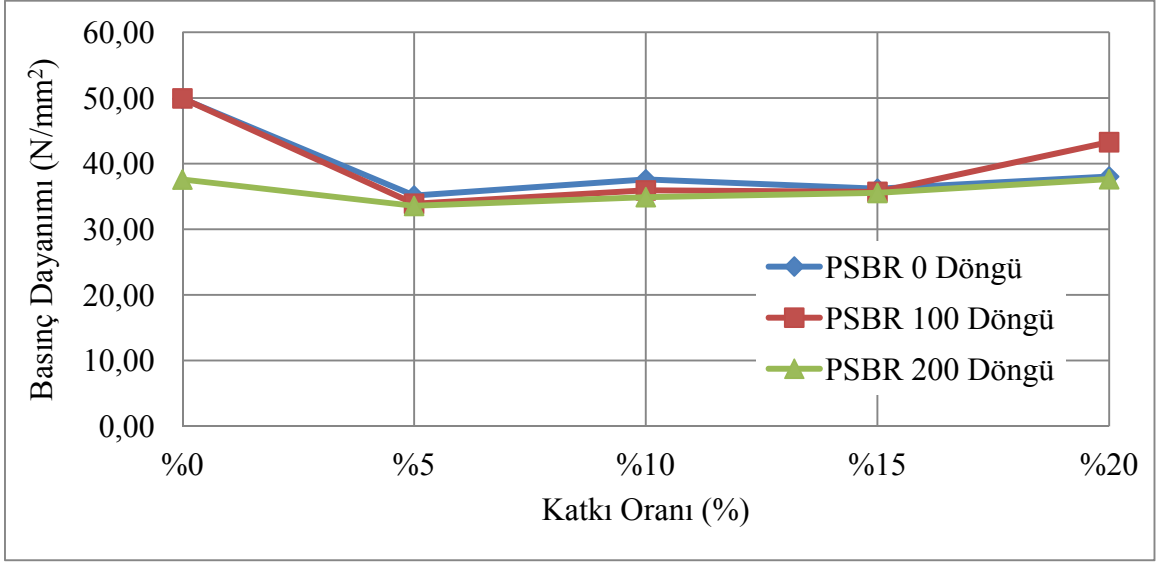
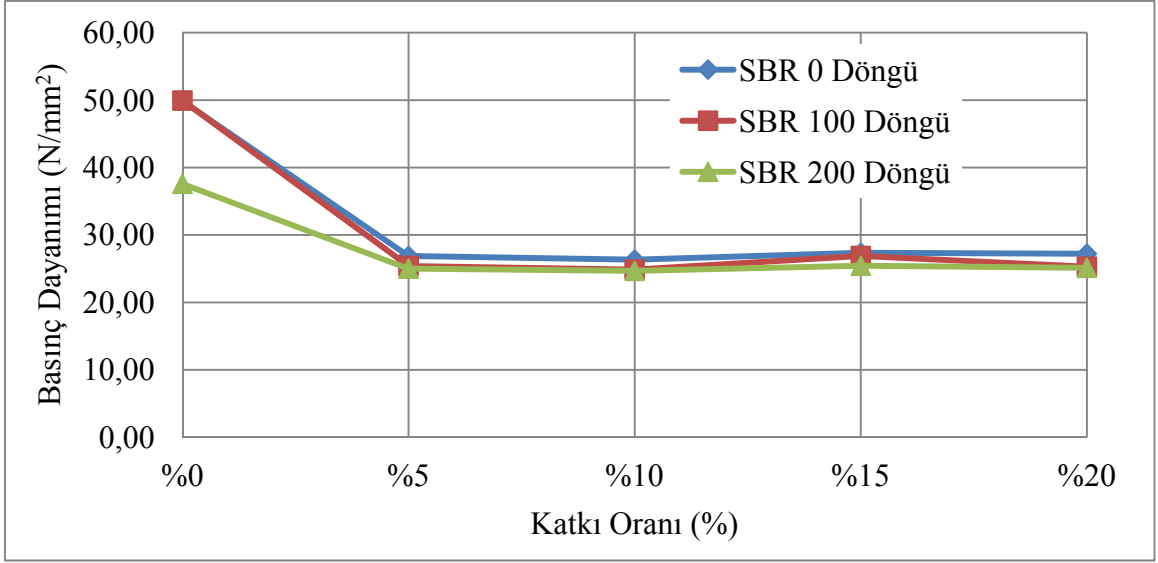


Şekil 3.28. 100 döngü sonunda polimer oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

200 donma-çözülme döngüsü sonucunda numunelerin sehim değerlerinin grafiksel olarak değişimi Şekil 3.29’de gösterilmiştir. 200 döngünün sonunda kontrol numunelerinin basınç dayanımı 37.58 N/mm² olarak ölçülmüştür ve 0 döngüdeki kontrol numunelerine göre %24 oranında daha düşük gözlemlenmiştir. PSBR polimer katkısının %10 ve %20 oranında kullanılması halinde basınç dayanımları sırasıyla 34.89 ve 37.63 N/mm² olarak birbirine oldukça yakın ölçülmüştür ve hem 0 döngüdeki aynı oranlarına göre hem de 200 döngüdeki kontrol numunesine göre neredeyse değişim göstermemiştir. SAC katkısının %5 oranında kullanılması halinde basınç dayanımı 34.47 N/mm² olarak 0 döngüdeki aynı oranından %12. 200 döngüdeki kontrol numunesinden %8 daha düşük gözlemlenmiştir. SBR katkısının %5 ve %15 oranlarında basınç dayanımı yaklaşık 25 N/mm² neredeyse her iki oranda da aynı çıkmıştır. SBR polimer katkısının 3 farklı döngüde de basın dayanımları iki oran içinde birbirine yakın değerler çıkmıştır ve bu açık olarak SBR katkılı numunelerin donma-çözülme döngülerin etkilenmediğini göstermiştir. Donma-çözülme döngülerine maruz kalan harçların basınç dayanımlarının değişimi Şekil 3.30’da gösterilmiştir.



Şekil 3.29. 200 döngü sonunda polimer oranı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 3.30. Donma-çözülme döngülerinin, polimerle iyileştirilmiş harçların basınç dayanımına etkisi

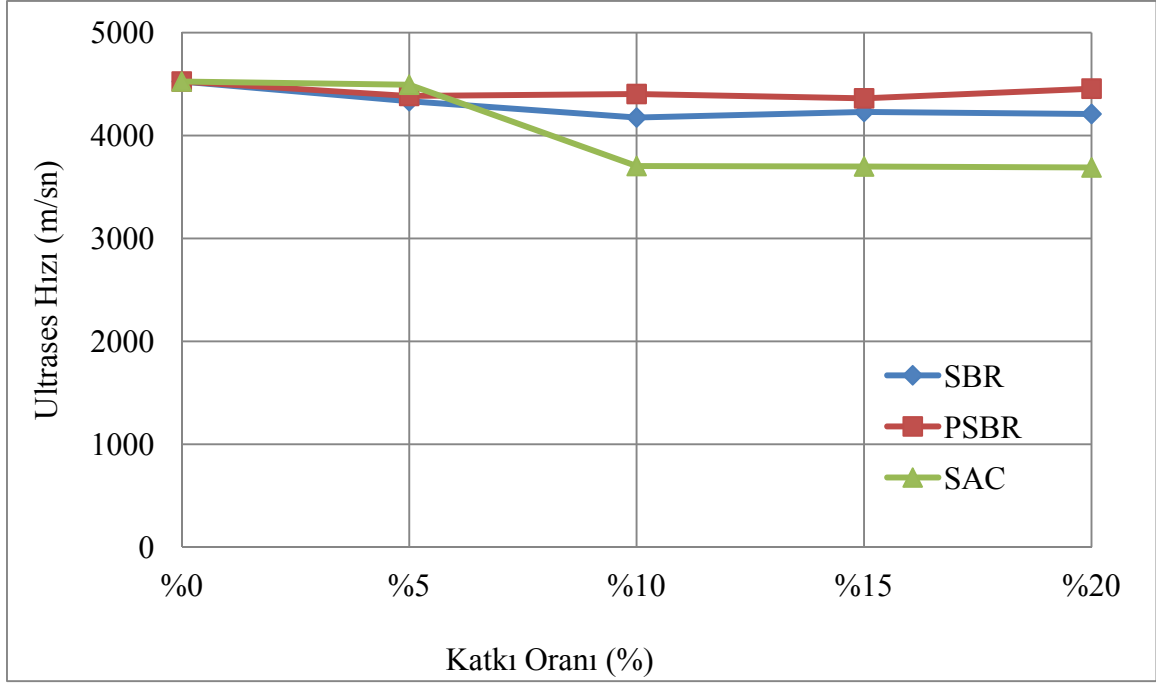
3.4. Donma-Çözülme Etkisindeki Polimerle İyileştirilmiş Harçların Ultrases Hızına Değişimi

Polimerle iyileştirilmiş çimento hamurlarında ultrases hızının değişimi, 3 farklı donma-çözülme döngüsü için numuneler üzerinde yapılan deneyler ile gözlemlenmiş olup elde edilen sonuçlar Tablo 3.10’da verilmiştir.

Tablo 3.10. Polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının donma-çözülme döngüleri sonunda ultrases hızları

Katkı Oranı (%)	Ultrases hızı (m/sn)								
	0 Döngü			100 döngü			200 döngü		
	SBR	PSBR	SAC	SBR	PSBR	SAC	SBR	PSBR	SAC
0	4525	4525	4525	4365	4365	4365	3857	3857	3857
5	4334	4385	4494	4255	4215	4493	4231	4062	4447
10	4175	4404	3704	4090	4311	3768	4028	4280	0
15	4230	4362	3700	4152	4236	3743	4178	4087	-
20	4210	4456	3690	4115	4309	3517	3987	4279	-

Yapılan deneyler sonucunda 0 donma-çözülme döngüsüne maruz kalan numunelerin ultrases değerlerinin değişimi Şekil 3.28’de grafiksel olarak incelenmiştir. Ultrases hızı, deney aletinin gönderdiği titreşim dalgalarının numune içerisinden geçiş mesafesine ve süresine bağlıdır. Kullanılan numune ne kadar homojen ve boşluksuz bir yapıya sahipse ultrases hızı o kadar fazla çıkar. Başka bir ifade ile ultrases hızı yüksek çıkıyorsa malzememiz homojen ve düzgün dağılımlıdır diyebiliriz. Beton için en iyi sonuçlar 4000-4500 m/sn arasındadır.

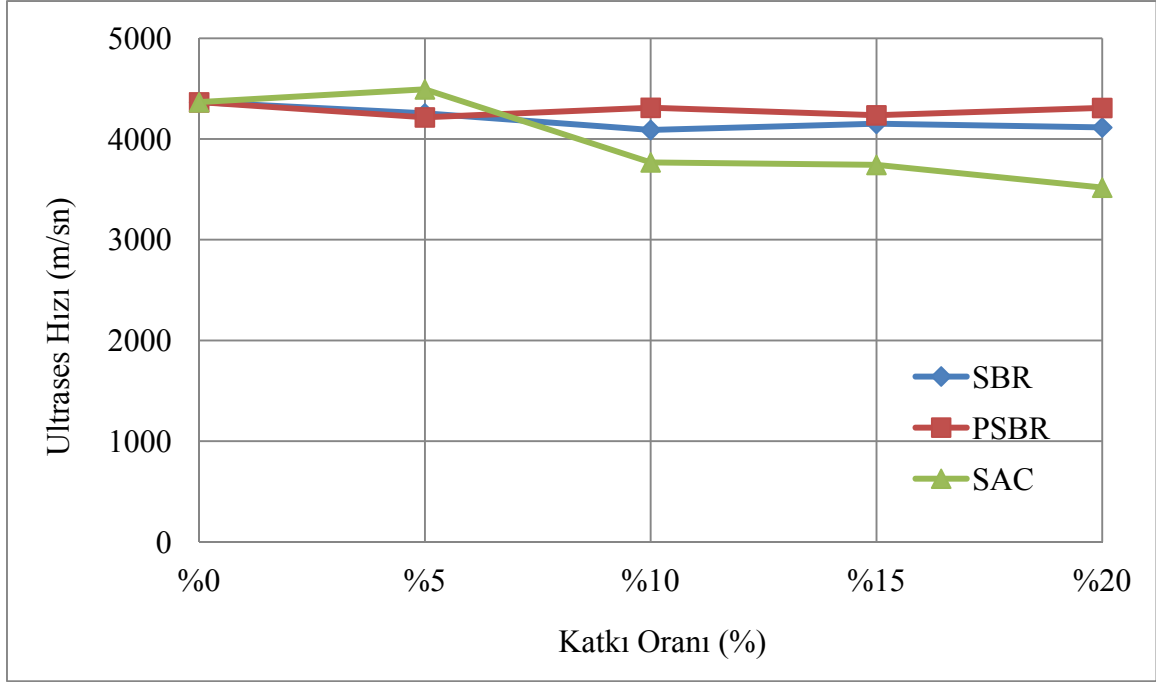


Şekil 3.31. Polimerle iyileştirilmiş kontrol numuneleri ile ultrases hızı arasındaki ilişki

Yapılan deneyler sonucunda %0 katkılı kontrol numunesinin ultrases hızı 4525 m/sn olarak ölçülmüştür. Polimer modifiyeli numunelerin ultrases hızları kontrol numunesinin ultrases hızı değerinden küçük miktarlarda daha düşük çıkmıştır. SBR ve PSBR katkılı numunelerin tüm oranlarında ultrases hızları kendi içerisinde birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Fakat SAC polimer katkılı numuneler %5 oranında kontrol numunesine yakın sonuç verirken %10 katkı oranında ultrases hızı 3704 m/sn çıkararak kontrol numunesinden %18 oranında daha az ölçülmüştür. SAC katkılı numunelerin ultrases hızı 4000 m/sn'den düşük ölçülmüş olup bu sonuçlara göre dayanımların düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Yapılan deneyler sonucunda 100 döngü sonunda numunelerin ultrases hızı değerleri Şekil 3.29'de grafiksel ortama aktarılarak değişimi gözlemlenmiştir. 100 donma-çözülme döngüsü sonucunda kontrol numunelerinin ultrases hızı 4365 m/sn olarak 0 döngü sonundaki kontrol numunesinden yaklaşık %4 daha düşük ölçülmüştür. PSBR polimer katkısının iki katkı oranında da ultrases hızı yaklaşık 4310 m/sn olarak 0 döngüdeki aynı oranlara göre %3-4 oranında daha düşük ölçülmüştür. SBR katkısının %5 oranında ultrases hızı 4255 m/sn olarak 0 döngüdeki aynı orana göre %2 oranında daha düşük gözlemlenmiştir. SBR polimerinin %15 oranında da ultrases hızı 4152 m/sn çıkararak 0 döngüdeki aynı oranından %2 oranında daha düşük gözlemlenmiştir. SAC katkısının iki

katkı oranında da 0 döngüdeki sonuçlar ile oldukça yakın değerler elde edilmiştir. SAC katkısının %10 oranında diğer katkı malzemelerinden farklı olarak daha büyük bir düşüş gözlemlenmiştir. 100 döngü sonunda katkılı numunelerin hiç birinde bu döngüdeki kontrol numunesinin ultrases hızı değerinden daha büyük bir değer elde edilememiştir.

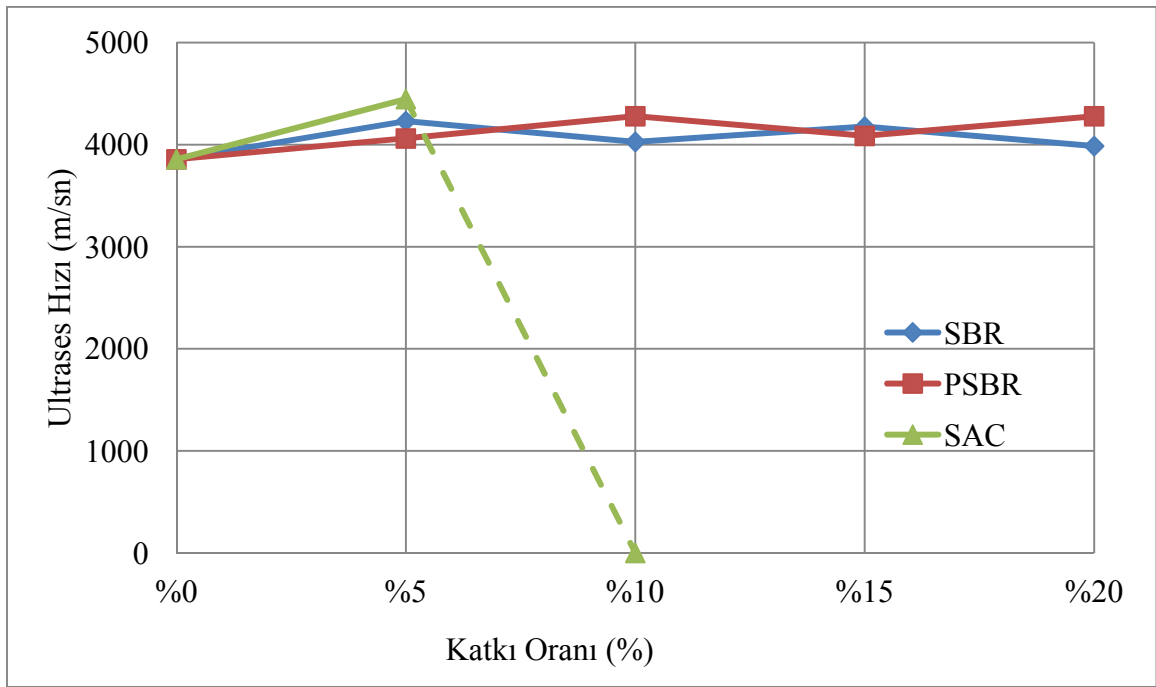


Şekil 3.32. 100 döngü sonunda ultrases hızı ile katkı oranı arasındaki ilişki

Yapılan deneyler sonucunda 200 döngü sonunda numunelerin ultrases hızı değerleri Şekil 3.30'de grafiksel ortama aktarılarak değişimi gözlemlenmiştir. 200 donma-çözülme döngüsü sonunda kontrol numunesini ultrases hızı değeri 3857 m/sn olarak 0 döngüdeki kontrol numunesinden %14 oranında daha düşük ölçülmüştür. Bu donma-çözülme döngüsü sonunda da PSBR katkılı numunelerin ultrases hızı değerleri yaklaşık olarak 4280 m/sn olarak 0 döngüdeki aynı oranlarına göre yaklaşık %4 daha düşük gözlemlenmiştir. SBR katkısının %5 oranında ultrases hızı 4231 m/sn olarak 0 döngüdeki kontrol numunesinden %2 oranında daha düşük gözlemlenmiştir. SBR katkısının %15 oranında ise ultrases hızı 4178 m/sn olarak 0 döngüdeki kendi oranından %2 oranında daha düşük gözlemlenmiştir. SAC katkısının %5 oranında ultrases hızı 4447 m/sn olarak 0 döngüdeki aynı oranı ile neredeyse aynı ölçülmüştür. SAC katkısının %10 oranında ise ultrases hızı 3417 m/sn olarak ölçülmüş olup bu değer deneysel çalışmalar boyunca ölçülen en düşük ultrases hızı değeridir. 200 donma-çözülme döngüsü sonunda katkılı numunelerin ultrases hızı değerleri

SAC katkısının %10 oranı haricinde bu döngüdeki kontrol numunesi değerinden daha büyük çıkmıştır.

Kontrol numunelerinin ultrases hızı değerleri önce 100 döngüde arda da 200 döngü sonunda düşen eğilim göstermiştir. Katkılı numunelerin ultrases hızı değerleri ise 0 döngüde düşmüştür fakat artan donma-çözülme döngülerinde kontrol numunesi değerlerinden daha büyük değerler elde edilmiştir. Bunun sonucunda polimer katkının numunelerin ultrases hızı değerine olumlu yönde katkı sağladığını söylemek mümkün olmaktadır.



Şekil 3.33. 200 döngü sonunda ultrases hızı ile katkı oranı arasındaki ilişki

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Farklı kür koşulları ile polimer tür ve oranlarının harçların mekanik, fiziksel ve donma-çözülme direnci özelliklerine etkilerinin incelendiği bu çalışmada; temel amaçlara bağlı olarak elde edilen sonuçlar alt başlıklar altında aşağıda özetlenmiştir:

i. Polimerle iyileştirilmiş harçların fiziksel özelliklere etkisi;

1. Polimerle iyileştirme, geleneksel harçlara su emme ve su işleme derinliği özellikleri yönünden oldukça önemli katkılar sağlamıştır. Özellikle SBR ve PSBR polimer katkıları harçlara %20 oranında katılmaları halinde, su işleme derinliği değerlerinde %80'e varan azalmalar tespit edilmiştir. Benzer şekilde bu iki malzemenin özdeş katkı oranları için su emme değerlerinde %40-50 düzeyinde azalmalar gözlemlenmiştir.

2. Tüm polimer katkı malzemelerinin tüm oranlarında birim kütleler belirli oranlarda düşüş göstermiştir.

3. Katkılı numunelerden alınan ince kesit örnekleri incelendiğinde, polimer katkılı numunelerin çimento hamuru görünümü, katkısız kontrol numunesine göre daha açık renkte olduğu gözlemlenmiştir. Hamur içindeki boşluklarda polimer birikimlerinin gözlemlenmemesi polimerin hamura bağdaşık olarak dağıldığının göstergesidir. PSBR ve SBR katkılı numunelerde çatlaksız ve boşluksuz bir görünüm elde edilirken, SAC katkılı numunelerde boşluklu ve oldukça çatlaklı bir yapı gözlemlenmiştir. Bunun sonucunda SBR ve PSBR katkılarının fiziksel özellikleri geliştirdiği, SAC katkısının ise düşürdüğü tespit edilmiştir.

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

1. Yapılan çalışmalar sonucunda polimerle iyileştirilmiş çimento harçlarının kür koşulları bazında mekanik özelliklerindeki değişimleri incelendiğinde, en uygun kür koşulunun 1. Kür koşulu (dışarıda günde iki kez sulama) olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, polimer malzemenin su ile teması azaldıkça polimerleşmenin arttığı ve aynı zamanda günde iki kez sulamanın çimento hamurunun hidrasyonu için gereken su kaynağını da yeterli düzeyde sağlayabildiği anlaşılmaktadır.

2. Uygulanan deneyler sonucunda polimer oranı ile eğilme dayanımındaki değişim göz önünü alındığında kullanılan malzemeler içinde en uygun polimer malzemelerinin SBR ve PSBR olduğu gözlemlenmiş olup en uygun katkı oranının eğilme dayanımında yaklaşık %20-25 oranında artış elde edilen bu iki malzemenin %20 katkı oranı olduğu tespit edilmiştir. SAC polimer katkı malzemesinin her oranı için ise eğilme dayanımında büyük düşüşler gözlemlenmiştir.

3. Yine bu numuneler için basınç dayanımları göz önüne alındığında, tüm polimer katkılı numunelerin basınç dayanımlarında düşüş görülmüştür. Ancak SBR ve PSBR için özellikle %20 oranlarında bu düşüşler %15-20 aralığında kabul edilebilir düzeyde kalmıştır.

iii. Polimerle iyileştirilmiş harçların donma-çözülme etkisi altında mekanik özelliklerindeki değişim:

1. Donma-çözülme etkisi altında 0, 100 ve 200 döngü sonunda bu döngülerdeki kontrol numunelerinin eğilme dayanımları sırasıyla 6.42, 5.60 ve 3.16 N/mm² olarak ölçülmüştür ve artan döngülerde dayanım düşmüştür. 200 döngü sonunda kontrol numunesinin (katkısız) eğilme dayanımı 3.16 N/mm² çıkarken %15 SBR katkısında 5.77 N/mm² ve %20 PSBR katkısında 6.63 N/mm² ölçülerek yaklaşık %40-50 oranında artış gözlemlenmiştir. Çok boşluklu bir yapıda olan %10 SAC katkılı numuneler ise donma-çözülme etkisinden dolayı parçalanmıştır.

2. Eğilme dayanımlarına benzer şekilde sehim değerleri de katkısız numuneler için artan donma-çözülme döngülerinde düşmüştür. Fakat katkılı numunelerde bu düşüşler çok az ölçülmüştür. Kontrol numunelerini sehim değerleri 0, 100 ve 200 döngü sonunda sırası ile 1.200, 1.074 ve 0.766 mm'ye düşerek donma-çözülmeden olumsuz etkilenmiştir. 200 döngü sonunda %20 PSBR ve %15 SBR katkılı numunelerin sehim değerleri sırası ile 1.133 ve 1.166 mm olarak, bu döngü sonundaki kontrol numunesi değerinden (0.766 mm) yaklaşık %32-34 oranında daha yüksek olarak gözlemlenmiştir. SAC katkısının %5 oranında sehim değeri 0.860 mm olarak kontrol numunesinden %11 oranında daha büyük ölçülmüştür fakat %10 SAC katkılı numunelerin sehim değeri ölçülememiştir.

3. Donma-çözülme döngülerinin sonunda katkısız numuneler için 0, 100 ve 200 döngü sonunda basınç dayanımları sırası ile 49.88, 49.94 ve 37.58 N/mm² çıkarak genel olarak düşen bir davranış gösterse de 100 döngüye kadar önemli bir fark ortaya çıkmamıştır. 200 donma-çözülme döngüsü sonunda %20 PSBR katkılı numunelerin basınç

dayanımı 37.63 N/mm² olarak 200 döngü sonundaki kontrol değeri (37.58 N/mm²) ile eşit düzeyde sonuç vererek düşüş göstermemiştir. %15 SBR katkılı numunelerin basınç dayanımı 25.44 N/mm² ölçülerek kontrol değerinden %32 oranında daha düşük ölçülmüştür.

4. Donma-çözülme döngüsüne maruz kalmış numuneler üzerinde yapılan ultrases testleri sonucunda 0, 100 ve 200 döngü sonunda katkısız numunelerin ultrases hızı değerleri 4524, 4365 ve 3857 m/sn ölçülerek artan döngülerde ultrases hızı değerleri düşmüştür. 200 döngü sonunda %5 SBR katkılı numunenin ultrases hızı 4321 m/sn olarak kontrol değerinden (3857 m/sn) yaklaşık %11 daha yüksek çıkmıştır. Yine %20 PSBR katkılı numunenin ultrases hızı değeri ise 4279 m/sn olarak kontrol değerinden %10 daha yüksek çıkarak polimer katkıların donma çözülme etkisi altında harçların mekanik özelliklerini olumlu yönde etkidiğini göstermiştir.

5. Netice itibariyle hem donma-çözülme döngülerine maruz hem de maruz olmayan harç katkıları için SBR katkısının %5 ve %15, PSBR katkısının ise %10 ve %20 katkı oranları mekanik özellikler bakımından çimento hamuruna olumlu yönde katkı sağlamıştır. Bunun yanı sıra SAC katkısı mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilemiştir.

5. KAYNAKÇA

- ACI Commitee 201, 1992. Guide to Durable Concret, ACI 201.2R-92, 39 pp.
- ACI Committee 548, 1985. *Polymers in Concrete*, SP-89, American Concrete Institute.
- Aitcin, P. C., 1998. High Performance Concrete, E&FN Spon, London, 591 pp, ISBN 0-419-19270-0.
- Akman, M.S., 1990. Yapı Malzemeleri, 2. Baskı, İTÜ, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Allan, A., William, H., 2006. Some Properties of Polymer-Impregnated Cements and Concrete, J Am Ceram Soc, 54, 282-5.
- Altıntaş, A., 2013, Organik Kimya Ders Notları, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- ASTM C 597, 1994. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of ASTM Standarts.
- Ataş, Z., 2013. Hava Sürükleyici ve Lif Katkısı İçeren Çimento Harçlarının Donma-Çözülme Etkisi Altında Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane.
- Bae, K.S., Oh, S.K., Chang, J.H., 2012. A Study on the Performance Test of Waterproofing and Anti-Corrosion Materials Mixed with Cement Composite Polymer and Epoxy Resins for Water-Processing of Concrete Structures, ITU, ASPIC, pp 105.
- Balaga, A., ve Beaudoin, J.J., 1995. *Polymer Concrete*, Canadian Building Digest.
- Baradan, B., ve Aydın, S., 2012, Betonun Durabilitesi (Dayanıklılık, Kalıcılık), Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). D.E.Ü. Müh. Fak. Yayın No 298, İzmir.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., 2010. Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- Barluenga, G., Hernandez-Olivares, F., 2004. SBR latex modified mortar rheology and mechanical behavior. Cement and Concrete Research, 34, 527-535.
- Baysal, B., 1994, Polimer Kimyası (Genişletilmiş 2. Baskı), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Beşergil, B., 2003. Polimer Kimyası, Celal Bayar Üniversitesi, Gazi Kitabevi.
- Bureau, L., Alliche, A., Pilvin, P., Pascal, S., 2001. Mater. Sci. Eng. A30, 231.

- Chandra, S., Ohama, Y., 1994. *Polymers in Concrete*. Boca Raton, FL.: CRC Press.
- Chen, B., ve Liu, J., 2007. “Mechanical Properties of Polymer–Modified Concretes Containing Expanded Polystyrene Beads”, *Construction and Building Materials*, V.21, pp. 7-11.
- Chmielewska, B., 2007, Adhesion Strength and Other Mechanical Properties of SBR Modified Concrete, In: 12th International Congress on Polymer in Concrete, Chuncheon-Krea, pp:157-66.
- Cresson, L., 1923. *British Patent 191,474*, Jan. 12.
- Çavdar, A., 2014. Investigation of Freeze-Thaw Effects on Mechanical Properties of Fibre Reinforced Cement Mortars, Composites Part B: Engineering (ISI), *Volume 58, March, Pages 463-472*.
- Çopuroglu, O., 2006. The characterisation, improvement and modelling aspects of Frost Salt Scaling of Cement-Based Materials with a High Slag Content. Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, Delft, pp.182.
- Çökeliler, D., 2010. *Polimer Kimyası*, Başkent Üniversitesi, Ankara.
- De Puy, G.W., Dikeou, J.T., 1973. *Polymer in Concrete*, Publication SP-40, American Concrete Institute, Detroit, Mich. P.33.
- 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.
- Erdoğan, T., Y., 2003. *Beton*, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Erdoğan, T., Y., 2003. *Beton*, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Fagerlund, G., 1977. *Materiaux et Constructions*, Paris, 10: 217–230; *biel.* 231–251.
- Fowler, D.W., 1999. *Polymers in concrete a vision for the 21st century*, The University of Texas, USA.
- Griffiths, L. H., 1951. “Floor Surfacing for Food Processing Plants,” *Food Manufacture*, V. 26, No. 9, pp. 369-372.
- Hollaway L., 1993. “Polymer and Polymer Composites for Civil and Structural” Engineering, Blackie Academic and Professional, Glasgow.
- Hongyan Ma ve Zong Li, 2013. Microstructures and mechanical properties of polymer modified mortars under distinct mechanisms.

- Keampfer, W., ve Berndt, M., 1998. Poymer modified with high resistance to acid and to corrosion by biogenous sulfuric acid, in: Proceeding of the XIth ICPIG Congress, Bologna, pp 681-687.
- Kirkpatrick, S. M., 1925. *British Patent 242, 345*, Nov. 6.
- Kurbetci, Ş., Erdoğan, Ş., Öztürk, M., 2012. Some Physical and Mechanical Properties of Polymer Modified Lightweight Concrete Produced with SBR Latex, ASPIC, ITU, pp455-464.
- Lefebure, V., 1924. *British Patent 217, 279*, June 5.
- Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., 2006. Concrete: Microstructure, Properties and Materials. McGraw-Hill Professional Publishing third edition, USA, 684p.
- Miller, M., 2005. Polymers in cementitious materials. Shawbury, UK: Rapra Technology.
- Mirza, J., Mirza, M.S., Lapointe, R., 2002. Lobaratory and Field Performance of Polymer and Cement Based Repair Mortar in Cold Climates Construction Building Materials, 16, 365-374.
- Monteny J., Belie, N., Vincke, E., Vertraete, W., Taerwe, L., 2001. Chemical and Microbiological Tests to Simulate Sulphuric Acid Corrosion of Polymer Modified Concrete, Cement and Concrete Research, 31, 1359-65.
- Monteny J., Belie, N., Vincke, E., Vertraete, W., Taerwe, L., 2001. Simulation of Corrosion in Sewer System by Laboratory Testing, in: Proceedings of the Fib-Symposium Concrete Environment, Berlin-Germany, pp:91.
- Moreira, P., Aguiar Jose, B., 2006. Aires Camoes-Systems for Superficial Protection of Concrete, In: ISPIC 2006 Internation Symposium on Polymer in Concrete, Guimaraes, Portugal, pp:225-36.
- 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.
- Neville A. M., 1997. Properties of Concrete, John Wiley & Sons Inc., London, 844 pp., 1997, ISBN 0-582-23070-5.
- Ogawa, H., Kano, K., Mimura, T., Nagai, K., Shairai, A., Ohama, Y., 2007. Durability Performance of Barrier Penetrants on Concrete Surfaces, In: 12th International Congress on Polymers in Concrete, Chuncheon-Korea, pp:373-82.
- Ohama, Y., “Recent Progress in Concrete – Polymer Composites”, Advanced Cement Based Materials, V.5, pp. 31-40, 1997.
- 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., 1998. Polymer-based admixtures. Cem Concr Compos;20:189–212.
- Ohama, Y., and Shiroishida, K., 1983. “Freeze-Thaw Durability of Polymer-Modified Mortars,” *Nihon-Kenchiku-Gakkai Tohoku-shibu Kenkyo-Hoko-kushu*, V. 41, pp. 165-168.
- Özturan, T., 2013. Özel Betonlar, Bogaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Öztürk, M., 2013. Polimer İle Modifiye Edilmiş Hafif Betonun Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Pigeon M. and Pleau, R., 1995. Durability of Concrete In Cold Climates, E&FN Spon, 244 pp, 1995, ISBN 0-419-19260-3.
- Powders, T. C. ve Brownyard, T. L., 1947. Studies of the Physical Properties of Hardened Portland Cement Paste, ACI.
- Powders, T. C., 1945. A Working Hypothesis for Further Studies of Frost Resistance of Concrete, ACI , 242-272.
- Powders, T. C., Anel Helmuth R. A., 1953. Theory of Volume Changes in Hardened Portland Cement Pastes During Freezing Proc. Highway Research Board.
- Powers, T. C., 1949. Proceedings, Highway Research Board Annual Meeting, National Academy of Sciences, 29: 184–211.
- 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.
- Rostam, S., 1983. *Durability of Concrete Structures Workshop Report*, CEB & RILEM International Workshop, Department of Structural Engineering Technical, Copenhagen.
- Saçak, M., 2002. Polimer Kimyası, Ankara Üniversitesi, Gazi Kitabevi,
- Schulson, E. M., 1998. Ice Damage to Concrete. CRREL special report 98-6.
- Shackelford J.F., 1990. Introduction to Materials Science for Engineering, 2. Edition, New York; Macmilian.
- Shaker, FA., El-Dieb, AS., Reda, MN., 1997. Durability of Strene-Butadien Latex Modified Concrete, Cement and Concrete Research, 27, 711-20.

- Shang, H. S., Song, Y.P., 2008. Behavior of air-entrained concrete under the compression with constant confined stress after freeze-thaw cycles, *Cement & Concrete Composites*, 854-860.
- Shirai, A., Kano, K., Nagai, K., Ide K., Ogawa, H., Ohama, Y., 2007. Basic Properties of Barrier Penetrants as Polymeric Impregnants For Concrete Surfaces, In: 12th International Congress on Polymers in Concrete, Chuncheon-Korea, pp:607-15.
- Sommerville G., 2000. A Holistic Approach To Structural Durability Design, *Concrete Technology for a Sustainable Development in the 21st Century*, Eve FN Spon, 41-56, ISBN 0-419-25060-3.
- Sopler, S., Fiorato, A.E., ve Lenschou, R., 1973. "A Study of Partially Impregnated Polymerized Concrete Specimens", *Polymers in Concrete*, SP-40, American Concrete Institute, pp. 149-172.
- Steinberg, M., 1973. Concrete Polymer Materials and its World Wide Development, *Polymer in Concrete*, American Concrete Institute, Publication SP-40, pp.1-15
- Stevens, W. H., 1948. "Latex Processes and Potentialities," *Rubber Developments*, V. 1, No. 3, pp. 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.
- TS 699, 2009. Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-7., 2002. Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 196-1., 2002. Çimento Deney Metotları, TSE, Ankara.
- TS EN 197-1., 2002. Çimentolar, TSE, Ankara.
- URL-1, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Polimer>, 2014.
- URL-2, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Poli%C3%BCretan>, 2014.
- URL-3, www.okyanuskoleji.k12.tr/sayfa_icerik_dokumanlar/etkinlik-dersleri/pdf/polimer-2, İstanbul.
- Werk and Wirken, 1997. *Magazine of Wacker-Chemie GmbH*, Munich, Germany, Feb.
- Whiting, D., Kline, DE., 2003. Theoretical Predications of the Elastic Moduli of Polymer-Impregnated Concrete, Master's Thesis, Sivas.
- Yalçınkaya, Ç., 2009. Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Lifli Betonun Mekanik, Durabilite ve Mikron Yapı Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- 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.
- Yang, Z., Shi, X., Creighton, A., Peterson, M., 2008. Effect of Strene-Butadiene Rubber Latex on the Chloride Permability and Microstructure, Construction and Building Material, 23, 2283-90.
- Yangrong, Z., Xiangming, K., Zhenlin, Z., 2012. Influences of Chemical Admixtures with Different Size on Pore Structure and Impermeability of the Hardened Cement, ASPIC, ITU, Istanbul, TURKEY.
- Yao H., Liang N., Sun L., Meng J., 2005. The Design Of The Polymer Cement Concrete Pavement And The Analysis Of Test Road, J Chongqing Jiaotong Univ, pp;24:83–7.
- Yonar, Y., Tanyıldızı, H., Şahin, M., 2013. Yüksek Sıcaklığa Maruz Kalmış Betonun Polimer Emdirilerek Basınç Dayanımının Ve Ultrases Hızının İncelenmesi, Hazır Beton Kongresi, İstanbul, 126-134.
- Yun, K.K., Kim, S.K., Lee, K.R., Kil, Y.S., Kim, Y.B., 2012. Recycling of Electric Arc Furnace Oxidizing Slag in Very-Early-Strenght Latex Modified Cement, ITU, ASPIC, pp113.

ÖZGEÇMİŞ

Sedat SEVİN, 1990 yılında Malatya’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Malatya’da Kızılhisar İlköğretim Okulu’nda tamamlayan SEVİN, 2007 yılında Hekimhan Lisesi’nden mezun oldu. 2008 yılında girdiği ÖSS sınavı sonucu Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2012 yılında bu Bölümden mezun olarak lisans öğrenimini tamamladı. 2012 yılında Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programına başladı. SEVİN, 2013 yılında Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen bu görevini devam ettirmekte olan SEVİN, İngilizce bilmektedir.