**T.C.**
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# POLİMER KATKILI ÇİMENTO ESASLI KAPLAMA MALZEMELERİNİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

**ÖNER UMUT AKTAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**
**YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN**
**YRD. DOÇ. DR. NİHAT KABAY**

**İSTANBUL, 2014**

**T.C.**

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# POLİMER KATKILI ÇİMENTO ESASLI KAPLAMA MALZEMELERİNİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Öner Umut AKTAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması 11.09.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Yrd. Doç. Dr. Nihat KABAY

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Yrd. Doç.Dr. Nihat KABAY

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Mücteba UYSAL

İstanbul Üniversitesi _____

Yrd. Doç. Dr. Ahmet B. KIZILKANAT

Yıldız Teknik Üniversitesi _____

# ÖNSÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi Yapı Malzemeleri Anabilim Dalı'nda yapmış olduğum çalışmada toz ve sıvı polimer kullanımının, kaplama malzemelerinin performansı üzerine etkileri incelenmiş ve çeşitli deneylere tabii tutularak toz ve sıvı polimer miktarlarıyla deney sonuçları aralarındaki ilişki araştırılmıştır.

Bu araştırmanın yapılmasında en başta, çalışmanın yürütücülüğünü üstlenen ve her türlü aşamada bana destek olan Yrd. Doç. Dr. Nihat KABAY'a, laboratuvar çalışmalarının değerlendirilmesinde görüşleriyle katkıda bulunan Yrd. Doç. Dr. Ahmet Beşer KIZILKANAT'a, deneysel çalışmalarda yardımcı olan Tek. Halil YAVAŞÇI'ya, İnşaat Mühendisi Gökhan ERDOĞAN'a ve bugüne kadar hiçbir desteği benden esirgemeyen, her zaman yanımda olan aileme; yardımları ve katkıları için sonsuz teşekkür ederim.

Ağustos, 2014

Öner Umut AKTAŞ

**İÇİNDEKİLER**

Sayfa

SİMGE LİSTESİ ..... vii

KISALTMA LİSTESİ ..... viii

ŞEKİL LİSTESİ ..... ix

ÇİZELGE LİSTESİ ..... x

ÖZET ..... xi

ABSTRACT ..... xiii

BÖLÜM 1

GİRİŞ ..... 1

1.1 Literatür Özeti ..... 2
1.2 Tezin Amacı ..... 6
1.3 Orijinal Katkı ..... 7

BÖLÜM 2

KAPLAMALAR ..... 8

BÖLÜM 3

POLİMERLER ..... 11

3.1 Polimerlerin Tarihsel Gelişimi ..... 11
3.2 Polimerlerin Gruplandırılması ve Moleküler Yapı ..... 13
3.2.1 Termoplastikler ..... 13
3.2.2 Elastomerler ..... 14
3.2.3 Termosetler ..... 16
3.3 Polimerlerin Sentezi ..... 17
3.3.1 Basamaklı Polimerizasyon (Kondensasyon Polimerizasyonu) ..... 17
3.3.2 Katılma (Zincir) Polimerizasyonu ..... 18
3.4 Kopolimer ..... 18
3.5 Polimerlerin Genel Özellikleri ..... 18

3.5.1 Polimerlerin Isıl Özellikleri ..... 18
3.5.2 Polimerlerin Elektriksel Özellikleri ..... 20
3.5.3 Polimerlerin Kimyasal Özellikleri ..... 21
3.5.4 Polimerlerin Optik Özellikleri ..... 21

BÖLÜM 4

POLİMER BETON KOMPOZİTLERİ ..... 23

4.1 Polimer Beton (PC) ..... 24
4.2 Polimer Emdirilmiş Betonlar (PIC) ..... 25
4.3 Polimerle Modifiye Edilmiş Betonlar (PMC) ..... 26
4.3.1 Latekslerle Modifikasyon ..... 28
4.3.2 Toz Halinde Polimerlerle Modifikasyon ..... 30
4.3.3 Suda Çözünen Polimerlerle Modifikasyon ..... 30
4.3.4 Sıvı Reçineler veya Monomerlerle Modifikasyon ..... 30

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR ..... 31

5.1 Kullanılan Malzemeler ..... 31
5.1.1 Çimento ..... 31
5.1.2 Agrega ..... 32
5.1.3 Akışkanlaştırıcı ..... 32
5.1.4 Köpük Kesici ..... 33
5.1.5 Kıvam Arttırıcı ..... 33
5.1.6 Çinkosterat ..... 34
5.1.7 Polimer (Sıvı ve Toz) ..... 34
5.2 Karışım Oranları ..... 35
5.3 Deneyler ..... 37
5.3.1 Taze Halde Yapılan Deneyler ..... 37
5.3.1.1 Yayılma Deneyi ve Kıvam Kaybı ..... 37
5.3.2 Sertleşmiş Halde Yapılan Deneyler ..... 37
5.3.2.1 Eğilme ve Basınç Deneyi ..... 37
5.3.2.2 Aşınma Deneyi ..... 39
5.3.2.3 Su Geçirgenliği Deneyi ..... 40
5.3.2.4 Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyi ..... 42
5.3.2.5 Donma - Çözülme Deneyi ..... 43
5.3.2.6 Doğrusal Büzülme (Rötre) Deneyi ..... 43

BÖLÜM 6

DENEY SONUÇLARI VE İRDELEMELER ..... 45

6.1 Taze Halde Yapılan Deneyler ..... 45
6.1.1 Yayılma Deneyi ve Kıvam Kaybı ..... 45
6.2 Sertleşmiş Halde Yapılan Deneyler ..... 47
6.2.1 Eğilme Dayanımı Deneyi ..... 47

6.2.2 Basınç Dayanımı Deneyi ..... 49
6.2.3 Aşınma Deneyi ..... 51
6.2.4 Su Geçirgenliği Deneyi ..... 52
6.2.5 Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyi ..... 53
6.2.6 Doğrusal Büzülme (Rötre) Deneyi ..... 55
6.2.7 Donma - Çözülme Deneyi ..... 56
6.2.8 Yüzey Kusurlarının Değerlendirilmesi ..... 58

BÖLÜM 7

GENEL SONUÇLAR ..... 63

KAYNAKLAR ..... 65

ÖZGEÇMİŞ ..... 68

## SİMGE LİSTESİ

| | |
|---|---|
| $A_s$ | Ağırlıkça su emme oranı |
| b | Prizma kare kesitin kenar uzunluğu |
| cm | Santimetre |
| $F_c$ | Kırılmadaki en büyük yük |
| $F_f$ | Prizmanın kırıldığı an ortasına uygulanan kuvvet |
| g | Gram |
| h | Saat |
| $H_s$ | Hacimce su emme oranı |
| kg | Kilogram |
| l | Mesnetler arası uzaklık |
| $l_0$ | Numunenin ilk boyu |
| | |
| $M_1$ | Numunenin oda sıcaklığındaki ağırlığı |
| $M_2$ | Numunenin havadaki ağırlığı |
| $M_3$ | Doygun numunenin sudaki ağırlığı |
| mm | Milimetre |
| MPa | Megapaskal |
| N | Newton |
| $R_c$ | Basınç Dayanımı |
| $R_f$ | Eğilme dayanımı |
| $T_c$ | Polimerin camsı geçiş sıcaklığı |
| $T_e$ | Tam kristalin yapının erime noktası |
| $T_e$ | Yarı kristalin yapının erime noktası |
| *A* | Böhme aşınma direnci |
| $\Delta m$ | Kütlece kayıp |
| $\Delta V$ | Hacimce kayıp |
| $\rho_R$ | Yoğunluk |
| w | Su geçirgenliği |
| $^{\circ}C$ | Santigrat derece |
| $\Delta l$ | Numunenin boy değişimi |

## KISALTMA LİSTESİ

| | |
|---|---|
| AK | Akrilik kaplama |
| BS | British Standards |
| EN | European Norms |
| ER | Epoksi reçine kaplama |
| KK | Klorlu kauçuk kaplama |
| p/c | Polimer çimento oranı |
| PC | Polimer beton |
| PE | Polimer emülsiyon kaplama |
| PIC | Polimer emdirilmiş beton |
| PMC | Polimerle modifiye edilmiş beton |
| PU | Poliüretan kaplama |
| TS | Türk Standartları |
| w/c | Su çimento oranı |

## ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 Polimer zincir biçim ve ilişkilerinin şematik gösterimi....13
Şekil 3.2 Amorf yarı kristalin ve kristalin polimerlerin özgül hacim sıcaklık ilişkisi....19
Şekil 4.1 Latekslerle modifikasyonda komatris fazın oluşumu....29
Şekil 5.1 Yayılma deneyinde kullanılan yayılma hunisi ve miktarının ölçülmesi....37
Şekil 5.2 Eğilme dayanımı belirlenmesinde kulanılan numuneler ve deney düzeneği...38
Şekil 5.3 Basınç dayanımı belirlenmesinde kullanılan deney düzeneği ve kırılma....39
Şekil 5.4 Krondon tozu....40
Şekil 5.5 Numunenin deney düzeneğindeki ve deney sonrasındaki görüntüsü....40
Şekil 5.6 Su geçirgenliği deneyi için numunelerin parafinle kaplanması....41
Şekil 5.7 Su geçirgenliği deneyi için numunelerin parafinle kaplanması....42
Şekil 5.8 Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi için kullanılan numuneler....42
Şekil 5.9 Arşimet terazisi....43
Şekil 5.10 Rötre ölçümü için kullanılan kalıplar....44
Şekil 6.1 Yayılma deneyi sonuçları....46
Şekil 6.2 Kalsit tozu kullanılan serilerin eğilme dayanımları....47
Şekil 6.3 Standart kum kullanılarak üretilen serilerin eğilme dayanımları....48
Şekil 6.4 Kalsit kullanılarak üretilen serilerin basınç dayanımları....49
Şekil 6.5 Standart kum kullanılarak üretilen serilerin basınç dayanımları....50
Şekil 6.6 Aşınma deney sonuçları....51
Şekil 6.7 Su geçirgenliği deneyi sonuçları....52
Şekil 6.8 Ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri....54
Şekil 6.9 Rötre deneyi sonuçları....55
Şekil 6.10 Referans örneklerin donma-çözülme çevrimi sonundaki görüntüsü....56
Şekil 6.11 Toz polimer katkılı (D2.5) örneklerin donma-çözülme çevrimi sonundaki görüntüsü....57
Şekil 6.12 Sıvı polimer katkılı (S5) örneklerin donma-çözülme çevrimi sonundaki görüntüsü....57
Şekil 6.13 Sıvı polimer katkılı (O5) örneklerin donma-çözülme çevrimi sonundaki görüntüsü....57
Şekil 6.14 D 2,5-2 numunesinin genel görünümü....59
Şekil 6.15 D 2,5-2 numunesindeki çatlaklar ve kabarmalar (I)....59
Şekil 6.16 D 2,5-2 numunesi üzerindeki çatlaklar ve kabarmalar (II)....60
Şekil 6.17 O 5-2 numunesi üzerindeki çatlakların görünümü....60
Şekil 6.18 S5-2 numunesinin genel görünümü....61
Şekil 6.19 R-2 numunesi üzerindeki çatlakların görünümü (I)....61
Şekil 6.20 R-2 numunesi yüzeyindeki çatlakların görünümü (II)....62

## ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 Çimentoların fiziksel ve kimyasal özellikleri....32
Çizelge 5.2 Akışkanlaştırıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri....33
Çizelge 5.3 Köpük kesicinin fiziksel ve kimyasal özellikleri....33
Çizelge 5.4 Kıvam arttırıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri....34
Çizelge 5.5 Polimerlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri....35
Çizelge 5.6 Harç üretiminde kullanılan malzeme miktarları....35
Çizelge 5.7 Harç serilere ait kodlamalarının açıklaması....36
Çizelge 6.1 Yayılma deneyi sonuçları....45
Çizelge 6.2 Kalsit kullanılarak üretilen serilerin eğilme dayanımları....47
Çizelge 6.3 Standart kum kullanılarak üretilen serilerin eğilme dayanımları....48
Çizelge 6.4 Kalsit kullanılarak üretilen serilerin basınç dayanımları....49
Çizelge 6.5 Standart kum kullanılarak üretilen serilerde basınç dayanımları....50
Çizelge 6.6 Aşınma deneyi sonuçları elde edilen hacim değişimleri ($\Delta V$)....51
Çizelge 6.7 Harç serilere ait su geçirgenliği değerleri....52
Çizelge 6.8 Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi sonuçları....53
Çizelge 6.9 Rötre deneyi sonuçları....55
Çizelge 6.10 Çatlak ölçüm sonuçları....58

## ÖZET

# POLİMER KATKILI ÇİMENTO ESASLI KAPLAMA MALZEMELERİNİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Öner Umut AKTAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Nihat KABAY

Yapılarda dış etkilere en çok maruz kalan yüzeyler döşeme yüzeyleridir. Döşeme yüzeyleri çeşitli fiziksel, mekanik ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığını arttırabilmek amacıyla kaplama malzemesine ihtiyaç duyar. Günümüzde durabilite kavramının geçmişe kıyasla daha fazla önem kazanmış olması paralelinde kaplama malzemelerinin de daha çok önem kazanmasına neden olmuştur. Kaplama malzemelerinin performansları içerdikleri kimyasal maddelere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu kimyasal maddelerden biri de polimerlerdir.

Günümüzde pek çok kaplama malzemesi çeşidi olmakla birlikte polimerler üstün özellikleri sayesinde bir adım öne çıkmaktadırlar. Kaplama malzemelerinin içeriğinde kullanılan polimerler piyasada toz ve sıvı olarak bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında; iki farklı agrega türü kullanılarak, iki adet sıvı ve bir adet toz olmak üzere 3 farklı tipte polimer katkılı ve katkısız kaplama malzemeleri üretilmiş ve yapılan deneylerle polimer katkılı malzemelerin birbirlerine ve katkısız malzemeye göre ne gibi fiziksel ve mekaniksel üstünlükleri olduğu araştırılmıştır.

Bu amaç doğrultusunda bağlayıcı olarak beyaz Portland çimentosu ve alüminatlı çimento; maksimum dane çapı 0,2 mm olan kalsit agregası ve maksimum dane çapı 2 mm olan standart kum, akışkanlaştırıcı, köpük kesici, kıvam arttırıcı ve su geçirimsizliği arttırmak için çinko sterat kullanılmıştır. Bunların yanında toz, akrilik ve sıvı polimer olmak üzere 3 farklı polimer kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda; kalsit agregasıyla polimerlerin oranları %2.5 ve %5 olacak şekilde, toplamda 6 farklı seri üretilmiştir. Bu 6 serinin yanında, polimer katkısız olarak üretilen referans numunesi de bulunmaktadır.

Daha sonra her bir polimer türünden % 2.5 veya % 5 oranlarından biri seçilerek, standart kum ile birlikte tekrar 3 seri üretim ve referans numunesi üretimi yapılmıştır. Toz ve sıvı polimer katkılı kaplama malzemelerinde; yayılma, rötre, eğilme ve basınç, aşınma, ağırlıkça ve hacimce su emme, su geçirimliliği ve donma-çözülme deneyleri yapılmıştır.

Özet olarak; istenilen farklı özelliklerin farklı tür ve oranlarda polimer kullanımıyla elde edilebileceği görülmüştür. Mekanik özellikler açısından % 2,5 oranında polimer katkı kullanımı; fiziksel özellikler açısından da % 5 oranında polimer katkı kullanımı uygundur. Agrega olarak kalsit yerine standart kum kullanımı fiziksel ve mekanik özelliklerde genel anlamda iyileşme sağlamışsa da bazı serilerde olumsuz etkileri de görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** toz polimer, sıvı polimer, harç, mekanik özellikler, fiziksel özellikler, kaplama

**ABSTRACT**

---

**INVESTIGATION OF MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF POLYMER MODIFIED CEMENT BASED COATING MATERIALS**

Öner Umut AKTAŞ

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Asst. Prof. Nihat KABAY

Slab surfaces are extremely exposed to environmental effects. Therefore these surfaces need coating materials to improve their durability against various physical, mechanical and chemical effects. Durability is today's most important concept and this fact increases te importance of coating materials.

Performance of the coatings changes according to the chemical materials they contain. Polymers are one of these chemical materials. Today, as well as there are so many kinds of coating materials, polymers become prominent by means of their superiority.

Polymers used in coating materials are found in liquid and powder forms. In this study, two different types of aggregates and three different kinds of polymers are used to produce coating materials. Polymer modified cement mortars are compared with each other and with the reference mortar (contain no polymers) in terms of physical and mechanical properties.

For this purpose, the materials used were white Portland cement and aluminated cement, calcite aggregate with 0,2 mm maximum grain size and siliceous sand with 2 mm maximum grain size, plasticizer, antifoaming agent, water soluble cellulose ether and zinc sterate. Besides, three different polymers were used; powder, liquid and acrylic.

In experimental studies; 6 different series were produced with calcite aggregate which contain polymers in the ratio of 2,5% and 5% for each one. Along with these 6 series, reference specimens were produced.

After obtaining the test results, 3 more polymer modified series and reference specimens were produced with siliceous sand by chosing one polymer ratio among 2,5% and 5% for each polymer type according to the performance. The investigated parameters of the mixtures were flow, shrinkage, bending and compressive strength, abrasion, water absorption by weight and volume, permeability and freeze-thaw.

To sum up, it is found that different features on demand can be obtained by using different types of polymers at different ratios. In terms of mechanical properties, % 2,5 polymer ratio; for physical properties, % 5 polymer ratio is convenient.

Despite usage of sand instead of calcite as aggregate generally provided improvements in physical and mechanical properties; however in some series, negative affects were observed.

**Keywords:** powder polymer, liquid polymer, mortar, mechanical properties, physical properties, coating

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

Portland çimentosu kullanılarak üretilen beton, 170 yıldan daha fazladır en yaygın yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini servis ömürleri boyunca çeşitli zararlı dış faktörlerden etkilenmeden yerine getirmelerine durabilite, dayanıklılık veya kalıcılık adı verilir. Yükler açısından istenen dayanımı sağlayan kaliteli bir betonarme eleman bile tasarım aşamasında durabilitesini etkileyen faktörlerin dikkate alınmayışı nedeniyle kısa sürede bozularak kullanılamaz hale gelebilir ya da büyük bakım ve onarım masraflarına yol açabilir [1,2].

Bu dezavantajları asgari seviyeye çekmek için polimerler kullanılarak pek çok girişimde bulunulmuştur. Bu girişimlerden biri de, betondaki çimentonun belli bir miktarıyla ikameli olarak lateks, toz polimer, su bazlı polimer, sıvı reçine ve monomer kullanılmasıyla üretilen polimer modifiyeli betonlardır. Polimerle modifiye edilmiş betonlar, çimento jeli ile polimer matrisinin homojenize bir şekilde oluşturduğu monolitik bir ko-matrise sahiptir. Lateks, toz polimer veya su bazlı polimerlerle modifiye edilmiş sistemlerde, çimentonun suyla hidratasyonu bir film veya membran oluşmasını sağlar. Sıvı reçine ve monomerlerle modifiye edilmiş betonlarda ise su; çimentonun hidratasyonunu ve katılan polimerlerin polimerizasyonunu tetikler [1].

Bu çalışmada beton içerisindeki çimento, ikameli olarak 2 adet sıvı ve 1 adet toz polimerle 2 farklı oranda modifiye edilerek kaplama malzemesi üretilmiş ve üretilen malzeme belirli deneylerden geçirilerek polimer katkısız malzemeye göre üstünlükleri belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmada yüksek eğilme ve basınç dayanımına sahip, su geçirimsiz, aşınmaya karşı dayanıklı ve sınırlı rötre yapan bir malzeme üretilmesi amaçlanmıştır. Konuyla ilgili literatürde yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

## 1.1 Literatür Özeti

Almusallam'ın [3] yaptığı çalışmaya göre; Tip V çimento kullanılarak beton ve harç numuneleri hazırlanmıştır. Numune üretiminde, çimento dozajı 370 kg/m³ ve su/çimento oranı 0.45 olarak alınmıştır. Kullanılan iri agreganın maksimum dane çapı 12.5 mm'dir. İnce agrega olarak kum kullanılmıştır. Numuneler, kum/çimento oranı 2.8 olacak şekilde hazırlanmıştır. Beton kaplamaları temsil etmek için aşağıda verilen beş genel tip seçilmiştir. Bunlar:

Akrilik Kaplama, "AK",
Polimer Emülsiyon Kaplama, "PE",
Epoksi Reçine Kaplama, "ER",
Poliüretan Kaplama, "PU",
Klorlu Kauçuk Kaplama, "KK".

Numunelere standartlara uygun şekilde klor geçirgenliği, kimyasallara direnç, klor difüzyonu ve su emme deneyleri yapılmıştır. Klor geçirgenliği ve su emme deneyleri; poliüretan kaplamaların, betonun elektriksel direncini azaltmada son derece etkili olduğunu göstermiştir. Epoksi ve klorlu kauçuk kaplamalar da sadece ihmal edilebilir bir yük geçişine izin vermektedir. Akrilik ve polimer emülsiyon kaplamalarda da klor geçirimliliği oldukça düşüktür. Epoksi ve poliüretan kaplamalar düşük emme oranlarına ve düşük kılcal su emme değerlerine sahiptir. Akrilik ve klorlu kauçuk kaplamalarda, 56 saat sonra ağırlıkça %2'den küçük su artışı gözlemlenmiştir. Polimer emülsiyonla kaplanmış numunelerde, su emmeden dolayı ağırlıkça %3'ten fazla artış görülmüştür. 60 gün boyunca %2,5 sülfürik asit çözeltisi içerisinde bekletilen numunelerde; epoksi ve poliüretan kaplamaların sadece köşelerinde hasar oluşmuş ve nispeten daha az bozulmaya uğramışlardır. Diğer numuneler ise tamamen bozulmaya uğramıştır. Polimer emülsiyon kaplama asit içerisinde erimiş, klorlu kauçuk kaplama ise kısa sürede dökülmüştür. Testlerde, klor difüzyonu katsayısı en düşük ölçülen poliüretanla kaplanmış beton numunelerdir. Bunu, epoksi ve akrilik kaplamalar takip etmektedir. Polimer emülsiyon ve klorlu kauçuk kaplamalar, betona nüfuz eden klor iyonlarını engellemede en az etkili olan kaplamalardır. Klor difüzyonu verilerinden donatı korozyonunun başlama zamanını hesaplamada da faydalanılmıştır. Bu veriler göstermektedir ki; kaplama yapılmamış numuneler 1 yılda korozyona uğramakta iken, poliüretan kaplama yapılmış numunelerde bu süre 11-30 yıl arasındadır.

Patural ve arkadaşları [4] yaptıkları çalışmada, selüloz eterlerin su tutma üzerindeki etkilerini incelemiştir. Mekanik özellikler aynı kalmak şartıyla, elde edilen sonuçlar: HEMC selüloz eterinde karışım molekül ağırlığı, kıvam ve su tutmayı kontrol altında tutmayı sağlayan temel faktördür. Karışım molekül ağırlığı arttıkça, akma eşiği azalacağından; kıvam iyileşir ve su tutma kabiliyeti artar. Öte yandan, molar ikamenin su tutma üzerinde çok az etkisi olduğu görülmüştür. Yine de, molar ikamenin düşük olduğu durumlarda az da olsa su tutma üzerinde olumlu bir etkisi gözlemlenmiştir. Harcın reolojik özellikleri, su tutma üzerinde etkisi olan önemli faktördür. Deneysel çalışmalarda, sabit su/çimento oranı ve sabit karışım süresi parametreleri ile su tutma ve kıvamın geliştiği görülmüştür. Deneyde kullanılan bazı selüloz eterlerde farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bunlar, su tutma ve kıvamı olumsuz etkilemiştir. Ayrıca, su tutma kapasitesinin sadece taze numunenin viskozitesine bağlı olmadığı görülmüştür.

Collepardi'nin [5] yaptığı çalışmada; özel poliakrilat esaslı süper akışkanlaştırıcı (PA/SRA) ile, atmosfere açık endüstriyel kaplamada 6 metreye kadar dilatasyon yapılmış ve su kürü olmadan 8 ay boyunca herhangi bir çatlak görülmemiştir. Hacim artışına sebep olan CaO katkılı süper akışkanlaştırıcı (PA/SRA + CaO) ile büzülmeyi karşılayabilen çimento elde edilmiş ve dökümü yapılmıştır. 800 m²'lik alanda herhangi bir dilatasyon yapılmadan döküm yapılmış olup, dökümden sonraki 4 aylık bir zaman diliminde herhangi bir çatlak görülmemiştir. Bu tür dilatasyonsuz kaplamalarda, kaplamanın çatlaksızlık performansı ve sağlamlığı su kürüne olan ihtiyacı ortadan kaldırmıştır.

Jeongyun Do ve Yangseob Soh [6]; perdahlama işinde kullanılan, polimer katkılı kendiliğinden yerleşen çimento harçlarındaki polimer-çimento oranı üzerine yaptıkları çalışmalarda KS L 5201 tipi Portland Çimentosu ve boyutları 1.2 mm'den küçük ince agrega kullanmıştır. Katkı olarak stiren-bütadien kauçuk lateks (SBR), poliakrilik ester emülsiyonu (PAE) ve iki poliemülsiyon (stiren-bütil akrilat ve St/BA) kullanılırken, harçtaki hava oranını sabit tutmak için de köpük kesici kullanılmıştır. Bu çalışmada polimer katkılı kendiliğinden yerleşen harç ve geleneksel zemin kaplama malzemeleri hazırlandıktan sonra yoğunluk ve hava içeriği testi, kıvam testi, adezyon testi ve çatlak direnci testi yapılmıştır. Bu çalışmalar sonunda, polimer dağılımı ile çimento-kum oranı ne olursa olsun, polimer-çimento oranı %50 olan polimer katılı kendiliğinden yerleşen harcın yoğunluğunun, polimer-çimento oranı %50 olan polimer katkılı kendiliğinden yerleşen harçtan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Polimer katkılı kendiliğinden yerleşen harcın kıvamına en çok polimer dağılımı etki etmektedir. St/BA-1 ve St/BA-2

katkılı kendiliğinden yerleşen harçların çatlak dirençleri diğer polimer katkılı kendiliğinden yerleşen harçların çatlak dirençlerinden daha yüksektir. Sonuç olarak, polimer katkılı kendiliğinden yerleşen harcın, geleneksel epoksi reçine zemin kaplama malzemeleri gibi pratikte uygulanabildiği ortaya koyulmuştur.

Van Gemert [7], çimento betonu ve beton-polimer kompozitleri ile ilgili çalışmasında polimer beton kompozitlerinin birçok değişik endüstriyel uygulamalarda kullanıldığını, bu uygulama alanlarından bazılarının, beton ve taş onarım malzemeleri, polimer katkılı çimento yapıştırıcılar ve prekast yapı elemanları ile gözenekli ve ekolojik betonlar olduklarını belirtmiştir. Sonuç olarak, polimerlerin inşaat endüstrisinde kullanımının istikrarlı bir biçimde artmakta olduğu; polimerlerin çimento harcı ve çimento betonunda kullanılmasının, uygulamalardaki geniş çaplı yenilikler için sinerjik bir etki yarattığı belirtilmiştir. Polimerlerin kullanımının, daha iyi bir performans ve sürdürülebilirlik açısından göz önünde bulundurulmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Polimerlerin, klasik mineral ya da organik yapı malzemelerinin yerini alacak bir madde olmaktan öte, kompozit ve sürdürülebilir yapı malzemeleri arasında yer alan hayati bir bileşen olma konumuna geldiği belirtilen çalışmada, gelecekte polimerlerin, yeni ve dayanıklı yapıların inşaat teknikleri ile restorasyon ve güçlendirme tekniklerinin gelişimini sağlayacağı öngörülmektedir.

Afridi'nin [8] çalışmalarına göre; tüm karışımlarda Portland çimentosu ve standart kum kullanılmıştır. Bu çalışmada, dört adet toz ve iki adet sıvı ticari polimer kullanılmıştır. Kullanılan toz polimerler, vinil asetat-vinil karboksilat (VA) tipi ve etilen-vinil asetat (EVA) tipidir. Sıvı polimer olarak da EVA emülsiyon ve SBR lateks kullanılmıştır. Karışıma polimerlerin katı madde miktarlarının %0.7'si kadar silikon emülsiyon tipi bir köpük kesici (%30 katı içeriği bulunan) eklenmiştir. Çimento/kum oranı 0.33, polimer/çimento oranı %0, %5, %10, %15 ve %20 olarak alınmıştır. Toz ve sıvı polimer katkılı harçlar su tutmada benzer bir gelişim göstermiştir. Toz ve sıvı polimer katkılı harçlarda polimer-çimento oranı arttıkça gelişim artmaktadır. Toz ve sıvı polimer katkılı harçlar sıradan çimento harcına göre adezyon kuvvetlerinde dikkat çekici bir gelişme sağlamıştır. Bu tür harçlarda, polimer/çimento oranı arttıkça adezyon kuvveti de artmaktadır. Toz EVA-1 katkılı, toz EVA-2 katkılı ve toz EVA-3 katkılı harçların; sıvı polimer katkılı harçlarla hemen hemen aynı adezyon değerine sahip olduğu görülmüştür. Adezyon testinde göçme modu dağılımı polimer kullanımına, polimer/çimento oranına ya da bunların her ikisine birden bağlı olduğu görülmüştür.

Diamanti ve arkadaşlarının [9] yaptığı çalışmada, polimer ile modifiye edilmiş çimento esaslı kaplamanın klor esaslı korozyonu ne kadar engellediği test edilmiştir. Kaplamaların fiziksel bir bariyer olup, betona su ve klor geçişini azalttığı gözlemlenmiştir. Polimer kullanılması kaplamadaki gözenekleri azaltmış ve hidrofobik özelliklerini arttırmıştır. Beton kaplamalar, betonarme yapılarda mukavemeti arttırmak, klor içeren ortamlarda donatı korozyonunu engellemek ve kontrol etmek için kullanılmıştır. Çimento ve organik esaslı kaplamalar su, iyon ve gaz penetrasyonuna karşı fiziksel bariyer oluşturmuştur. Betonun geçirgenliği iki farklı polimer/çimento oranına sahip karışımda test edilmiş, su geçirgenliği, klor difüzyonu, klor geçirgenlik oranları belirlenmiştir. Fiziksel bariyerin klor penetrasyonunu ve betona geçen suyu azalttığı gözlemlenmiş, güçlendirilmiş beton yapıların servis ömürlerine etkisinin iyi olduğu anlaşılmıştır. Polimer modifiyeli çimentolu kaplamalar ıslak kür koşulları altında betondaki su oranını yüksek miktarda düşürmüş ve betonun klor geçirgenliğini azaltmıştır. Kaplamaların ıslak ve kuru koşullarda etkili bir fiziksel bariyer oldukları görülmüş ve su emilimi de azalmıştır. Yapılan deneylerde polimer/çimento oranı 0.35'ten 0.55'e çıkınca kaplamanın koruyucu özelliği artmış, kaplamadaki gözenekler azalmış ve polimerden dolayı yüzey hidrofobikliği artmıştır.

Ohama'ya [1] göre; Lateks katkılı beton ve harçlar normal beton ve harçlara göre daha fazla süneklik ve elastikiyet gösterir. Bu, kullanılan polimere ve polimer-çimento oranına göre değişir. Polimerler betonda ve harçta ilerde oluşabilecek mikro çatlakları önleyebilir. Genleşme katsayısını kullanılan agrega etkiler. Lateks harç ve betonların ısıl genleşme katsayısı normal harç ve betonlara göre daha fazladır ve kullanılan polimer ve polimer-çimento oranına göre değişiklik gösterir. Polimer esaslı beton ve harçlar, polimerler gözenekleri doldurduğu için suya daha dayanıklı ve su geçirimliliği daha azdır. Polimer esaslı betonlar ve harçlar daha iyi yapışma özelliğine sahiptirler. Bu da kullanılan polimere ve polimer-çimento oranına göre değişiklik gösterir. Lateks katkılı harç ya da beton geleneksel harç ve beton ile karşılaştırıldığında mükemmel bir darbe direncine sahiptir. Bunun nedeni, polimerlerin yüksek darbe direncine sahip olmasıdır. Polimer çimento oranı arttıkça bu dirençte artar. Aşınma direnci lateks katkılı beton ve harçta kullanılan polimer ve polimer çimento oranına bağlıdır. Genel olarak aşınma direnci önemli ölçüde polimer çimento oranı artırılarak geliştirilmiştir. Lateks katkılı beton ve harcın kimyasal özellikleri; eklenen doğal polimerlere, doğal kimyasallara ve polimer çimento oranına bağlıdır. Çoğu lateks beton ve harçlar hidrate olmaya başlamalarından

itibaren inorganik ve organik asitlerle ve sülfatlarla tepkimeye girerler. Lateks katkılı harç ve betonlar katı ve sıvı yağlara karşı etkin bir direnç gösterirken organik çözeltilere karşı etkin olamamışlardır. Gözenek büyüklüğü dağılımı da kullanılan polimere ve polimer-çimento oranına göre değişiklik gösterir. Donmaya karşı direnç çimento su oranına bağlı olduğu kadar kullanılan polimere bağlı olarak oluşan gözeneklerin büyüklüğüne de bağlıdır.

Ohama [1]; polimer katkılı harçlarda çimento ve polimerin beraber kullanılması ile normal harçlara göre farklı özellikler elde edilmesi konusunda çalışmalar yapmış, istenilen özelliklere sahip çimento esaslı polimer katkılı harç elde edebilmek için bileşen malzemelerin yapılarının iyi bilinmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu harçların performansları birçok etkene bağlı olup; polimer türü, polimer/çimento oranı, su/çimento oranı, kür koşulları gibi etkenler; elde edilecek harcın özelliklerini büyük ölçüde değiştirmiştir. Farklı polimer türleri ve dozajları kullanarak yaptığı çalışmalar sonucunda polimer katkılı harcın eğilme ve basınç dayanımı, ağırlıkça ve hacimce su emme ve rötre deneyleri sonucunda sıradan harçlara göre daha üstün olduğu sonucuna varmıştır.

Tekin [10], yaptığı çalışmalarda farklı yöntemler kullanarak polimer katkı çeşidinin beton geçirimsizliği üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışmada toz ve sıvı bileşen içeren polimer katkı ile sadece sıvı bileşen içeren polimer katkı kullanılmış, toz ve sıvı bileşen içeren polimer katkılı kaplama malzemesinin beton geçirimsizliğine büyük oranda katkı sağladığı, sadece sıvı bileşen içeren polimer katkının ise beton geçirimsizliğinde önemli oranda bir gelişme sağlamadığı gözlemlenmiştir.

Georgin [11] yaptığı deneysel çalışmada, çimento esaslı malzemelerde rötreden dolayı oluşan bükülme olayını incelemiştir. Çalışmada Portland çimentosu, kalsiyum sülfoalüminatlı çimento ile ikame edilerek beton plak üzerine uygulanan kaplamanın bükülme miktarı araştırılmış ve kalsiyum sülfoalüminatlı çimento kullanımı ile bükülmenin Portland çimentosuna göre 3,5 kat daha az olduğu bulunmuştur.

## 1.2 Tezin Amacı

Yapılan çalışmalarda, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip üç tip polimer kullanılarak bu polimerlerin, üretilen kaplama malzemesinin rötre, aşınma, su emme, donma-çözülme, çatlak oluşturma gibi fiziksel ve durabilite özellikleri ile eğilme ve

basınç dayanımı gibi mekanik özelliklerine etkilerinin belirlenmesi, hangi polimerin hangi özellikleri iyileştirdiğinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 1.3 Orijinal Katkı

Yapılan çalışmada vinil asetat ve etilen esaslı toz polimer, saf akrilik bazlı sıvı polimer ve stiren akrilik bazlı sıvı polimer olmak üzere farklı fiziksel ve kimyasal özelliklerde üç tip polimer katkı kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda farklı tipteki polimer katkılarla üretilmiş malzemeler birbirleriyle ve katkısız olarak üretilen malzemeyle karşılaştırılmıştır. Çalışmada farklı camsı geçiş sıcaklığına sahip polimerler kullanılmıştır. Saf akrilik bazlı sıvı polimerin (S) camsı geçiş sıcaklığı 15 °C iken stiren akrilik bazlı polimerin (O) camsı geçiş sıcaklığı -8 °C'dir.

Çalışmada kalsit ve standart kum olmak üzere 2 farklı tür agrega kullanılmıştır. Agrega türü değişiminin üretilen kaplama malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

## BÖLÜM 2

# KAPLAMALAR

Kaplama, beton yüzeyi üzerinde sürekli bir koruma sağlayan, kalınlığı 0,1 mm'den 5 mm'ye kadar değişebilen tabakadır. Özel uygulamalarda tabaka kalınlığının 5mm'den fazla olması gerekebilir [12]. Zemin kaplama uygulamasındaki amaç; hali hazırda bulunan beton yüzeyin korunması, daha düzgün, uzun ömürlü, tozumayan, sağlıklı ve görsel açıdan güzel görünümlü ortam elde edilmesidir.

Zemin kaplama kavramı bundan 30 yıl önce hemen hemen hiçbir şey ifade etmezken günümüzde pek çok alternatifin ortaya çıkmasıyla birlikte beton üzerine uygulanacak kaplama türünün seçimi oldukça karmaşık bir hal almıştır. Zemin kaplama malzemelerindeki ana amaç döşemeyi yıpranmaya ve kirlenmeye karşı dış etkilerden korumak olduğu gibi bununla birlikte döşemeye isteğe uygun olarak; kimyasal etkilere karşı dayanıklılık, kaygan olmama, kolay bakım yapılma, estetik bir görünüm ve ihtiyaca göre farklı birçok fiziksel özellik kazandırabilir. İster endüstriyel ister genel kulanım amaçlı olsun; yapı içerisindeki hiçbir yüzey, döşeme yüzeyi kadar zararlı dış etkilere maruz kalmaz [13].

Döşeme yüzeyleri çarpma, aşınma, kimyasal etki ve ısıl darbe gibi hemen hemen her türlü dış etkilere maruz kalır. Beton döşemeler bu tarz zararlı etkilere karşı tasarlanmazlar. Beton döşemeler boşluklu bir yapıya sahiptir ve yıprandıklarında toz haline dönüşmeye eğilimlidir. Ayrıca aşınma ve kimyasal etkiye de maruz kalabilirler. Bu nedenle nerede olursa olsun tüm beton yüzeyler bir tür korumaya ihtiyaç duyarlar. Problem farklı şartlar altında hangi tür kaplama malzemesinin seçilmesi gerektiğine karar vermektir. Seramik fayanslar, halılar veya parkeler de bir tür kaplama çeşididir ve döşemeye bazı yararlar sağlarlar fakat bu tarz kaplamaların öncelikli amacı mesken alanlara estetik bir görünüm

kazandırmaktır. Kaplama malzemelerinde odaklandığımız nokta ise direkt olarak yüzeye yapışan ve uzun bir süre boyunca koruma sağlayan malzemelerdir. Günümüzde malzeme seçiminde karşılaşan en büyük problem ise uygulamada servis ömrü boyunca en iyi sonucu en az maliyetle verecek olan malzemeyi seçmektir. Kaplama malzemesi ve uygulamasında alternatifler arasından en uygun olanını seçmek başlı başına bir iştir. Belirtmek gerekir ki, kaplama seçimi sadece malzeme seçimi olarak değil; uygulama, kalınlık ve estetik kaygılar gibi farklı açılarla birlikte bir bütün olarak değerlendirilmelidir [13].

Kaplama malzemesinin seçiminde ilk adım uygulamanın yapılacak olduğu yüzeyin değerlendirilmesinin yapılmasıdır. Yüzey yapısal olarak sağlam ve temiz olmalıdır. Bununla birlikte kaplama malzemesiyle etkileşime girebilecek kür malzemeleri gibi herhangi bir yabancı madde içermemelidir. Eğer varsa yüzeydeki çatlaklar, parçalanmalar ve pürüzler incelenmeli, uygun malzemelerle tamiri yapılmalıdır. Ayrıca uygulamanın yapılacağı yüzeyin drenaj için eğimli ya da yüzeyin kaplamayla beraber belirli bir kotta olmasının gerekip gerekmediğine dikkat edilmelidir. Eğer tamir ya da tesviye yüzeyi oluşturmak için ayrı malzemeler kullanılacaksa, bu malzemelerin tüm sistemle uyumlu olarak çalışabilecek malzemelerden seçilmesine dikkat etmek gerekir [13].

Uygulama için yüzeyin uygun bir şekilde hazırlanması uygulama için en önemli adımdır ve kaplamanın uzun ömürlü olmasıyla yakından ilgilidir. Ne yazık ki yüzeyi hazırlamak için en iyi yöntem diye bir şey yoktur. Yüzeyin nasıl hazırlanacağında ağırlıklı olarak etkili olan parametre kaplamanın ince bir film şeklinde mi yoksa belirli bir kalınlığa sahip olacak şekilde mi yapılacağıdır [13].

Kaplama türüne karar verme aşamasında en önemli parametre döşemenin maruz kalacağı dış etkenlerdir. Dış etkiler; şiddet dereceleri tanımladıktan sonra, uygulama için önem sırasına göre sıralanmalıdır. Bu sıralama, malzeme seçiminde ve gerekli kalınlığın belirlenmesinde odak noktasını oluşturacaktır. Malzeme seçiminde etkili olan diğer parametreler ise estetik olarak görüntüsünün nasıl olacağı, uygulamanın nasıl ve hangi zaman diliminde yapılabileceği, kaplamanın servis ömrü ile maliyetinin ne olacağıdır [13].

Kaplamanın maruz kalacağı dış etkenler kimyasal etki, aşınma, darbe ve ısıl etkiler olmak üzere 4 ana başlıkta sınıflandırılabilir.

Kaplamalara etkiyen her biri ayrı öneme sahip pek çok kimyasal etki vardır. Kimyasal etkilere karşı her malzeme diğerinden farklı özellik gösterebilir. Bu nedenle öncelikle kaplamanın maruz kalacağı kimyasal etkinin çok iyi tanımlanması gerekir. Kaplama üzerine dökülecek ya da sıçrayacak kimyasallardan çok sürekli olarak kaplama tarafından emilime maruz kalacak kimyasalları dikkate almak gerekir [13].

Kaplamanın araç trafiğine açık olma durumu veya yıpranması; malzeme seçiminde bir diğer önemli kriterdir. Hem çelik tekerlekli hem de lastik tekerlekli araçların oluşturacağı trafik kritik öneme sahiptir. Çelik tekerlekli trafiğe maruz kalacak olan her kaplamanın uzun dönem yıpranmaya dayanabilmesi için özel bir bakıma ihtiyacı vardır.

Ağır yüklere veya direkt olarak çarpma etkisine maruz kalacak olan kaplamaların daha ağır bir yapıya veya daha büyük bir kalınlığa sahip olması, darbe dayanımının arttırılması gerekir [13].

Ortam sıcaklığındaki dalgalanmalar veya ısıl etkiler göz önüne alınması gereken bir diğer kriterdir. Yüzeyin buharla temizlenmesi gibi ısıl etkiler; eğer kaplama sistemi doğru seçilmemişse adezyon kaybına sebep olur. Çoğu kaplama malzemesinin genleşme katsayısı standart betona kıyasla oldukça yüksek olduğundan, ısıl özellikler sistem seçiminde dikkatle üzerinde durulması gereken bir konudur.

Betonlar için kaplama türleri şu şekilde sınıflandırılabilir:

- Kalınlığına göre
- Polimer tipine göre
- Görünümüne göre
- Son yüzeyin durumuna göre

Malzeme seçimi işlemi kalınlık ve görünüm gerekliliklerini daraltabilir. Polimer tipinin seçimi ise oldukça zordur ve polimerler hakkında bilgi edinmek ve performanslarını karşılaştırmak için bir uzmanın görüşlerine başvurmak gerekebilir. Aşağıda polimerler ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir

# BÖLÜM 3

# POLİMERLER

Polimerler, günlük hayatımızın her alanında yaygın olarak kullanılan plastik, kauçuk, sentetik lif, bazı boyalar ve yapıştırıcılar gibi ürünlerin temel maddesidir [14]. Polimer terimi Latince 'çok' anlamına gelen poli kelimesi ile kısım anlamına gelen 'mer' kelimelerinin birleşmesinden meydana gelmiştir [15]. Polimer türlerinin üretim miktarının, dünya çelik üretiminden çok fazla olduğunu ve üniversitelerden mezun olan kimyacıların ve kimya mühendislerinin yarısından fazlasının doğrudan veya dolaylı olarak polimerlerle ilgili bir alanda çalıştığını belirtmek polimerlerin önemini vurgulamaya yeterlidir [14]. Polimer kimyasındaki gelişmelere bağlı olarak farklı yapı ve özelliklerde polimerler sentezlenmiş ve bu polimerlerden yapılan ürünler hızla; metal ve seramik türü malzemelerin yerini almışlardır [16].

## 3.1 Polimerlerin Tarihsel Gelişimi

Doğal polimerlerin endüstriye yönelik kullanımları çok eski tarihlere dayanmaktadır ve bu konuda doğal kauçuk – selüloz, nişasta en çok kullanılan doğal polimerlerdir. Tarihsel gelişim içinde doğal polimerler yerlerini modifiye edilmiş (doğal polimere, fiziksel özelliklerini değiştiren katkı, dolgu maddesi ve benzeri ilave edilmesi) doğal polimerlere yani yarı sentetik polimerlere bırakmışlardır. Bunun sebepleri; polimerik hammaddelerin işlenmesindeki sorunlar ile ürünlerin fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin yetersiz olmasıdır [17].

1770 yılında kağıt üzerindeki işaretleri silebildiği için silgi (rubber) olarak adlandırılan doğal kauçuk 1839 yılında Amerika'da Goodyear tarafından kükürt ile vulkanize edilerek

kullanışlı hale getirilmiş, modifiye edilen doğal kauçuktan su geçirmez botlar, yağmurluklar, lastik gibi ürünler üretilmiştir [18].

1868 yılında Amerika'da polimerlerin ikinci büyük grubu olan plastiklerin ilk ürünü selüloit üretilmiştir. Burada doğal polimer olan pamuk selülozu, nitrik asitte ve kamfor ile etkileştirilerek yarı sentetik olan selüloide dönüştürülmüştür. Üretildiği yıllarda bundan fotoğraf filmi ve bilardo topu gibi malzemeler yapılmıştır.

1907 yılında Amerikalı bilim adamı Leo Hendrick Baekeland tarafından tamamen sentetik ilk polimer olan fenol – formaldehit reçinelerinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Bakalit adı ile bilinen bu polimerden ilk yıllarda telefon ahizeleri gibi plastik eşyalar üretilmiştir [18].

Bazı maddelerin (polimerlerin) moleküllerinin, geleneksel kimyasal maddelerin moleküllerinden çok büyük olabileceğine yönelik ilk görüş 1920 yılında Staudinger tarafından ortaya atılmıştır. Staudingerin bu önerisi 10 yıl sonra 1930larda kabul edilmiş ve polimer kelimesi de 1930'lardan sonra bilimsel anlamda kullanılmaya başlanmıştır [16]. Staudinger'in Makromolekül Hipotezi polimer teknolojisinin deneme –yanılma yaklaşımından kurtarılmasını sağlamış ve araştırmacıya Nobel Ödülü kazandırmıştır. Bu hipotez; doğal kauçuk ve polistirenin yapısını aydınlatarak, selüloz asetat, polivinil klorür, polimetilmetakrilat, üreformaldehit reçineleri gibi polimerlerin üretimine olanak sağlamıştır [18].

1935 yılında ilk sentetik fiber olan nylonun türevi Nylon 6,6 DuPont firması tarafından üretilmiş olup 1939 yılında da Nylon 6 (Perlon)'un üretimi gerçekleşmiştir. Takip eden yıllarda 1936 yılında, poliakrilonitril, sitren – akrilonitril kopolimeri ve polivinilasetat, 1937 yılında, poliüretan, 1938'de politetrafloroetilen (Teflon), 1939'da melamin – formaldehit ve polietilentereftalat, 1942'de de orlon ticari adıyla poliakrilonitril fiber üretimleri gerçekleştirilmiştir [18].

II. Dünya Savaşı sonrasındaki yıllarda yeni polimerlerin sentezi artarak devam etmiş, 1947'de epoksi reçineleri, 1948'de ABS (Akrilonitril – Butadien Sitren Terpolimeri) sentezlenmiştir. 1953 yılında sentezlenen polipropilen, araştırmacıları Ziegler ve Natta'ya nobel ödülü kazandırmıştır [18].

Son 10 yılda başta polipropilen ve yüksek yoğunluklu polietilen olmak üzere termoplastiklerde önemli bir artış olmuştur [18].

## 3.2 Polimerlerin Gruplandırılması ve Moleküler Yapı

Polimer, çok sayıda küçük molekülün kovalent bağlarla birbirlerine bağlanarak oluşturduğu makromoleküldür. Monomer adı verilen küçük moleküller uygun koşullarda polimerizasyon tepkimesi sonucu birbirleriyle kimyasal bağ yaparlar ve polimer moleküllerine dönüşürler [14]. Monomerin kimyasal ve fiziksel özellikleri elde edilen polimerin karakteristik özelliklerini belirler [18]. Bir polimer molekülünde onlarca, yüzlerce, binlerce monomerden gelen birim bulunabilir. Monomerlerden oluşan polimer bir zincire, monomer molekülleri ise zinciri oluşturan halkalara benzetilebilir. Polimerler iri moleküllü kimyasallardır [16]. Polimerleri diğer klasik kimyasal maddelerden ayıran en önemli özellik, moleküllerinin büyüklüğüdür. Polimerlerin üstün özelliklerine makromoleküler yapılarının katkısı büyüktür. Örneğin; gerekli mekaniksel özellikler belli bir zincir büyüklüğü üzerinde kazanılır [14].

Polimer zincirlerinin biçimleri polimer özelliklerini etkiler. Şekil 3.1'de verildiği gibi polimer molekülleri doğrusal, dallanmış veya çapraz bağlı yapılarda olabilir. Çapraz bağ oranının fazla olması ağ-yapılı polimere yol açar.



Doğrusal Dallanmış Az oranda çapraz bağlı Yoğun çapraz bağlı

Şekil 3.1 Polimer zincir biçim ve ilişkilerinin şematik gösterimi [14]

Doğrusal ya da dallanmış zincirlere sahip bir polimer eritilebilir veya uygun çözücülerde çözünebilir. Ağ-yapılı bir polimerin eritilmesi ya da çözülmesi olası değildir. Bu gibi zincir biçimlerinden kaynaklanan özelliklere göre polimerler kendi içlerinde ayrıca termoplastikler, elastomerler ve termosetler olmak üzere üç ana grup altında ayrıca toplanabilir.

### 3.2.1 Termoplastikler

Termoplastikler, plastik kelimesini tam karşılayan gruptur ve günlük hayatta kullanılan polimerler içerisinde en fazla pay termoplastiklerindir [14]. Termoplastik polimerlerin zincirleri doğrusal veya dallanmış yapıda olabilir ancak zincirler arası çapraz bağ gözlenmez. Polimer zincirlerini London kuvvetleri, polar etkileşimler ve hidrojen bağları

gibi ikincil etkileşimler bir arada tutar. Polimer zincirlerinin kendi içindeki veya farklı zincirler arasındaki fiziksel dolaşmalar ayrıca zincirlerin ilişkilerini güçlendirir. Sözü edilen ikincil etkileşimler ve dolaşmalar çözücü veya ısı etkisi ile kırılabileceğinden, termoplastikler uygun çözücülerde çözünürler ve ısıtıldıklarında erirler [16]. Termoplastikler ısı etkisinde eritilerek tekrar şekillendirilebilirler [14]. Termoplastiklerin erime sıcaklıkları genelde yüksektir ve işlenmeleri sırasında erime sıcaklıkları üzerinde ısıtılırlar. Isı enerjisi, termoplastikleri belli derecede etkileyerek mekanik ve fiziksel özelliklerini zayıflatır. Bu nedenle termoplastikler, ısıl bozunma tepkimeleri ile ilk kez işlenmeleri sırasında karşılaşırlar [16].

Termoplastiklerden yapılmış malzeme atıkları toplanmakta ve öğütülerek yeniden şekillendirilmektedirler. Bir termoplastiğin eritilerek yeniden şekillendirilmesi, ikinci bir bozunma sürecinin başlaması anlamına gelir. Her yeni şekillendirme adımında polimerin bozunma derecesi artar ve önceki şekillendirme adımlarındaki bozunmalar da malzeme üzerinde kalır. Bu olaya ısıl geçmiş adı verilir. İkinci kez şekillendirme yapılacak termoplastiklerin içerisine, ısıl bozunmanın toplam ürün içerisindeki payını azaltmak amacıyla, kütlece yaklaşık %50 veya daha fazla yeni polimer karıştırılır [16].

Termoplastikler kristalin ya da amorf yapılarda olabilirler. Amorf bir polimerde, zincirler arasındaki ilişki rastgeledir ve belli bir düzen göstermez. Kullanılan termoplastikler genellikle kristalin ve amorf bölgeleri birlikte yapılarında taşırlar. Yani yarı kristalindirler. Bu nedenle kristalin termoplastikler tanımı yarı kristalin termoplastikleri de kapsar. Ancak kristalite oranı polimerden polimere değişiklik gösterebilir. Bir polimerin kristalizasyon yeteneği dallanma, moleküler düzen, molekül içi ve moleküler arası etkileşimler gibi pek çok faktöre bağlıdır [16].

### 3.2.2 Elastomerler

Elastomerler (kauçuklar), esnek ve elastik malzemelerdir. Çekme ile yüksek oranda uzama gösterirler ve çekme kuvveti kalktığında hızla ilk boyutlarına dönerler. Bu yetenekleri polimer zincirleri arasındaki az orandaki çapraz bağdan kaynaklanır. Çekme etkisi ile polimer zincirleri birbirleri üzerinden kayar, ancak çapraz bağlar kalıcı akışı önler ve kuvvetin kaldırılmasıyla moleküller ilk pozisyonlarına geri dönerler. Çapraz bağ oluşumundan sonra elastomerlerin erimesi söz konusu değildir [14].

Elastomerlerin tüketildiği en önemli alan, araç iç ve dış lastiklerinin yapımıdır. Toplam elastomerin yaklaşık %85'i bu alanda tüketilir. Elastomerlerden ayrıca; ayakkabı, terlik, teknik parçalar, conta, keçe, hortum, taşıyıcı bant vb çok farklı ürünler yapılır.

Kauçuksal davranış gösterebilen polimerler aşağıda sıralanan özellikleri taşırlar:

- Camsı geçiş sıcaklığı üzerinde bulunma,
- Ana zincir üzerindeki bağlar etrafında dönme kolaylığı (esnek zincirler),
- Kolay kristallenmeme,
- Yüksek gerilimlerde plastik deformasyona dayanım (az oranda çapraz bağ karşılar).

Doğal kauçuk, kauçuk ağacından elde edildiği haliyle mekanik özellikleri yetersiz, sıcaklık değişimlerine duyarlı (sıcaklığa bağlı yapışkan ya da sert olabilir), termoplastik davranışta ve çözünebilen bir polimerdir. Zincirler arası ikincil etkileşimler, dolaşmalar ve esnek zincir yapısı nedeniyle belli derecede elastikiyet göstermesine karşın, bu özelliğini küçük yüklerin kısa süreli uygulanmasında ve düşük bir sıcaklık aralığında koruyabilir. Yüksek sıcaklıklarda yapılan yüklemelerde kalıcı, tersinmez deformasyonlar başlar. Doğal kauçuğun sözü edilen zayıf noktaları vulkanizasyon adı verilen işlemle giderilerek endüstriyel değeri olan bir malzemeye dönüştürülür. Kimyasal açıdan vulkanizasyon çapraz bir bağlanma olayıdır. Vulkanizasyon işlemi sırasında kauçuk zincirleri, az sayıda çapraz bağlarla birbirlerine bağlanırlar. Vulkanizasyonda kullanılacak çapraz bağlayıcının miktarı ayarlanarak yumuşak-sert arası polimerler hazırlanabilir [16].

Vukanizasyon kauçuğun istenmeye özellikleri giderir ve sonuç olarak aşağıdaki özelliklere sahip kauçuk (vulkanize kauçuk) elde edilir.

- Yapışkan olmayan,
- Mekanik özellikleri gelişmiş,
- Geniş bir sıcaklık aralığında yüksek elastikiyet gösterebilen,
- Çözücülerde çözülmeyen (şişebilir),
- Sertliği artmış.

### 3.2.3 Termosetler

Termosetler yoğun çapraz bağ içeren (ağ yapı) üç boyutlu sert polimerlerdir. Elastomerlere benzer şekilde ısı ile eritilemezler ve yeniden şekillendirilemezler. Yüksek sıcaklıklarda zincir ve bağ kırılmaları sonucu parçalanarak bozunurlar [14]. Ayrıca, çözücülerden etkilenmedikleri varsayılır ve sıvılar içerisinde izlenebilir bir şişme göstermezler [16].

Termoset polimerlerden yapılan ürünlerin genel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Üstün elektrik yalıtımı,
- Yüksek sertlik,
- Yanmada ortaya çıkan dumanın azlığı,
- Alevlenmeye dayanım,
- Yüzey parlaklığı ve estetik görünüm,
- Üstün ses yalıtımı,
- İyi boyutsal kararlılığı,
- Kimyasallara direnç,
- Yüksek ısı absorpsiyonu.

Sertlik, iyi boyutsal kararlılık, kimyasallara direnç vb. özellikler termosetlerdeki zincirler arası yoğun çapraz bağların sonucudur [16].

Termoset polimerler şekillendirilmeden önce viskoz sıvı halindedir. Önpolimer ile çeşitli katkı ve dolgu maddelerini içeren ve kalıplama işleminden sonra kullanılabilir termoset malzemeye dönüşecek olan bu viskoz sıvı reçine olarak bilinir. Bu nedenle termoset polimerler yerine termoset reçineler tanımlaması daha sık kullanılır. Önpolimer ise kısmen polimerize edilmiş, akma özelliğini koruyan sistemlerdir. Önpolimerlerle birlikte çeşitli katkı ve dolgu maddeleri içeren reçine ısı, ışın gibi etkiler sonucu çapraz bağlı yapıya dönüştürülerek termoset ürün elde edilir [14].

Polimer zincirleri arasındaki çapraz bağlar ve çapraz bağların yoğunluğu, polimer özelliklerini belirgin şekilde değiştirir. Termoplastikler zincirleri arasında çapraz bağlar bulunmadığı için ısıtıldıklarında erirler ve uygun çözücülerde çözünürler. Yapılarında az oranda (%2 dolayında) çapraz bağ bulunan elastomerler ise çözücülerde şişerler,

ısındıklarında bozunurlar, ancak erimezler. Çapraz bağ oranı arttıkça polimerin sertliği artarken çözücülerin polimer üzerindeki etkisi azalır ve termosetlerde olduğu gibi yoğun çapraz bağlı polimerler çözücülerden etkilenmez [16].

## 3.3 Polimerlerin Sentezi

Monomer molekül polimerizasyon tepkimeleri sonucu polimere dönüşür ve bu olaya polimerizasyon (polimerleşme) denir. Polimerlerin sentezinde kullanılan yöntemler mekanizmaları göz önüne alınarak temelde basamaklı polimerizasyon (kondensasyon polimerizasyonu) ve katılma polimerizasyonu (zincir polimerizasyonu) olarak ikiye ayrılır [14]. Kondensasyon polimerlerinde, polimer zincirini oluşturan tekrar ünitesi monomerde bulunan bazı atomları içermez. Buna karşılık, katılma polimerlerinde bu molekül kaybolması gerçekleşmez. Kondensasyon polimerizasyonunda her reaksiyon adımında ufak bir molekül kaybı olduğu ancak katılma polimerizasyonunda olmadığı söylenebilir [19].

### 3.3.1 Basamaklı Polimerizasyon (Kondensasyon Polimerizasyonu)

Basamaklı polimerizasyon reaksiyonu, genel olarak büyüklükleri farklı iki molekül arasında meydana gelen reaksiyonları kapsar. Bu tür reaksiyonların en önemli örneği kondensasyon polimerizasyonudur. Kondensasyon polimerizasyonunda küçük moleküler kondensasyon reaksiyonlarıyla bağlanarak polimer moleküllerini meydana getirirler. Ancak, bu sırada başka bazı küçük moleküllerde oluşur [20]. Kondensasyon reaksiyonlarının genel tanımı, fonksiyonel grupları bulunan iki molekülün aralarından küçük bir molekül ayrılarak birleşmesi şeklinde yapılır. Fonksiyonel grup, bir molekülün reaksiyonlara katılan kısmıdır. Basamaklı polimerizasyonda polimer zincirleri, fonksiyonel gruplar üzerinden ilerleyen reaksiyonlarla adım adım ve yavaş bir şekilde büyürler [16]. Kondensasyon polimerizasyonunda önce monomerler birleşerek dimerler oluşur, sonra dimerler monomerlerle birleşerek trimerleri oluşturur ve bu şekilde adım adım uzayan polimer zinciri zamanla uzar. Bu özellik kondesasyon polimerizasyonu ile zincir polimerizasyonu arasındaki en önemli farktır. Kondesasyon polimerizasyonunda en önemli koşul monomerlerin polifonksiyonel olması yani birden fazla fonksiyonel gruba sahip olmasıdır [19].

### 3.3.2 Katılma (Zincir) Polimerizasyonu

Bu polimerizasyon türünde, monomerler doğrudan birbirlerine katılarak makromolekül zincirini oluştururlar. Genellikle doymamış bağlar içeren vinil monomerlerin polimerizasyonu bu şekilde gerçekleşir. Zincir polimerizasyonu serbest radikaller (çiftleşmemiş elektronu bulunan bileşikler), iyonlar (anyonlar ve katyonlar) veya koordinasyon kompleks sistemler üzerinde yürüyebilir. Zincir polimerizasyon yönteminin en önemli ortak özelliği, polimer zincirinin çok kısa sürede (0,1 saniye gibi) yüksek molekül ağırlığına ulaşabilmesidir. Reaksiyon başlamasından çok kısa bir süre sonra bile ortamda çok az fakat çok yüksek molekül ağırlıklı polimer ve çok sayıda monomer vardır [19].

## 3.4 Kopolimer

Polimer sentezinde birden fazla tür monomer bulunabilir. Bu durumda polimer zinciri boyunca farklı kimyasal yapılar yer alır. Zincir boyunca tek bir kimyasal yapı yer alırsa homopolimer, iki farklı monomer birimi söz konusu ise kopolimer, polimer sentezinde üç farklı monomer kullanılmış ise terpolimer tanımlamaları kullanılır [14].

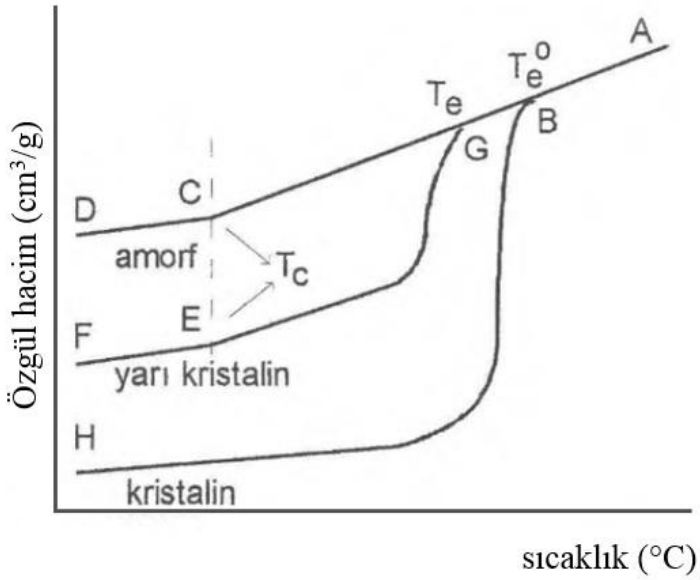
Kopolimerler, katılma polimerizasyonu ve basamaklı polimerizasyon yöntemleriyle sentezlenebilirler. Ancak, katılma polimerizasyonu kopolimer sentezine daha uygundur ve ticari kopolimerlerin çoğu yöntemle üretilir.

Kopolimer ana zincirleri üzerinde A ve B birimleri rastgele, ardışık veya bloklar halinde dizilebilir. Aşı kopolimeri adı verilen kopolimerde ise, bir polimerin ana zincirine kimyasal yapısı farklı başka bir zincir bağlıdır (zincir sonları dışında) [16].

## 3.5 Polimerlerin Genel Özellikleri

### 3.5.1 Polimerlerin Isıl Özellikleri

Yeterince düşük sıcaklıklarda doğrusal ve az oranda çapraz bağ içeren polimerler kırılgan, sert katı haldedirler. Sıcaklığın arttırılmasına bağlı olarak bu tür polimerler bazı ısıl geçişler gösterirler ve bu ısıl geçişlere bağlı olarak polimer davranışı da değişir.




Şekil 3.2 Amorf yarı kristalin ve kristalin polimerlerin özgül hacim sıcaklık ilişkisi [14]

Tamamen amorf yapıdaki bir polimer örneğinde polimer zincirleri rastgele düzenlenmiş biçimdedir. Değişik boylarda kesilmiş ip parçalarının karışmış hali bu yapıya model olabilir. Bu tür polimerlerin sıcaklık – hacim değişimi A-D eğrisini izler. C-D bölgesinde polimer camsı bir davranış içindedir ve kırılgandır. Bu bölgede sıcaklığın arttırılmasıyla örneğin hacmi düşük düzeyde artar. Isıtılmaya devam edilirse amorf örnek, camsı geçiş sıcaklığı denilen $T_c$ noktası geçildiğinde yumuşar ve kauçuğumsu bir hal alır. Bu noktada polimerin davranışında belirgin değişiklikler gözlenir. Kırılgan davranışlı örnek, esnek ve kolayca deforme olabilen bir davranışa geçer. Bunun nedeni camsı geçiş sıcaklığı altında eğilme bükülme hareketleri yapamayan polimer zincirlerinin $T_c$ üzerinde bu tür hareketleri yapma yeteneği kazanmasıdır ancak polimer zincirleri hala bağımsız hareket yeteneği kazanamadıkları için akma gözlenmez. Sıcaklığın C-A boyunca arttırılması sırasında polimer kauçuğumsu özellikten sıvı hale kadar uzanan bir davranış yelpazesi gösterir.

Tam kristalin polimerlerin sıcaklık hacim ilişkisi H-G-A eğrisi gibidir ve yalnızca erime noktası ($T_e°$) gösterirler. Polimer zincirleri üç boyutlu bir kristalin yapısı içerisinde belli düzende yer alırlar ve erime noktasına kadar bu zincirlerde belirgin bir hareketlilik gözlenmez. Erime noktasına ulaşıldığında örnek akma yeteneği kazanarak sıvı hale geçer.

Yarı kristalin polimerlerde sıcaklık hacim davranışları F-E-G-A eğrisini izler. Hem $T_c$ hem de $T_e$ noktasına sahiptirler. F-E arasında camsı karakterdeki örnek E-G bölgesinde kauçuğumsu, esnek davranış gösterir ve G noktasında erir.

Aynı polimer türü için tam kristalin yapının erime noktası ($T_e°$), yarı kristalin yapının erime noktasına ($T_e$) göre biraz daha büyüktür. Yarı kristalin bir polimer örneği çok değişik uzunluklarda polimer zincirleri ve kristal kusurları bulunan değişik boyutlarda kristaller içerebilir. Bu özellikler erime noktasını düşürücü etki yapar. Bu özellikler yarı kristalin polimerlerin, belli bir sıcaklıkta değil bir sıcaklık aralığında erimelerine neden olur [14].

Polimerler yeterince yüksek sıcaklıklara ısıtıldığında, öncelikle polimer yapısındaki en zayıf kovalent bağlar kırılır ve polimer bozunmaya başlar. Polimerlerin bozunmaya başladığı bu sıcaklığa ısıl bozunma sıcaklığı denir. Termoplastiklerde bozunma genellikle erimeden sonra, termoset polimerlerde ise katı halde başlar [16].

Polimerlerin ısıl özelliklerinin en önemlisi ısıl iletkenlikleridir. Metallerin ısıl iletkenlikleri 200 – 10000x$10^4$ cal/cm.sn.°C iken, polimerlerin ısıl iletkenlikleri genellikle 2 – 8 cal/cm.sn.°C aralığında değişmektedir. Köpük formunda hazırlanmış polimerlerde ısıl iletkenlik çok daha düşük değerlerdedir [19]. Polimerlerin ısıl iletkenliklerinin düşük olmasının nedeni zincirlerindeki atomların hareketleriyle fazla miktarda ısı absorpsiyonu yapmalarıdır [16].

Polimerlerin bir diğer ısıl özelliği olan ısıl genleşme plastik malzemelerin işlenmesinde ortaya çıkan önemli bir problemdir [19]. Polimerler ısıtıldıklarında, zincirler üzerinde bulunan atomların titreşimleri artarak birbirlerinden belli derecede uzaklaşırlar ve sonuçta polimerlerde genleşme gözlenir. Polimerlerin genleşme değerleri metal ve seramiklerden daha fazladır. Polimerlerin ısı etkisinde hacimlerinin artması, birden fazla parça bir araya getirilerek üretilen malzemelerde önemlidir. Özellikle metal ve plastiklerden yapılan dişliler gibi sürtünme etkisinde kalan parçalarda, sürtünme ısısından dolayı polimerin genleşmesi kaçınılmazdır [16].

### 3.5.2 Polimerlerin Elektriksel Özellikleri

Hemen hemen tüm yüksek molekül ağırlığına sahip polimerler elektriksel yalıtım özelliğine sahiptirler bir diğer deyişle dielektriktirler. Bu nedenle elektrik – elektronik endüstrisinde yaygın olarak kullanılırlar. Polimerlerin elektrik iletkenlikleri, yapıda serbest yüklerin (elektronlar, iyonlar) bulunmasına ve bunların yapı içerisindeki hareketliliğine bağlıdır. Polimerik zincirlerin sert ve bükülmez olması, zincirler arası

etkileşimlerin kuvvetli olması, yüksek kristalinite, yüksek çapraz bağ yoğunluğu ve yönlenme düşük elektrik iletkenliğine yol açar [19].

Elektrik direncinde sıcaklık ve nem etkili bir faktördür ve bu direnç elektrik iletimine yardımcı olan katkı maddeleri ilavesi ile düşürülebilir. Polimerik malzemelerde statik elektrik yangın tehlikesine yol açtığından bu durum da iletkenliği düşürecek dolgu maddeleri ilavesi ile engellenebilir [18].

### 3.5.3 Polimerlerin Kimyasal Özellikleri

Polimerlerden yapılan malzemeler değişik yerlerde kullanılırlar ve bulundukları çevre koşullarına bağlı olarak farklı kimyasal maddelerin etkisinde kalabilirler. Örneğin; sıvı temizlik malzemelerinin, içeceklerin, boyaların, tutkalların vb ürünlerin konduğu plastik kaplar, içlerindeki kimyasallarla sürekli etkileşim halindedir. Nem, ozon vb maddeler veya rüzgar, UV-ışınları gibi etkiler ise daha çok atmosfere açık dış ortamlarda bulunan polimerik malzemeler açısından önemlidir [16].

Polimer kimyasal madde etkileşimlerinde gözlenecek en uç davranışlardan birisi kimyasal maddenin polimeri tamamen çözmesidir. Bu durumda polimer temas ettiği kimyasal madde içerisinde çözünerek moleküler boyutta dağılır ve mekanik özelliklerini tamamen kaybeder. Bazı kimyasallar da polimeri şişirebilirler [16].

UV-ışınlarından kaynaklanan bozunma polimerik malzemelerin sıkça karşılaştığı önemli bozunma nedenlerinden biridir. Uzun süreli UV-ışınları etkisinde kalan polimerlerin rengi solar, parlaklığı azalır ve kırılganlığı artar [16].

### 3.5.4 Polimerlerin Optik Özellikleri

Polimerler sentezlendikleri halleriyle genelde şeffaftırlar ve ışık içlerinden çok az değişime uğrayarak geçer. Polimerlerin opak veya şeffaf olmaları yapılarındaki kristal bölgelerin oranına bağlıdır [16].

Polimerler ne kadar şeffaf olurlarsa olsunlar içlerinden geçen ışığın bir kısmını absorbe ederler. Absorbe edilen ışık polimerin ısınarak bozunmasına yol açabilir. Bozunma sonucu polimer zincirlerindeki kimyasal bağlar kırılır ve çoğu polimerin şeffaflığı azalarak rengi genelde sarı tonlarına döner [16].

Polimerler üretildikleri halleriyle genelde renksizdirler ve işlenme öncesi veya işleme sırasında içlerin katılan uygun katkı maddeleriyle renklendirilirler [16].

# BÖLÜM 4

## POLİMER BETON KOMPOZİTLERİ

İnşa edilen yapılardan beklenen en önemli hususlardan birisi, yapının ekonomik ömrü boyunca herhangi bir onarım maliyeti gerektirmeksizin kullanılması ve ekonomik olarak imal edilmesidir. Bu nedenle çeşitli yapı malzemeleri insan hayatına girmiş ve kullanılmaya başlanmıştır. Beton polimer kompozitleri de bu malzemelerden biridir [21]. Beton-polimer kompozitleri, modern polimerlerle geleneksel beton teknolojisinin birlikte uygulanmasıdır. Beton, en eski ve en çok kullanılan insan yapımı malzemedir. Bu açıdan medeniyetin gerekliliği olarak düşünülebilir. Günümüzde tekil olarak beton çağı kapanmış artık betonlar çağına girilmiştir. Beton-polimer kompozitleri bu betonlar çağının bileşenlerinden biridir. Geçtiğimiz 50 yıl boyunca betonun özellikleri, polimerler kullanılarak çeşitli yollarla geliştirilmiştir. Beton-polimer kompozitleri çağı, 1923 yılında Crisson'un polimer çimentonun patentini almasıyla başlamıştır [22].

Polimerler, geleneksel malzemelere karşılaştırıldığında pek çok üstünlüğe sahiptir. Birim ağırlık başına daha yüksek dayanıma sahip olmaları, korozyona karşılı etkili bir koruma sağlamaları, esnek olmaları ve pek çok farklı uygulamaya uygulanabilmeleri polimerlerin tercih sebeplerindendir. Her yıl dünya üzerinde üretilen polimerlerin %30'u inşaat uygulamalarında kullanılır [15].

Fiziksel özellikleri ve düşük fiyat avantajı nedeniyle Portland çimentosu günümüzdeki en uygun yapı malzemesi olarak görülse de bazı özellikleri yetersiz kalmakta ve Portland çimentosunun kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu yetersizliklerin başlıcaları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Düşük eğilme mukavemeti,
- Düşük kırılma şekil değiştirmesi,

- Don olaylarına karşı hassaslık,
- Kimyasallara karşı dayanıksızlık.

Bu eksiklikler organik polimer veya reçine içeren malzemelerin Portland çimentosu yerine veya Portland çimentosuyla birlikte kullanılmasıyla giderilebilir. Ortaya çıkan yeni malzeme Portland çimentosuna göre, yüksek dayanım, yüksek durabilite, korozyona karşı dayanıklılık, düşük su geçirimliliği ve donma – çözülmeye dayanıklılık gibi pek çok avantaja sahip olacaktır [15].

Polimerler betonda 3 şekilde kullanılırlar;

- Polimer Beton (PC),
- Polimer Emdirilmiş Beton (PIC),
- Polimer ile Modifiye Edilmiş Beton (PMC) [15].

Polimer beton ve polimer ile modifiye edilmiş beton 1950'li yıllarda kısıtlı da olsa kullanılmaktaydı. 1970'li yıllarda polimer emdirilmiş betonun geliştirilmesiyle beton-polimer kompozitleri popülerlik kazanmaya başladı [22]. Polimer betonlarda sadece birkaç saat içerisinde çok yüksek basınç dayanımlarına (140 MPa) ulaşılırken, polimer ile modifiye edilmiş betonlar ise mükemmel aderans özellikleriyle öne çıkarlar. Polimer emdirilmiş betonlar üstün geçirimsizlikleri sayesinde yüksek dayanıklılığa sahip betonlar oluştururlar [24]. Maliyet açısından normal betonla kıyaslandığında polimer betonlar 8-20 kat, polimerle modifiye edilmiş betonlar 2-3 kat, polimer emdirilmiş betonlar ise 3-6 kat daha maliyetlidir [25].

## 4.1 Polimer Beton (PC)

Polimer betonlar; agrega ve bağlayıcı özellikteki polimerlerden oluşan kompozit malzemelerdir [22]. Sadece agrega ve bağlayıcı polimer içerirler. Bileşiminde su ve Portland çimentosu yoktur. Toplam kütlenin yüzde 9-25'i bağlayıcı polimerden oluşur. İnce agrega olarak dere kumu veya silis kumu; kaba agrega olarak kalker veya granit gibi kırma taşlar kullanılır. Dolgu malzemesi olarak genelde kalker tozu, uçucu kül veya silis dumanı kullanılır. Polimer betonlar geleneksel betonlar gibi karıştırılıp kalıplara dökülür ve ortam ısısında kür edilir. Malzeme yüzeyi mala vb. aletlerle düzeltilir [15].

Polimer betonlar tamir harcı olarak da kullanılabilir. Hızla kür olması, betonla ve çelik donatılarla çok iyi aderans sağlaması, yüksek dayanım ve dayanıklılığa sahip olması polimer betonu çok iyi bir tamir malzemesi yapmaktadır. Ancak polimer betonlar, hızlı priz olan çimento esaslı tamir malzemeleri karşısında maliyet ve uygulayıcılar tarafından iyi bilinmemesi gibi nedenlerle planlandığı gibi geniş bir kullanım alanına sahip olamamıştır [23].

Polimer betonların tamir harcı olarak tercih edilmemesinin bir diğer nedeni de beton ile farklı ısıl genleşme katsayısına sahip olması sebebiyle beton ile arasında uyum sorunları oluşmasıdır. Isıl değişiklikler yüksek kayma ve çekme gerilmelerinin oluşmasına neden olduklarından tamir harcının tabakalar halinde ayrışmasına neden olurlar [23]. Polimer bağlayıcılar ısı karşısında iyi bir performans sergileyemediklerinden özellikleri büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır [15].

Polimer betonlar ince bir film halinde uygulanabilmeleri, hızla kür edilebilmeleri, yüksek geçirimsizliğe sahip olmaları ve dekoratif amaçlarla da kullanılabildikleri için, kaplama ve şap malzemesi olarak geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Stadyumların, spor alanlarının, hastanelerin ve fabrikaların döşeme yüzeyleri üzerinde kaplama malzemesi olarak kullanılabilirler [23].

Öndökümlü polimer betonlar ise daha geniş bir kullanım alanına sahiptir. Drenaj kanalları, kanalizasyon boruları, tünel elemanları, asit tankları, zararlı atık depoları, karayolu refüjleri, cephe kaplamaları kullanım alanlarından bazılarıdır. Hızla kür edilebilmesi, karmaşık şekillerde kalıp alınabilmesi ve titreşimleri mükemmel şekilde sönümlemesi gibi nedenler, öndökümlü polimer betonların geniş bir kullanım yelpazesine sahip olmasını sağlamıştır [23].

Polimer betonun yüksek dayanıma ve yüksek elastisite modülüne sahip olması, kolay kalıp alınabilmesi, darbeleri emme özellikleri, etkin çarpma dayanımı, düşük su geçirimliliği, yüksek donma-çözülme dayanımı ve düşük ısı iletkenliği gibi özellikleri sayesinde pek çok uygulamada geleneksel beton yerine kullanılabilmektedir [15].

## 4.2 Polimer Emdirilmiş Betonlar (PIC)

Polimer emdirilmiş betonlar sertleşmiş betona viskoz yapıdaki bir monomerin emdirilmesi ve akabinde radyasyon, UV-ışınları veya sıcaklık gibi fiziksel yöntemler veya katalizör kullanımı gibi kimyasal yöntemler kullanılarak polimerize edilmesiyle

elde edilen kompozit malzemelerdir. Amaca uygun olarak sertleşmiş betonun sadece yüzeyine veya belirlenen derinliklerine kadar polimer emdirilir. 1960'lı ve 1970'li yıllarda Japonya, ABD ve Avrupa ülkelerinde geliştirilmesine rağmen, yüksek maliyeti ve karmaşık üretim teknolojisi nedeniyle popülerliğini yitirmiştir. Polimer emdirilmiş betonların ana prensibi, sertleşmiş betondaki suyun buharlaşması veya hava kabarcığı nedeniyle oluşan boşlukların tamamen veya kısmen polimerle doldurulmasıdır. Sonuç olarak; çimento hamuruyla agregalar arasındaki aderans, geleneksel malzemelere göre kat kat fazla olur. Bunun sonucu olarak polimer emdirilmiş betonlar; daha yüksek dayanım, kimyasal etkilere ve donma-çözülmeye karşı daha yüksek dayanıklılık sergilerler [15].

Polimer emdirilmiş betonların özellikleri; emdirilen monomerlerin etkinliğine, monomerlerin polimere dönüşme derecesi, emdirilen polimerin ulaştığı derinlik ve kullanılan polimerin özelliklerine bağlıdır [15].

Polimer emdirilmiş betonlar, polimer betonlara benzer şekilde yüksek dayanıma sahip olmalarının yanı sıra mükemmel derecede su geçirimsizliği ve donma-çözülme dayanıklılığı sergilerler. Ayrıca aşınma ve çarpmaya karşı da oldukça etkindirler. Emdirilen polimerin derinliğine bağlı olarak kimyasal etkilere karşı da etkili olabilmektedirler. Yangına ve ısıya karşı dayanımları ise düşüktür [15].

Polimer emdirilmiş betonlar yapı döşemeleri, yüksek performanslı yapılar, kanalizasyon boruları, deniz suyu depolama tankları, yüzme havuzları, deniz altı yapıları, tünel elemanları gibi çok geniş bir yelpazede uygulama alanlarına sahiptir. Kısmi olarak polimer emdirilmiş betonlar ise köprülerin ve beton yapıların yıpranmasını önlemek veya zarar görmüş yapı elemanlarının onarımı amacıyla kullanılır [15].

### 4.3 Polimerle Modifiye Edilmiş Betonlar (PMC)

Polimerle modifiye edilmiş betonlar geleneksel betondaki bağlayıcı olan Portland çimentosunun bir kısmının polimer lateksler veya dispersiyonlarıyla, suda eriyen polimerlerle, sıvı reçineler, toz halindeki emülsiyonlar ya da monomerlerle değiştirilmesi sonucu üretilen kompozit malzemelerdir. Bu tarz betonlar organik polimer matris ve çimento jeli matrisinin homojen olarak oluşturduğu bir ko-matrise sahiptir. Polimerle modifiye edilmiş betonun özellikleri ko-matris tarafından belirlenir. Eğer modifikasyon işlemi sırasında polimer lateksler, suda çözünen polimerler ya da toz halindeki

emülsiyonlar kullanılıyorsa su sadece çimentonun hidratasyonu ve polimer filminin oluşturulması için kullanılır. Ancak sıvı reçineler veya monomerler kullanılıyorsa; karışımdaki su, çimentonun hidratasyonu ve polimer filmin oluşması için kullanıldığı gibi bir miktar su da polimerizasyon işlemi için kullanılır [15]. Polimerle modifiye edilmiş betonlarda agregalar hidrate olmuş çimento ve film tabakası oluşturan polimerlerin oluşturduğu ko-matris faz tarafından sarılır [1].

Polimerle modifiye edilmiş betonların çoğu geleneksel betona göre daha yüksek düktiliteye sahiptir. Bu malzemelerin ısıl genleşme katsayısı geleneksel betonla hemen hemen aynıdır. Klor iyonlarına karşı Polimer/Çimento oranıyla orantılı artan geçirimsizliğe sahiptir. Su buharı, oksijen, karbondioksit geçirimliliği, su geçirimliliği gibi düşüktür. Ayrıca çok iyi aderans özelliklerine, yüksek çarpma dayanımına ve kimyasal maddelere karşı iyi bir dayanıklılığa sahiptirler [15].

Polimerler betona karıştırma sırasında eklenir. Kullanılacak olan çimentonun türü uygulamadan uygulamaya farklılık göstermektedir. Karışım oranları geleneksel betonlarda olduğu gibi; uygulamanın amacına uygun olarak işlenebilme, dayanım, aderans, su geçirimsizlik ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılık gibi özelliklerin gerekliliğine göre belirlenir. Bu özellikler su/çimento oranından (W/C) daha çok polimer çimento (P/C) oranına bağlıdır. Polimer çimento oranı karışımdaki toplam polimer ağırlığının karışımdaki toplam çimento ağırlığına bölünmesiyle elde edilir. Polimer ağırlığı olarak lateks polimerlerde sadece katı madde içeriğinin ağırlığı dikkate alınırken diğer türlerde toplam ağırlık dikkate alınır. Genelde P/C oranı 5-15 %, W/C oranı ise 30-50 % civarındadır. Lateks polimerler önce suyla karıştırılarak seyreltilir, ardından çimentoyla karıştırılır. Karıştırma süresi, istenen hava miktarına göre seçilir. Toz halindeki emülsiyonlar ve suda çözünen polimerler, karışıma su eklenmeden önce, kuru olarak çimentoyla karıştırılır [15].

Polimerlerle modifiye edilmiş betonlar geniş bir yelpazede uygulanmaktadır. Evler için su geçirmez membran kaplamalar, silolar, yeraltı tankları, su altındaki yapı elemanları, korozyona karşı dayanıklılık gerektiren yapı elemanları kullanım alanlarından bazılarıdır [15].

Yüksek malzeme fiyatlarının kritik olmadığı yerlerde ve mevcut alt tabaka ile iyi bir bağın kritik parametre olduğu yerlerde ideal malzemelerdir. Köprü ve park alanlarındaki döşemeler üzerine uygulanan ince kaplama polimer modifiye betonlar çelik donatıyı

korumada ideal malzemelerdir. Elastomer ve epoksi kökenli lateksler bu amaçla yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Aşınma etkisine maruz kalacak ve kimyasal maddeler ile temas edecek endüstriyel zeminlerin tamir işlerinde sıkça kullanılmaktadır. İyi bir aderans gereken uygulamalarda da kullanılırlar [25].

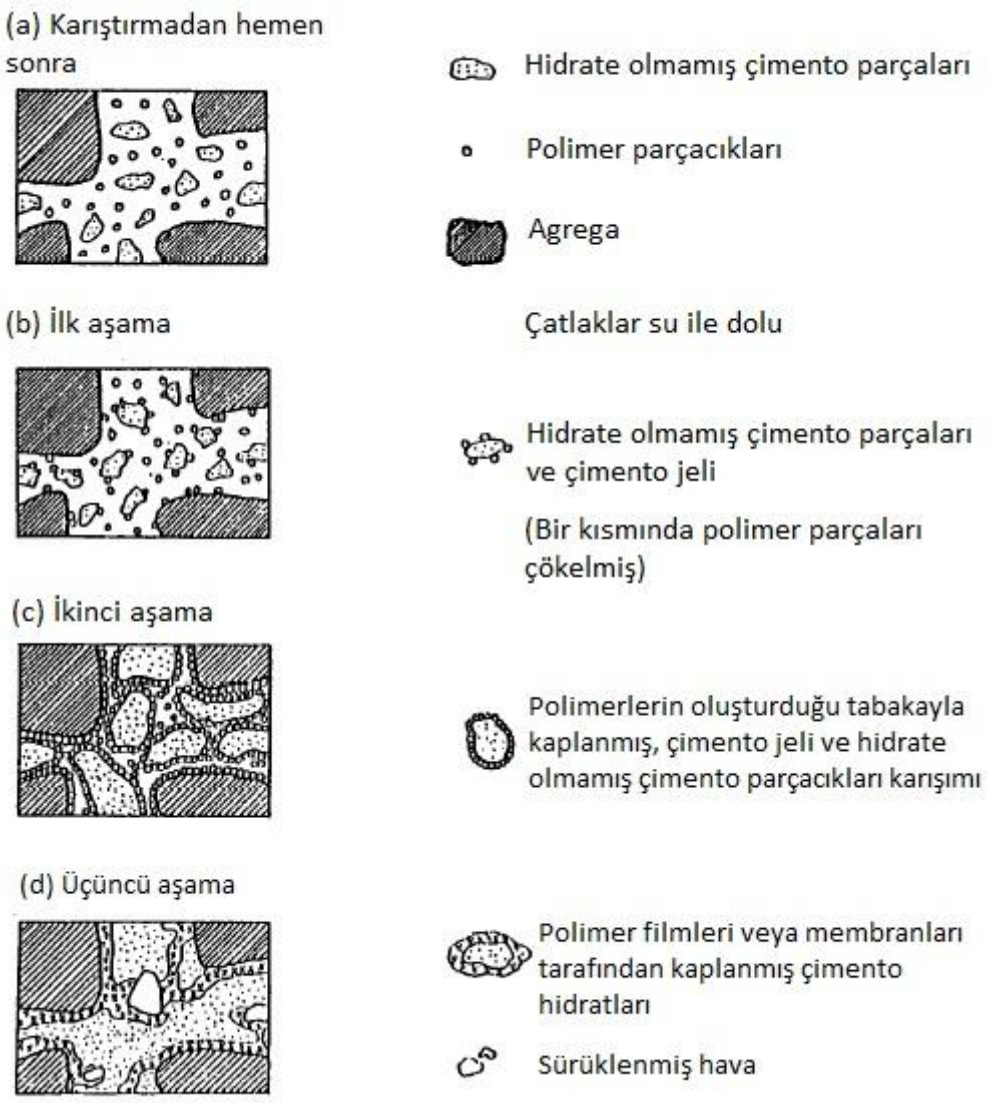
### 4.3.1 Latekslerle Modifikasyon

Betonun lateks ise modifikasyonunda, bağlayıcı faz olarak hem çimentonun hidratasyonu hem de polimer film oluşumu etkindir. Çimentonun hidratasyonu genellikle polimer film oluşumundan önce gerçekleşir. Komatris fazı, çimentonun hidratasyonu ve polimer filmin oluşumu tarafından gerçekleştirilir. Komatris fazının oluşumu 3 aşamada gerçekleşir (Şekil 4.1) [1].

İlk aşamada lateksler taze çimento hamuruyla karıştırıldıklarında, polimer parçacıkları çimento pastası içinde üniform olarak dağılırlar. Polimer-çimento pastası içinde çimentonun hidratasyonu ile çimento jeli adım adım oluşmaya başlar. Polimer parçaları da karışımdaki hidrate olan ve olmayan çimento parçaları üzerinde çökelmeye başlar [1].

Bir sonraki aşamada çimentonun hidtratasyona devam edebilmek için kapiler boşluklardaki suyu tüketmeye başlamasıyla polimer parçacıkları yavaş yavaş bu boşlukları doldurmaya başlar. Hidratasyonun devam etmesi ve kapiler boşluklardaki suyun azalmasıyla birlikte polimer parçacıkları kapalı bir tabaka oluşturmak için çimento parçacıkları ve agregaların etrafını sarmaya başlar [1].

Son aşamada çimento parçacıkları ve agregaların etrafını ince bir film şeklinde kaplayan polimerler, çimento hidratasyonu sonucu suyun tükenmesiyle birlikte sürekli bir film tabakası veya membran oluşturur. Oluşan bu film tabakaları veya membranlar, çimento hidratlarına nüfuz ederek polimer fazıyla çimento hidratları fazı arasında yekpare bir ağ oluşturur. Bu film tabakası mikro çatlaklar arasında köprü görevi görür böylece çatlak oluşumunu ve gelişimini önler [1,15].




Şekil 4.1 Latekslerle modifikasyonda komatris fazın oluşumu [1]

Lateks modifikasyonu betonun işlenebilirliğini arttırır ve su kusmasını azaltır. Kullanılan lateks miktarı çok yüksekse yüzeyde bir lateks kabuk oluşabilir. Bu kabuk yüzeyi çok yapışkan olduğundan perdahlamayı zorlaştırır. Lateks modifikasyonlu betonların priz süreleri geleneksel betonlara göre daha uzundur [25].

Lateksle modifiye edilmiş betonların basınç dayanımları, kuru kür koşullarında genellikle normal betona göre daha yüksektir. Dayanım artışı 28 günün üzerinde de devam eder. Eğilme ve çekme dayanımındaki artış basınç gerilmesindeki artışa oranla daha fazladır. Elastisite modülü daha düşük olmasına rağmen, çekme yüklerinin altında kırılmada daha yüksek deformasyon yapar. Polimer filmin yüksek çekme dayanımı, çatlak ilerlemesini önler. Çatlak ucunun arkasına gerilme transferi sağlar. Böylece, gerilme yığılmasını önler

ve çatlakları kapalı tutar. Kuruma büzülmesi ve sünmesi normal betona kıyasla daha düşük olmaktadır. Hava sürükleme özellikleri, donma-çözülme etkisine karşı dayanıklılık sağlar [25].

### 4.3.2 Toz Halinde Polimerlerle Modifikasyon

Toz halinde polimerlerle modifikasyonun ilkesi hemen hemen lateksle modifikasyon gibidir. Ancak toz halindeki polimerler çimento içerisine kuru durumdayken karıştırılır. Suyla birleştiklerinde lateks benzeri davranış sergilerler [1].

### 4.3.3 Suda Çözünen Polimerlerle Modifikasyon

Suda çözünen polimerler kuru halde veya suda seyreltilerek karıştırma esnasında çimento hamuruna ve betona eklenir. Bu modifikasyon, suda çözünen polimerlerin yüzeydeki faaliyeti sonucunda betonun kurumasını engeller ve böylece işlenebilirliği arttırır. Bunun sebebi yüzeydeki polimerlerin beton içerisindeki suyun viskozitesini arttırması ve su geçirimsiz ince bir film oluşturmasıdır. Oluşan bu ince film az da olsa kompozitin dayanımını da yükseltir [1,15].

### 4.3.4 Sıvı Reçineler veya Monomerlerle Modifikasyon

Reçineler çimento içerisine latekslerden daha fazla oranda karıştırılırlar. Reçinelerin molekül ağırlığı latekslerden daha az olduğu için polimerizasyon ve çimentonun hidratasyonu aynı anda gerçekleşir. Bu durum, polimer faz ile çimento fazın birbiri içine geçerek aralarında güçlü bir ağ oluşturmalarını sağlar. Monomerlerin modifikasyonu da aynı şekilde gerçekleşmektedir [1,15].

# BÖLÜM 5

# DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmada toz ve sıvı polimerlerin kaplama malzemelerinin performanslarına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 2 farklı sıvı ve 1 toz olmak üzere toplamda 3 çeşit polimer kullanılmıştır. İlk etapta maksimum dane çapı 0.2 mm olan kalsit agregası kullanılarak biri polimer katkısız, diğerleri ise her polimer türü için % 2,5 ve % 5 polimer katkılı toplamda 7 seri üretim yapılmış, deney sonuçlarından yola çıkılarak, kalsit yerine maksimum dane çapı 2 mm olan silis esaslı kum kullanılarak 1 adet polimer katkısız referans ve her polimer türü için % 2,5 veya %5 oranlarından biri seçilerek toplamda 4 seri üretim daha gerçekleştirilmiştir.

## 5.1 Kullanılan Malzemeler

### 5.1.1 Çimento

Polimer katkılı harçlarda Portland çimento, Sülfata Dayanıklı Portland çimento, Beyaz Portland Çimento, Alüminatlı Çimento gibi farklı türde çimentolar kullanılabilmektedir. Bu çalışmada CEM I 52,5 R Beyaz Portland çimentosu ve Alüminatlı Çimento birlikte kullanılmıştır. Çimentolara ait özellikler Çizelge 5.1'te verilmiştir.

Çizelge 5.1 Çimentoların fiziksel ve kimyasal özellikleri

| | Beyaz Portland Çimento | Alüminatlı |
|---|---|---|
| Çözünmeyen Kalıntı (%) | 0,18 | - |
| $SiO_2$ (%) | 21,6 | 3,60 |
| $Al_2O_3$ (%) | 4,05 | 39,80 |
| $Fe_2O_3$ (%) | 0,26 | 17,05 |
| CaO (%) | 65,7 | 36,20 |
| MgO (%) | 1,30 | 0,65 |
| $SO_3$ (%) | 3,30 | 0,04 |
| Kızdırma Kaybı (%) | 3,20 | 0,30 |
| $Na_2O$ (%) | 0,30 | - |
| $K_2O$ (%) | 0,35 | - |
| Serbest CaO (%) | 1,60 | - |
| Klorür ($Cl^-$) (%) | - | 0,0090 |
| S (Sülfür) (%) | - | 0,01 |
| $Na_{2(eq)}$ (%) | - | 0,16 |
| Özgül Ağırlık ($g/cm^3$) | 3,06 | 3,25 |
| Özgül Yüzey (Blaine, $cm^2/g$) | 4600 | 3000 |
| Su (%) | 30,0 | 23,1 |
| 2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa) | 37 | - |
| 7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa) | 50 | - |
| 28 Günlük Basınç Dayanımı | 60 | - |
| 6 Saatlik Basınç Dayanımı (MPa) | - | 47 |
| 24 Saatlik Basınç Dayanımı (MPa) | - | 70 |

### 5.1.2 Agrega

Harç üretiminde, ilk etapta agrega olarak beyaz renkli, 2,7 $g/cm^3$ tane yoğunluğuna sahip maksimum dane çapı 0,2 mm olan kalsit agregası kullanılmıştır. Sonraki etapta maksimum dane çapı 2 mm olan silis kumu kullanılarak üretimler yapılmıştır.

### 5.1.3 Akışkanlaştırıcı

Akışkanlaştırıcılar uygulamada su/çimento oranını azaltarak daha yüksek dayanım kazanabilmek veya aynı işlenebilmeyi sağlamak ve kolay yerleşmeyi sağlamak

amaçlarıyla kullanılmaktadır. Çalışmada melamin esaslıtoz akışkanlaştırıcı kullanılmış, kullanılan akışkanlaştırıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Akışkanlaştırıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri

| | |
|---|---|
| Fiziksel Hal | Toz |
| Renk | Beyaz |
| Kurutma Sırasındaki Kütle Kaybı | Maksimum % 4 |
| Birim Hacim Ağırlığı ($kg/m^3$) | 500 - 800 |
| pH | 9,0 – 11,4 |
| Tavsiye Edilen Dozaj | 0,20 – 2,00 |

### 5.1.4 Köpük Kesici

Çalışmada, karışımın yüzey gerilimini azaltarak yüzeyde köpük oluşturmasını engelleyen köpük kesici (köpük giderici) katkı maddesi kullanılmıştır. Köpük kesiciler hem köpük oluşumunu engellemek hem de var olan köpüklerin giderilmesinde kullanılabilir. Köpük kesicilerin en önemli karakteristik özelliği, yüzey aktif ve suda çözünür olmalarıdır. Yüzey aktif özelliği köpük kesicilerin, tüm hava-su arayüzeylerine rahatlıkla uyum sağlayabilmelerini sağlar. Bazı köpük kesicileri hidrofobik silikat parçacıkları içerir. Bu parçacıklar köpüğü oluşturan kabarcıkların içine nüfuz ederek birleşmelerini sağlar. Deneysel çalışmada kullanılan köpük kesicinin özellikleri Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 Köpük kesicinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

| | |
|---|---|
| Fiziksel hal | Toz |
| Renk | Beyaz |
| Yoğunluk (g/l) | 290 |
| Suda çözünebilirlik | Su geçirimsiz ve suda çözünebilen |

### 5.1.5 Kıvam Arttırıcı

Çalışmalarda kıvam arttırıcı olarak iyonlaşmamış, suda çözünebilen selüloz eter kullanılmıştır. Selüloz eterin en önemli özelliği bünyesinde su tutmasıdır. Bulundukları ortama suyu çekerler ve belirli bir miktarda suyu bünyelerine hapsederler. Böylelikle harcın çalışma süresinin ayarlanabilmesine imkan verirler. Kullanılmış olan kıvam arttırıcının özellikleri Çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4 Kıvam arttırıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri

| | |
|---|---|
| Fiziksel hal | Toz |
| Renk | Beyaz |
| Tane çapı | %98<425µm |
| Su içeriği | Maksimum %5 |
| Tuz içeriği | Maksimum %5 |
| pH (%1'lik çözelti) | Nötr |
| Yüzey aktivitesi ve viskozite | Zayıf |

### 5.1.6 Çinkosterat

Üretilen harcın su geçirimsizliğini arttırmak için, bünyesinde yüksek oranda su tutma kapasitesine sahip, molekül ağırlığı 623,3 g/mol ve ergime sıcaklığı 130°C olan çinkosterat maddesi kullanılmıştır.

### 5.1.7 Polimer (Sıvı ve Toz)

Yapılan çalışmalarda üretilen kaplama malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerini güçlendirmek için 3 farklı polimer kullanılmıştır. Bunlardan ilki vinil asetat ve etilen bazlı, beyaz renkli, hacimsel yoğunluğu 0.400-0.500 g/ml, kül içeriği %12-16, camsı ısı geçirgenliği 17°C, minimum film oluşturma sıcaklığı ise 3°C ve pH değeri 6,0 olan toz polimerdir. Kullanılan bir diğer polimer ise saf akrilik bazlı, toplam katı madde oranı %47, maksimum viskozitesi saniyede 300 MPa, camsı ısı geçirgenliği 15°C, minimum film oluşturma sıcaklığı ise 10°C ve pH değeri 9,0–10.0 arasında değişen sıvı polimerdir. Son olarak yine stiren akrilik bazlı, toplam katı madde oranı %50, viskozitesi 3000 -7000 değerleri arası değişen, camsı ısı geçirgenliği -8°C, minimum film oluşturma sıcaklığı ise 0 °C'den küçük ve pH değeri 6±1 olan sıvı polimerdir. Kullanılan polimerlerin özellikleri Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5 Polimerlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri

| Polimer Çeşidi | Toz Polimer (D) | Akrilik Polimer | Sıvı Polimer (S) |
|---|---|---|---|
| Kimyasal Birleşim | Vinil asetat ve | Saf Akrilik | Stiren Akrilik |
| Renk | Beyaz | Beyaz | Beyaz |
| Toplam katı | - | % 47 ±1 | % 50 ±1 |
| pH Değeri | 6.0 | 9.0 – 10.0 | 6 ± 1 |
| Viskozite (Mpa/s) | - | 300 | 3000-7000 |
| Minimum film | 3°C | 10°C | <0°C |
| Camsı geçiş | 17°C | 15°C | -8°C |
| Hacimsel | 0.4 – 0.5 | - | - |

## 5.2 Karışım Oranları

2 farklı agrega ve 3 farklı tür polimer kullanılarak toplamda 11 seri kaplama malzemesi üretilmiş, serilere ait karışım oranları ve seri kodlarının açıklamaları sırası ile Çizelge 5.6'da ve Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.6 Harç üretiminde kullanılan malzeme miktarları

| Malzeme miktarı | R | O2,5 | O5 | S2,5 | S5 | D2,5 | D5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BPÇ + AÇ | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Su | 63,29 | 56,26 | 49,21 | 58,36 | 53,47 | 63,29 | 63,29 |
| Köpük Kesici | 2,31 | 2,31 | 2,31 | 2,31 | 2,31 | 2,31 | 2,31 |
| Kıvam Arttırıcı | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| Akışkanlaştırıcı | 0,87 | 0,93 | 0,67 | 1,33 | 1,33 | 2,00 | 2,13 |
| Sıvı Polimer (S) | 0 | 0 | 0 | 0 | 13,30 | 26,58 | 0 |
| Akrilik Polimer (O) | 0 | 13,30 | 26,58 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Toz Polimer (D) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,25 | 12,49 |
| Çinko Sterat | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 | 3,00 |
| Kalsit | 149,90 | 149,90 | 149,90 | 149,90 | 149,90 | 149,90 | 149,90 |
| Silis Kumu | 149,90 | - | 149,90 | - | 149,90 | 149,90 | - |

Her bir seri için karışım oranları yapılan ön üretimler neticesinde belirlenmiş, belirlenen miktarlara göre malzemeler tartılmış, karıştırma sırasında öncelikle sıvı bileşenler kaba konulmuş ardından kalan malzemeler ilave edilmiştir. Karışım el matkabıyla gerçekleştirilmiş, tüm malzeme ilk olarak 4 dakika karıştırılmış, 1 dakika dinlendirilmiş

ve 2 dakika daha karıştırılarak taze harç malzemesi elde edilmiştir. İlk etapta kalsit agregası kullanılarak 7 seri üretim yapılmış, ardından her polimer için bir oran seçilerek 4 seri üretim daha gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.7 Harç serilere ait kodlamalarının açıklaması

| Kod | Açıklama |
|---|---|
| R | Referans (Kalsit agregalı, polimer katkısız) |
| O2,5 | Kalsit agregalı, saf akrilik emülsiyon polimerin % 2,5'luk kullanımı |
| O5 | Kalsit agregalı, saf akrilik emülsiyon polimerin % 5'lik kullanımı |
| S2,5 | Kalsit agregalı, stiren akrilik bazlı sıvı polimerin % 2,5'luk kullanımı |
| S5 | Kalsit agregalı, stiren akrilik bazlı sıvı polimerin % 5'lik kullanımı |
| D2,5 | Kalsit agregalı, vinil asetat-etilen kopolimer bazlı toz polimerin % 2,5'luk kullanımı |
| D5 | Kalsit agregalı, vinil asetat-etilen kopolimer bazlı toz polimerin % 5'lik kullanımı |
| R-2 | Referans (Rilem kumlu, polimer katkısız) |
| 05-2 | Rilem kumlu, saf akrilik emülsiyon polimerin % 5'lik kullanımı |
| S5-2 | Rilem kumlu, stiren akrilik bazlı sıvı polimerin % 5'lik kullanımı |
| D2,5-2 | Rilem kumlu, vinil asetat-etilen kopolimer bazlı toz polimerin % 2,5'luk kullanımı |

Silis kumu kullanılarak gerçekleştirilen üretimler O5-2, S5-2 ve D2,5-2 şeklinde kodlanmış, agrega türü dışında diğer malzeme türlerinde ve miktarlarında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

## 5.3 Deneyler

### 5.3.1 Taze Halde Yapılan Deneyler

#### 5.3.1.1 Yayılma Deneyi ve Kıvam Kaybı

Taze haldeki karışımın yayılma değerinin tespiti için yayılma tablası üzerinde üst çember çapı 70 mm, alt çember çapı 10 cm olan 60 mm yüksekliğindeki kesik koni biçimindeki bir kalıp kullanılmıştır. Kalıp yağlandıktan sonra hazırlanan harç numune içerisine dökülmüş, koni biçimindeki kalıp dik doğrultuda yukarı doğru çekilmiş ve numunenin plaka üzerinde yaptığı yayılma miktarı birbirine dik 2 doğrultuda ölçülmüştür. Bu değerlerin aritmetik ortalaması alınarak yayılma miktarı belirlenmiştir [26]. Yayılma deneyi 15. ve 30. dakikalarda bazı serilerde tekrarlanarak karışımlardaki kıvam değişimi gözlenmiştir.



Şekil 5.1 Yayılma deneyinde kullanılan yayılma hunisi ve miktarının ölçülmesi

### 5.3.2 Sertleşmiş Halde Yapılan Deneyler

#### 5.3.2.1 Eğilme ve Basınç Deneyi

Çimento esaslı polimer katkılı kaplama malzemelerinde 7. ve 28. günlerde (2. Seri üretimlerde 2, 7 ve 28. günlerde) eğilme ve basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Eğilme deneyi, 3 adet 40x40x160 mm boyutlu prizmatik numunede TS EN 196-1'e göre yapılmıştır (Şekil 5.2) [27] . Basınç deneyi ise eğilme deneyi sonucunda elde edilen yarım prizmalarda TS EN 12190'a uygun olarak yapılmışıtr (Şekil 5.3) [28]. Eğilme dayanımı (5.1) bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır:

$R_f = (1{,}5 \times F_f \times l) / b^3$ (5.1)

Burada;

$R_f$ = Eğilme dayanımı ($N/mm^2$),

b = Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu (mm),

$F_f$ = Prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanan kuvvet (N),

l = Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık (mm).



Şekil 5.2 Eğilme dayanımı belirlenmesinde kulanılan numuneler ve deney düzeneği

Basınç dayanımı ise (5.2) bağıntısına göre hesaplanmıştır.

$R_c = F_c / 1600$ (5.2)

Burada;

$R_c$ = Basınç dayanımı ($N/mm^2$),

$F_c$ = Kırılmadaki en büyük yük (N),

1600 = Plakaların veya yardımcı plakaların alanı. (40 mm x 40 mm)



Şekil 5.3 Basınç dayanımı belirlenmesinde kullanılan deney düzeneği ve kırılma

#### 5.3.2.2 Aşınma Deneyi

Aşınma deneyi TS EN 13892-3 standardına uygun olarak kenar boyutu 71 ± 1,5 mm olan küp numunelerde yapılmıştır. Aşındırıcı malzeme olarak şekil 5.4'te gösterilen krondon tozu kullanılmıştır. Deneyden önce, deney numunelerinin yoğunluğu (ρ) belirlenmiştir. Ayrıca her bir numunede aşınma deneyinden önce ve sonra olmak üzere ağırlık ölçümü ve kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Her deney numunesine, 22 dönüşten meydana gelen 16 çevrim uygulanmıştır (Şekil 5.5). Her çevrimden sonra disk ve temas yüzü temizlenmiş, deney numunesi sırayla 90° döndürülmüş ve sürtünme şeridine yeni aşındırıcı toz konulmuştur. Aşınma deneyi sonucunda harç numunelerde meydana gelen ağırlık ve kesit kaybı belirlenmiştir. Böhme aşınma direnci (*A*), (5.3) bağıntısı kullanılarak deney numunesinin hacmindeki kayıp olarak belirlenmiştir [29].

$$A = \Delta V = (\Delta m / \rho_R) \qquad (5.3)$$

Burada;

$A$ = Böhme aşınma direnci,

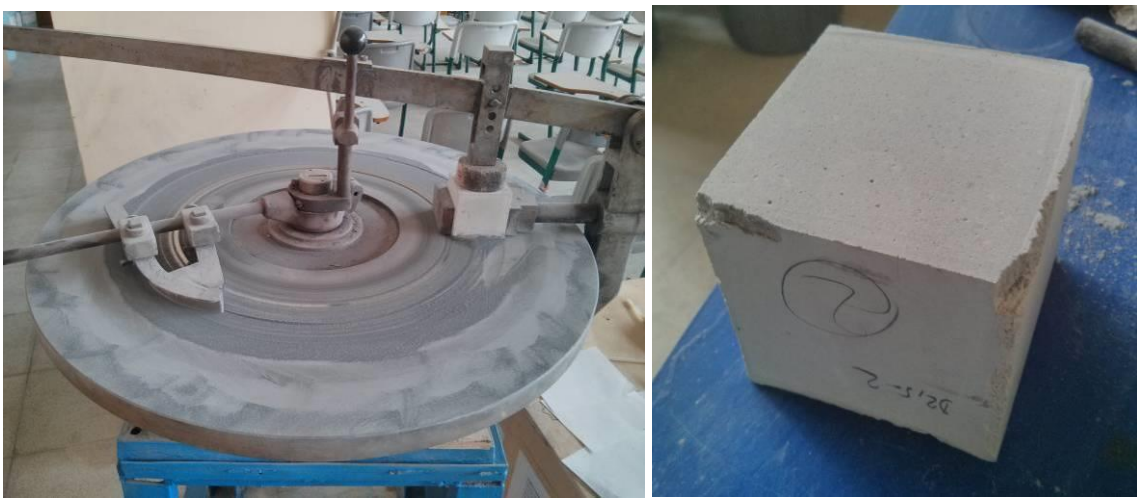
$\Delta V$ = Hacimce kayıp,

$\Delta m$ = Kütlece kayıp,

$\rho_R$ = Deney numunelerinin yoğunluğu.



Şekil 5.4 Krondon tozu



Şekil 5.5 Numunenin deney düzeneğindeki ve deney sonrasındaki görüntüsü

#### 5.3.2.3 Su Geçirgenliği Deneyi

Deney, 40x160x160 mm boyutlarındaki beton üzerine dökülen kaplama malzemesinde TS EN 1062-3'e uygun olarak yapılmıştır. Taban malzeme olarak kullanılan beton numuneler kaplama malzemesi dökülmeden önce temizlenmiş ve kurulanmıştır. Deney numuneleri bir hafta süreyle laboratuar ortamında kurutulmuş, şartlandırmadan önce deney numunelerinin arka yüzü ve kenarları parafinle kaplanarak suya karşı sızdırmaz hale getirilmiştir (Şekil 5.6) [30].



Şekil 5.6 Su geçirgenliği deneyi için numunelerin parafinle kaplanması

Deney numuneleri 23 ± 2 °C sıcaklık ve % 50 ± 5 bağıl nemde serbest hava dolaşımlı bir ortamda 7 gün daha kurutulmuş, ardından şartlandırma işlemine geçilmiştir. Deney numuneleri aşağıdaki şartlar altında 3 çevrime tabi tutulmuştur:

- 23 ± 2 °C suda (her çevrimde değiştirilen içme suyu) 24 saat bekletme (Şekil 5.7).
- 50 ± 2 °C'ta 24 saat etüvde kurutulma.

Son çevrimden sonra, deney numuneleri 24 saat 50 ± 2 °C'ta etüvde bekletilmiştir. Daha sonra, deney numuneleri, deney yapılmadan önce 24 saat süreyle 23 ± 2 °C sıcaklık ve % 50 ± 5 bağıl nemde şartlandırılmış ve kılcal su emme deneyine tabi tutulmuştur. Ağırlıkları tartılarak kaydedilen deney numuneleri, denenmekte olan kaplanmış yüzeyi alttan en az 10 mm yükseklikte ve su yüzeyinin 5 mm – 10 mm içinde olacak şekilde, cam pipetler üzerine yerleştirilmiş, böylece yüzeyin tamamının ıslanması sağlanmıştır. Deney başladıktan 10 dakika sonra deney numuneleri temiz bir havluyla silinerek hava kabarcıkları uzaklaştırılmış ve tartımı yapılmıştır. Aynı işlem deney başlangıcından 30 dakika, 1 saat, 2 saat ve 24 saat sonra tekrarlanarak deney sonlandırılmıştır.

Deney numunelerinni su geçirgenliği (w), kütle artışının (kg), deney numunelerinin alanına ($m^2$) ve zamanın karekökünе ($( 24\ h )^{0,5}$ ) bölünmesiyle hesaplanmıştır.



Şekil 5.7 Su geçirgenliği deneyi için numunelerin parafinle kaplanması

#### 5.3.2.4 Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyi

Harç numunelerde ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi, 50 mm boyutlu 3 adet küp numunede 28. günde yapılmıştır (Şekil 5.8). 28. günde numuneler tartılmış, ardından suya doygun hale gelinceye kadar (en az 48 saat) su içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra Arşimet terazisinde (Şekil 5.9) yapılan tartım sonucunda doygun numunenin sudaki ağırlığı ($M_3$) ve havadaki ağırlığı ($M_2$) belirlenmiştir. Tartımların ardından numune 100 °C'de etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilerek etüv kurusu haline getirilmiştir. Etüvden çıkartılan numuneler oda sıcaklığına gelinceye kadar desikatörde bekletilmiş ardından tartımı yapılmıştır ($M_1$). Numunenin ağırlıkça su emme oranı ($A_s$, %) (5.4) bağıntısı ile, hacimce su emme oranı ($H_s$, %) ise (5.5) bağıntısı ile hesaplanmıştır [31].

$$A_s = [(M_2-M_1)/M_1] \times 100 \quad (5.4)$$

$$H_s = [(M_2-M_1)/(M_2-M_3)] \times 100 \quad (5.5)$$



Şekil 5.8 Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi için kullanılan numuneler



Şekil 5.9 Arşimet terazisi

#### 5.3.2.5 Donma - Çözülme Deneyi

Donma-çözülme deneyi EN 13687-1 standardına göre 40x40x160 mm boyutlu numunede yapılmıştır (Şekil 5.10). Deney, 28. günü dolduran numunelerin suya konulmasıyla başlanmıştır. Numuneler 24 saat suda bekledikten sonra aşağıda açıklandığı şekilde donma-çözülme çevrimine tabi tutulmuşlardır.

- Numuneler doymuş sodyum klorür çözeltisi içine koyularak, -15 ±2 C° derece sıcaklıkta 2 saat boyunca bekletilmiştir.

- Numuneler yıkandıktan sonra içme suyu dolu bir kapta 21 ±2 C° derecede 2 saat bekletilmiştir.

Her 10 çevrimde bir numuneler çatlama, soyulma, kabarma, parça atma gibi yüzeysel kusurları tespit etmek için gözle kontrol edilmiş, deney 50. çevrime kadar sürdürülmüş, ardından numuneler üzerindeki yüzeysel kusurlar incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. [32].

#### 5.3.2.6 Doğrusal Büzülme (Rötre) Deneyi

Rötrenin belirlenmesi amacı ile, hazırlanan harç numuneler EN 12617-1'e uygun olarak 1000x30x4 mm boyutlarındaki kalıplara (Şekil 5.1) yerleştirilmiş, sıcaklığı 21 ± 2 °C, bağıl nemi % 60 ± 10 olan laboratuvar ortamında 7 gün saklanmış ve ilk rötre ölçümü yapılmıştır. Rötre ölçümü yapılırken numune kalıbın bir tarafına itilmiş ve diğer taraftaki boşluk kumpas yardımıyla ölçülmüştür. Ardından numuneler kalıp içerisinde 70±2 °C

sıcaklığındaki etüvde 24 saat boyunca bekletilmiştir. Etüvden alınan numuneler 1 gün daha laboratuvar ortamında bekletildikten sonra rötre ölçümleri tekrarlanmıştır. Rötre miktarı boy değişiminin ($\Delta l$) numunenin ilk boyuna ($l_0$) oranlanması ile hesaplanmıştır [33].



Şekil 5.10 Rötre ölçümü için kullanılan kalıplar

# BÖLÜM 6

# DENEY SONUÇLARI VE İRDELEMELER

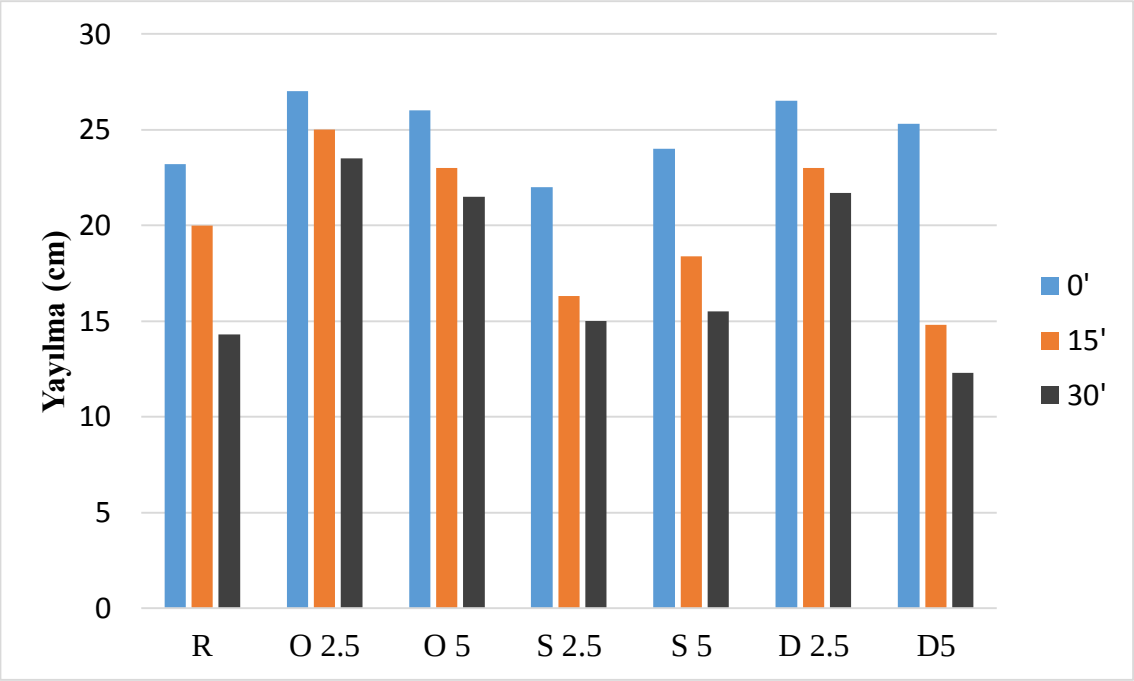
## 6.1 Taze Halde Yapılan Deneyler

### 6.1.1 Yayılma deneyi ve kıvam kaybı

Yayılma deney taze harç serilerde karışımdan hemen sonra (0. dakikada), 15. dakikada ve 30. dakikada yapılmış, sonuçlar Çizelge 6.1'de ve Şekil 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Yayılma deneyi sonuçları

| Kod | Yayılma (cm) | | |
|---|---|---|---|
| | 0. dakika | 15. dakika | 30. dakika |
| R | 23.2 | 20 | 14.3 |
| O2,5 | 27 | 25 | 23.5 |
| O5 | 26 | 23 | 21.5 |
| S2,5 | 22 | 16.3 | 15 |
| S5 | 24 | 18.4 | 15.5 |
| D2,5 | 26.5 | 23 | 21.7 |
| D5 | 25.3 | 14.8 | 12.3 |




Şekil 6.1 Yayılma deneyi sonuçları

Deney sonuçlarına göre en büyük yayılma değerleri O2,5 serisinde elde edilmiş olup en az kıvam kaybı da yine bu seride gözlemlenmiştir. O5 serisi O2,5 serisi kadar olmamakla beraber iyi bir performans sergilemiş, önemli bir kıvam kaybına da uğramamıştır.

En küçük yayılma değerleri S2,5 serisinde elde edilmiştir. S5 numuneleri ilk anda S2,5 numunelerinden daha fazla yayılmışlarsa da 30 dakika sonunda daha fazla kıvam kaybetmişlerdir.

D2,5 ve D5 serileri ilk anda iyi bir yayılma performansı sergilemişlerdir. D2,5 serisinin 30 dakika sonudaki yayılma miktarı istenen sınırlar içerisindeyken, D5 serisi özellikle ilk 15 dakika sonunda önemli derecede kıvam kaybetmiş ve tüm seriler içinde en fazla kıvam kaybeden seri olmuştur.

Referans numuneleri göz önüne alındığında S2,5 serisi dışındaki tüm serilerin daha fazla yayıldığı görülmektedir. Kıvam kaybı dikkate alındığında, D5 serisi dışında tüm seriler referans numunelerinden daha iyi performans göstermiştir. Polimer katkısının oranı arttırıldığında kıvam kaybının da arttığı gözlemlenmiştir.

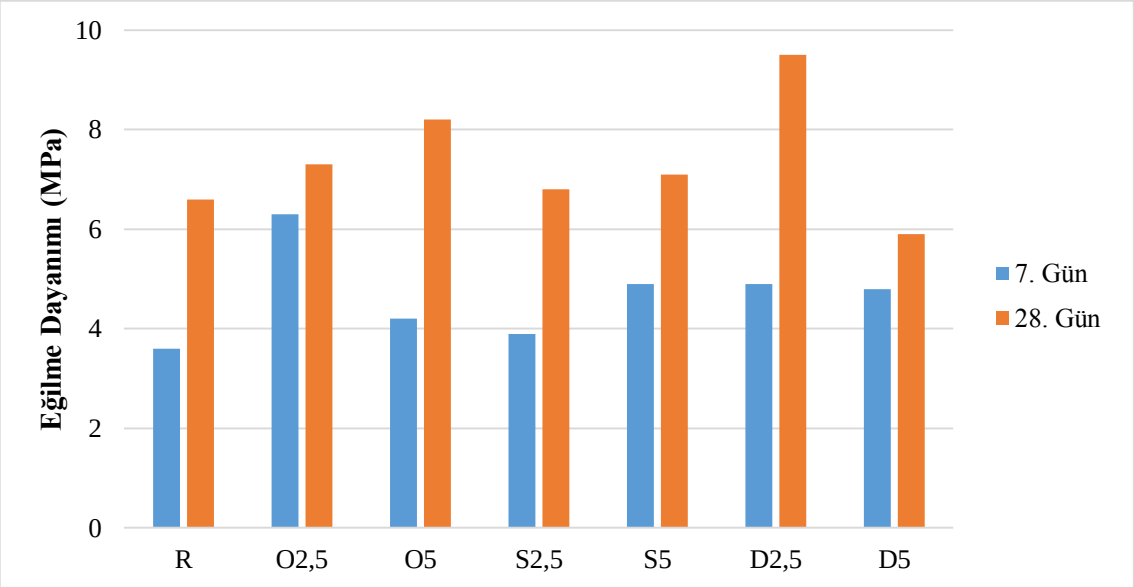
## 6.2 Sertleşmiş Halde Yapılan Deneyler

### 6.2.1 Eğilme Dayanımı Deneyi

Kalsit kullanılarak üretilen serilerde 7. ve 28. günlerde yapılan eğilme deneyi sonuçları Çizelge 6.2'de ve Şekil 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2 Kalsit kullanılarak üretilen serilerin eğilme dayanımları

| Kod | 7. Gün (MPa) | 28. Gün (MPa) |
|---|---|---|
| R | 3.6 | 6.6 |
| O2,5 | 6.3 | 7.3 |
| O5 | 4.2 | 8.2 |
| S2,5 | 3.9 | 6.8 |
| S5 | 4.9 | 7.1 |
| D2,5 | 4.9 | 9.5 |
| D5 | 4.8 | 5.9 |




Şekil 6.2 Kalsit tozu kullanılan serilerin eğilme dayanımları

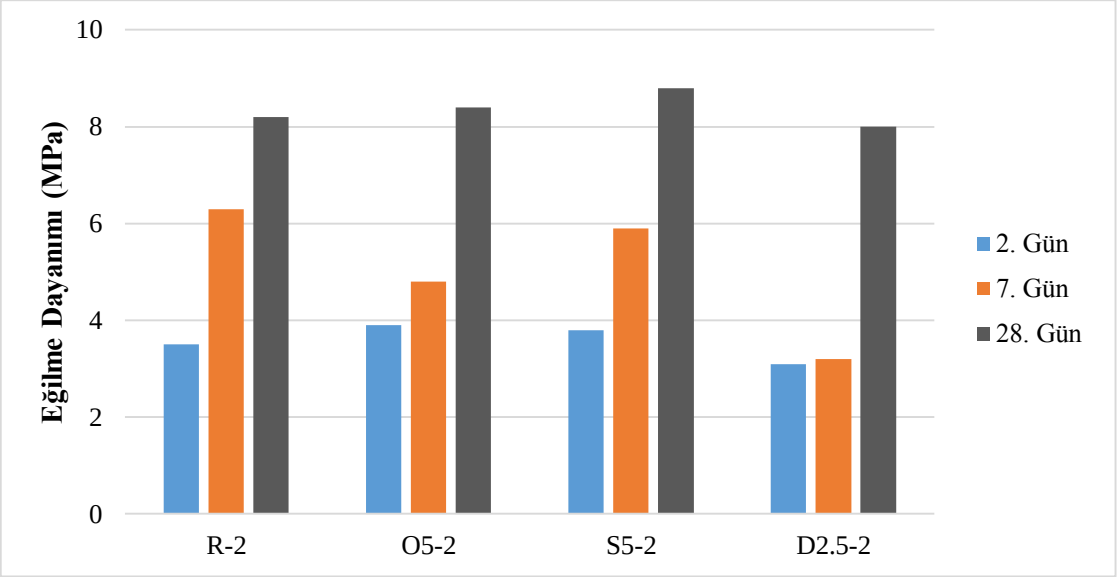
Yapılan deneyler sonucunda; 7 günlük sonuçlarda tüm serilerin referans numunelerinden daha yüksek eğilme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. 28 günük deneylerin sonucunda en yüksek eğilme dayanımı 9,5 MPa ile D2,5 serisinde, en düşük eğilme dayanımı ise 5,9 MPa ile D5 serisinde elde edilmiştir. Sıvı polimerler; O ve S serilerinde karışımdaki polimer oranının arttırılması eğilme dayanımı arttırırken toz polimer olan D

serilerinde tam tersi bir durum söz konusudur. Üretilen seriler içerisinde sadece D5 serisi referans numunelerinden daha kötü bir performansa sahiptir.

İkinci etapta üretimine başlanan ve agrega olarak standart kumun kullanıldığı serilerde elde edilen eğilme dayanımları Çizelge 6.3'te ve Grafik 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3 Standart kum kullanılarak üretilen serilerin eğilme dayanımları

| Kod | 2. Gün (MPa) | 7. Gün (MPa) | 28. Gün (MPa) |
|---|---|---|---|
| R-2 | 3.5 | 6.3 | 8.2 |
| O5-2 | 3.9 | 4.8 | 8.4 |
| S5-2 | 3.8 | 5.9 | 8.8 |
| D2.5-2 | 3.1 | 3.2 | 8.0 |




Şekil 6.3 Standart kum kullanılarak üretilen serilerin eğilme dayanımları

2 günlük deney sonuçlarına göre en yüksek dayanım O5-2 serisinde, en düşük dayanım ise D2,5-2 numunelerinde gözlenmiştir. 7 günlük deney sonuçlarında ise referans numuneleri en yüksek dayanımı göstermiş, en düşük dayanım ise D2,5-2 serisinde görülmüştür. 28 günlük deney sonuçlarında ise en yüksek dayanım 8,8 MPa ile S5-2 serisinde, en düşük dayanım ise 8,0 MPa ile D2,5-2 serisinde gözlemlenmiştir. O5-2 ve S5-2 serileri referans numunelerinden daha iyi bir performans sergilerken D2,5-2 serisi referans numunelerinden daha kötü bir performans göstermiştir.

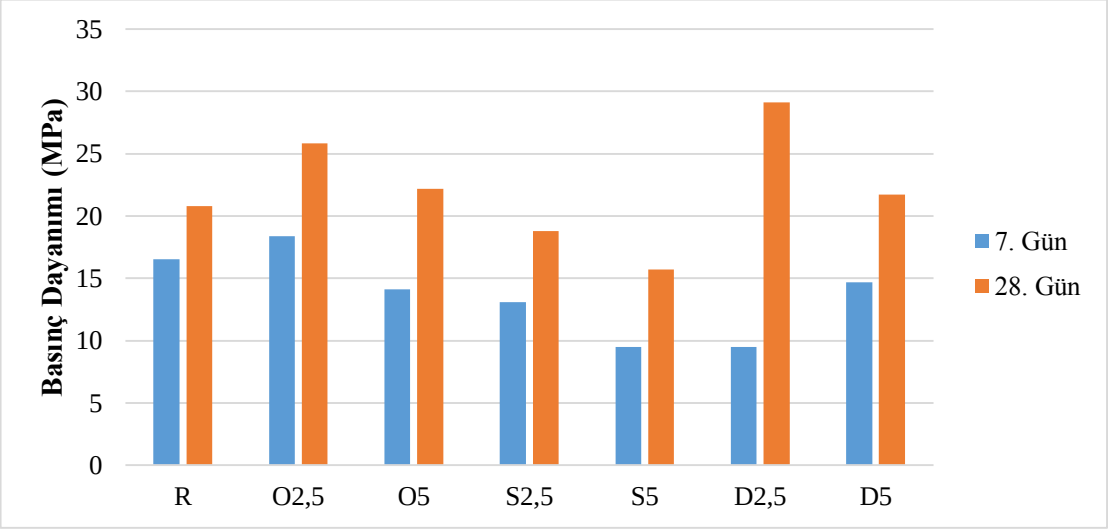
Kalsit yerine standart kumun kullanılması en fazla referans ve S5 numunelerinin eğilme dayanımında iyileşmeye neden olmuştur. Referans ve S5 numunelerinin eğilme dayanımları agrega değiştirildiğinde yaklaşık %25 iyileşme göstermiştir. O5 serisinde agrega değişimi belirgin bir iyileşmeye neden olmazken D2,5 serisinde agrega değişimi eğilme dayanımında yaklaşık %15'lik bir azalmaya neden olmuştur.

### 6.2.2 Basınç Dayanımı Deneyi

Kalsit kullanılarak üretilen serilerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri Çizelge 6.4'te ve Şekil 6.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.4 Kalsit kullanılarak üretilen serilerin basınç dayanımları

| Kod | 7. Gün (MPa) | 28. Gün (MPa) |
|---|---|---|
| R | 16.5 | 20.8 |
| O2,5 | 18.4 | 25.8 |
| O5 | 14.1 | 22.2 |
| S2,5 | 13.1 | 18.8 |
| S5 | 9.5 | 15.7 |
| D2,5 | 9.5 | 29.1 |
| D5 | 14.7 | 21.7 |




Şekil 6.4 Kalsit kullanılarak üretilen serilerin basınç dayanımları

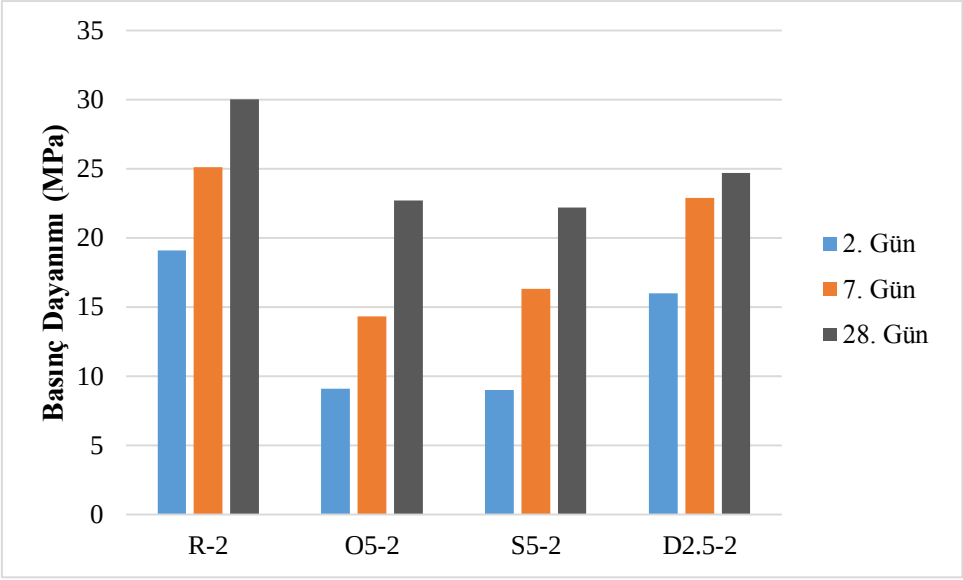
Grafiktende görülebildiği gibi, 7. günde en yüksek basınç dayanımı O2,5 serisinden elde edilmiştir. 7 günlük dayanımlara bakıldığında geri kalan katkılı 5 serinin tamamı referans numunelerinden daha düşük basınç dayanımı göstermiştir.

28 günlük dayanımlarda ise en yüksek basınç dayanımını 29,1 MPa ile D2,5 serisi göstermiştir. O2,5 ve O5 serileri de referans numunelerinden daha iyi bir performans gösterirlerken; S5, S2,5 ve D5 serileri daha kötü bir performans göstermişlerdir. En düşük dayanım 15,7 MPa ile S5 serisine aittir. Karışımlarda polimerlerin kullanım oranları arttıkça basınç dayanımlarında azalma görülmüştür.

Standart kum kullanılarak üretilen serilerin 2, 7 ve 28. günlerinde yapılan basınç deneyi sonuçları Çizelge 6.5'te ve Şekil 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.5 Standart kum kullanılarak üretilen serilerde basınç dayanımları

| Kod | 2. Gün (MPa) | 7. Gün (MPa) | 28. Gün (MPa) |
|---|---|---|---|
| R-2 | 19.1 | 25.1 | 30.0 |
| O5-2 | 9.1 | 14.3 | 22.7 |
| S5-2 | 9.0 | 16.3 | 22.2 |
| D2.5-2 | 16.0 | 22.9 | 24.7 |




Şekil 6.5 Standart kum kullanılarak üretilen serilerin basınç dayanımları

2 günlük deneylerde en yüksek basınç dayanımı referans numunelerinde, en düşük basınç dayanımı ise S5-2 serisinde elde edilmiştir. 7 günlük deneylerde en yüksek dayanım yine referans numunelerinde elde edilmiş, en düşük dayanım ise O5-2 serisinde elde edilmiştir. 28 günlük deneylerde en yüksek dayanım referans numunelerinde en düşük dayanım ise S 5-2 numunelerinde elde edilmiştir.

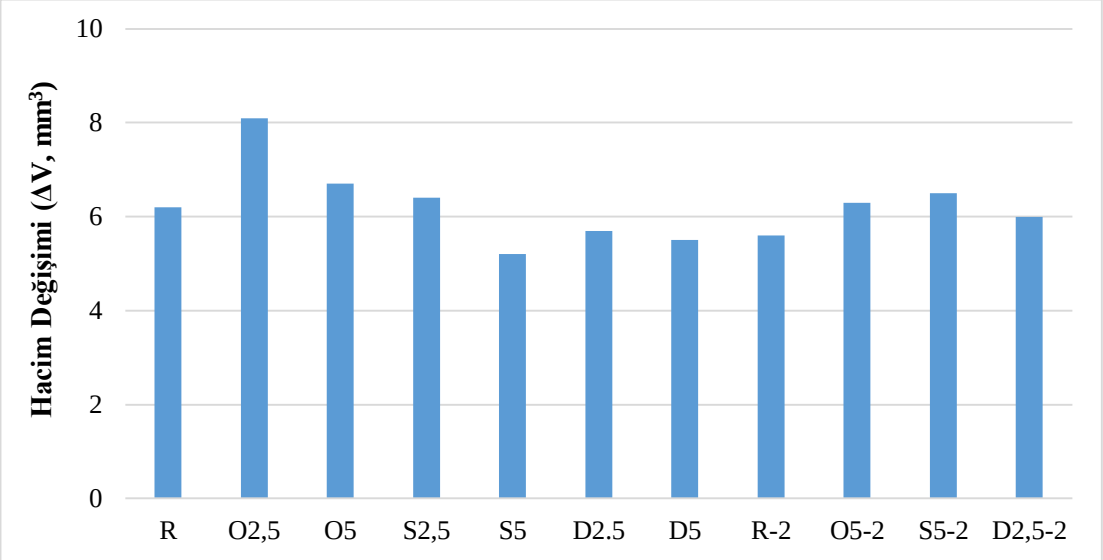
Agrega olarak kalsit yerine standart kumun kullanılması referans numunelerinde yaklaşık %45'lik bir artış sağlamıştır. S5 numunelerinde bu artış oranı %40 kadar iken O5 serilerinde sadece % 2'lik bir artış elde edilebilmiştir. D2,5 numunelerinin performansında diğer serilerin aksine % 15 oranında bir azalma gözlemlenmiştir.

### 6.2.3 Aşınma Deneyi

İlk etapta agrega olarak kalsit kullanılarak üretilen seriler ile ikinci etapta agrega olarak standart kum kullanılarak üretilen serilerin hacim değişimleri (ΔV) Çizelge 6.6'da verilmiş ve bu verilerden yola çıkılarak Şekil 6.6 çizilmiştir.

Çizelge 6.6 Aşınma deneyi sonuçları elde edilen hacim değişimleri (ΔV)

| Kod | ΔV ($mm^3$) |
|---|---|
| R | 6.2 |
| O2,5 | 8.1 |
| O5 | 6.7 |
| S2,5 | 6.4 |
| S5 | 5.2 |
| D2.5 | 5.7 |
| D5 | 5.5 |
| R-2 | 5.6 |
| O5-2 | 6.3 |
| S5-2 | 6.5 |
| D2,5-2 | 6.0 |




Şekil 6.6 Aşınma deney sonuçları

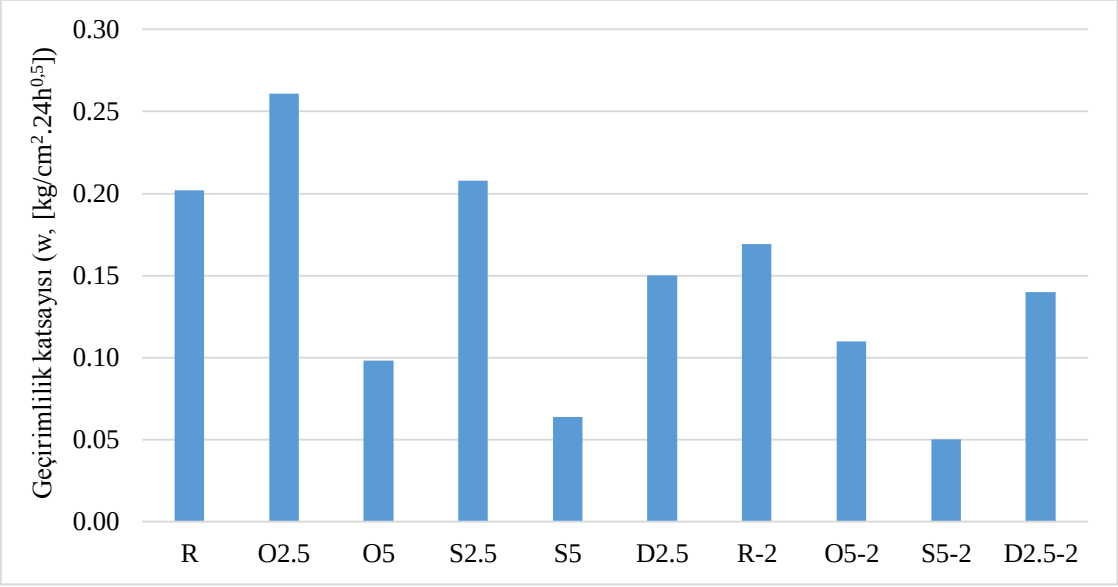
Deney sonuçlarına bakıldığında aşınma deneyi sonucunda en fazla hacim kaybı O2,5 sersinde, en az hacim kaybı ise S5 serisinde gözlemlenmiştir. Karışımdaki polimer oranının arttırılması tüm serilerin aşınma performansında iyileşme sağlamıştır. Agreganın değiştirilmesi R ve O serilerinde aşınmayı azaltırken S ve D aşınmayı arttırmıştır. Standart kum ile üretilen serilerde en az aşınan seri referans serisi olmuştur.

### 6.2.4 Su Geçirgenliği Deneyi

Üretilen serilerin su geçirgenliği deneyi sonuçları Çizelge 6.7'de ve Şekil 6.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.7 Harç serilere ait su geçirgenliği değerleri (w, [kg/($cm^2$.$(24h)^{0,5}$)])

| Kod | w, kg/($m^2$.$(24h)^{0,5}$) |
|---|---|
| R | 0,202 |
| O2.5 | 0,261 |
| O5 | 0,098 |
| S2.5 | 0,208 |
| S5 | 0,064 |
| D2.5 | 0,150 |
| R-2 | 0,169 |
| O5-2 | 0,110 |
| S5-2 | 0,050 |
| D2.5-2 | 0,140 |




Şekil 6.7 Su geçirgenliği deneyi sonuçları

Yapılan kılcal geçirimlilik deneyi sonucunda en iyi performansı S5-2 serisi, en kötü performansı ise O2,5 serisi göstermiştir. O2,5 ve S2,5 serisi dışındaki tüm seriler referans numunelerinden daha iyi bir performans göstermişlerdir. Karışımdaki polimer oranı arttıkça kılcal su geçirimliliğinin büyük oranda azaldığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni lateks ilavesiyle sürüklenen havanın matris fazı içinde küresel boşluklar oluşturması ve bu küresel boşlukların kılcal boşluklarda meydana gelen gerilimi düşürerek suyun yükselmesini önlemesi, böylece kılcal geçirimliliği azaltmasıdır. Karışımdaki polimer oranının arttırılmasıyla tüm serilerin kılcal su geçirimliliği performanslarında iyileşme görülmüştür.

Agreganın değiştirilmesi; S5, R ve D2,5 serilerinde su geçirimlilik katsayısında sırasıyla % 22, % 17 ve % 7 oranlarında azalma sağlarken O5 serisinde aksi bir etki yaparak su geçirimlilik katsayını % 12 arttırmıştır.

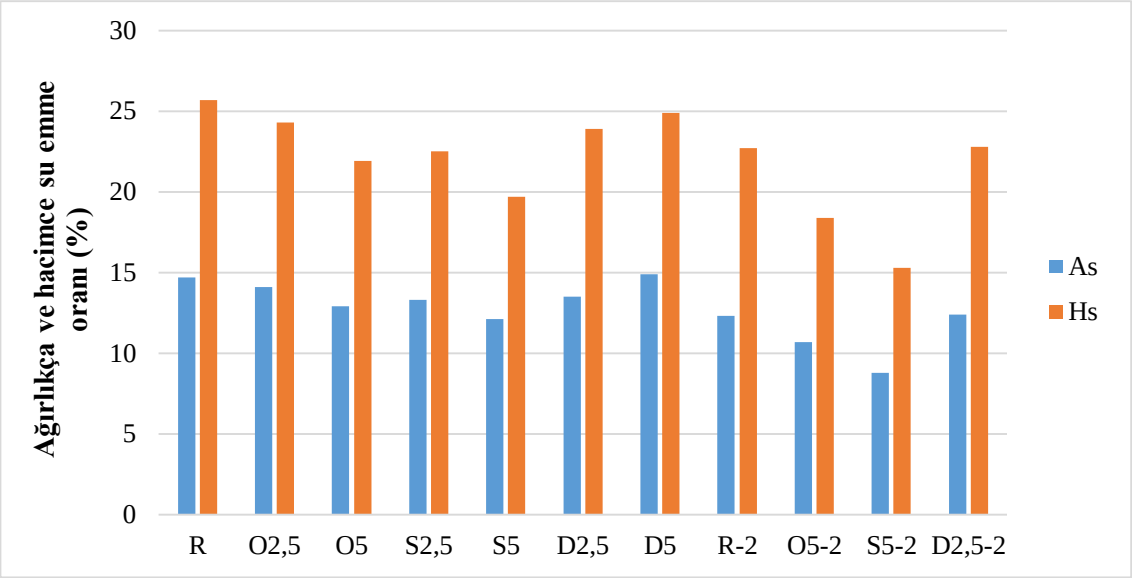
Kalsit yerine standart kum kullanılarak üretilen serilerde, en iyi performansı S5-2 serisi gösterirken diğer seriler de referans serisinden daha iyi performans ortaya koymuşlardır. S5-2 serisinde geçirimlilik katsayısı 0,050 iken R-2 serisinde 0,169'dur.

### 6.2.5 Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyi

Ağırlıkça su emme deneyinden elde edilen sonuçlar Çizelge 6.8'de ve Şekil 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8 Ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi sonuçları

| Kod | As (%) | Hs (%) |
|---|---|---|
| R | 14.7 | 25.7 |
| O2,5 | 14.1 | 24.3 |
| O5 | 12.9 | 21.9 |
| S2,5 | 13.3 | 22.5 |
| S5 | 12.1 | 19.7 |
| D2,5 | 13.5 | 23.9 |
| D5 | 14.9 | 24.9 |
| R-2 | 12.3 | 22.7 |
| O5-2 | 10.7 | 18.4 |
| S5-2 | 8.8 | 15.3 |
| D2,5-2 | 12.4 | 22.8 |




Şekil 6.8 Ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri

Ağırlıkça su emme deneyinde, kalsit kullanılarak üretilen serilerde en iyi performansı gösteren seri % 12,1 oranıyla S5 serisi, en kötü performansı gösteren seri ise % 14,9 oranıyla D5 serisi olmuştur. D5 serisi dışındaki seriler referans numunelerine göre daha az su emmiştir. Karışımlardaki polimer oranı arttıkça O ve S serilerinin performanslarında iyileşme görülürken D serisinin performansında aksi bir durum söz konusu olmuştur.

Standart kum kullanılan serilerde ise en iyi performansı S5-2 gösterirken en kötü performansı D2,5-2 serisi göstermiştir. Agrega olarak kalsit yerine standart kumun kullanılması tüm serilerde ağırlıkça su emme performansını iyileştirmiştir. Agrega değişimi % 27 oranıyla en fazla S5 serisinde, % 8 oranıyla da en az D2,5 serisinde iyileşme sağlamıştır.

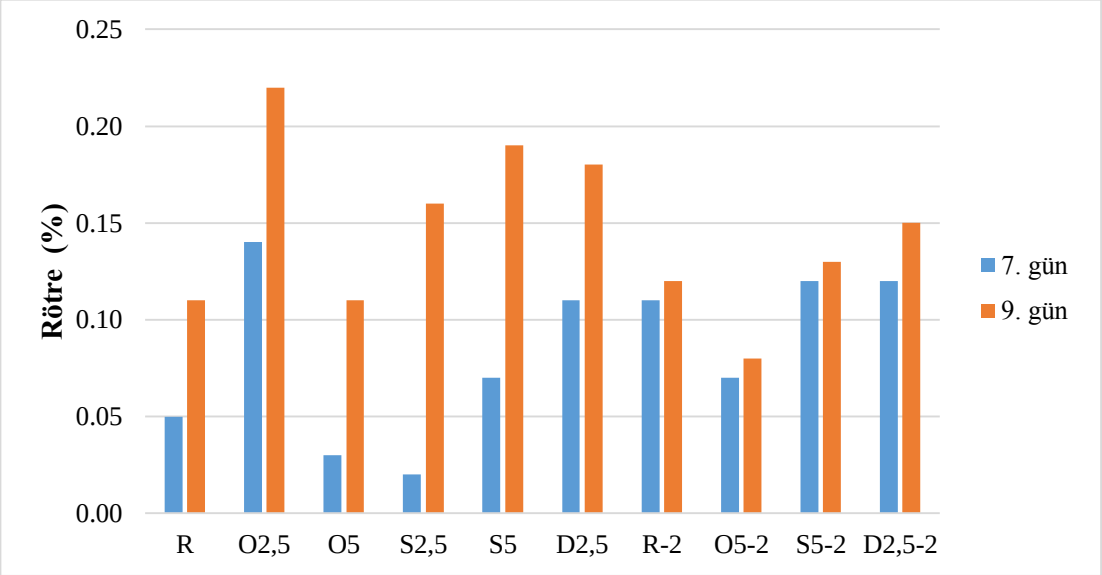
Hacimce su emme deneyleri sonucunda, kalsit kullanılarak üretilen serilerde hacimce en fazla %25,7 oranıyla R serisi en az ise % 19,7 oranıyla S5 serisi su emmiştir. Karışımdaki polimer oranının arttırılması O ve S serilerinde performansı iyileştirirken, D serisinin performansında aksi bir etki yapmıştır. Bu durum her polimerin özelliğinin aynı olmamasının, kullanılan polimer ve polimer-çimento oranının, harcın özelliklerini olumlu ve olumsuz yönde değiştirilebileceğini göstermiştir. Standart kum kullanılarak üretilen serilerde; en iyi performansı S5-2, en kötü performansı ise D2,5-2 göstermiştir. Standart kum kullanılmasının tüm serilerin performanslarında iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir.

### 6.2.6 Doğrusal Büzülme (Rötre) Deneyi

Rötre deneyi 7 ve 9. günlerde yapılmış olup sonuçlar Çizelge 6.9'da ve Şekil 6.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.9 Rötre deneyi sonuçları

| Kod | 7. gün (%) | 9. gün (%) |
|---|---|---|
| R | 0.05 | 0.11 |
| O2,5 | 0.14 | 0.22 |
| O5 | 0.03 | 0.11 |
| S2,5 | 0.02 | 0.16 |
| S5 | 0.07 | 0.19 |
| D2,5 | 0.11 | 0.18 |
| R-2 | 0.11 | 0.12 |
| O5-2 | 0.07 | 0.08 |
| S5-2 | 0.12 | 0.13 |
| D2,5-2 | 0.12 | 0.15 |




Şekil 6.9 Rötre deneyi sonuçları

Rötre deneyi sonucunda kalsit kullanılarak üretilen serilerde, polimer katkı kullanımının rötre oranını genellikle referans serisine göre arttırdığı gözlenmiş, dolayısıyla polimer katkının rötreyi arttırıcı etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

7 günlük sonuçlara göre en fazla rötre %0,14 ile O2,5 serisinde, en az rötre ise % 0,02 ile S2,5 serisinde tespit edilmiştir. 9 günlük sonuçlarda en fazla rötre % 0,22 ile yine O2,5 serisinde, en az rötre ise %0,11 değeriyle O5 ve R serilerine aittir. Karışımlardaki polimer miktarının arttırılması, 9 gün sonunda O serisinde rötre miktarını % 50 azaltırken, S serisindeyaklaşık % 20 oranında arttırmıştır. D5 serisi çatladığı için bu seride rötre ölçümleri yapılamamıştır.

Agrega olarak standart kum kullanıldığında 7 günlük rötre değerlerinde S5-2 ve D2,5-2 serileri % 0,12 ile en büyük rötreyi, O5-2 serisi ise % 0,07 en küçük rötreyi yapmıştır. Standart kum kullanımı 9 günlük değerleri referans serisi dışında azaltmıştır.

### 6.2.7 Donma-Çözülme Deneyi

Donma-çözülme deneyleri sadece standart kum kullanılarak üretilen seriler için yapılmıştır. 50 çevrim sonunda numunelerde meydana gelen değişimler fotoğraflanmıştır. Fotoğraflardan da görüldüğü üzere polimer kullanımı, serilerin donma-çözülme performansında referans numunelerine göre gözle görülür bir iyileşme sağlamıştır. Polimerler numuneler içerisindeki boşlukları doldurduğundan buralara suyun girmesini ve donma-çözülme olayları sonucu malzemeye zarar vermesini büyük oranda engellemiştir.



Şekil 6.10 Referans (polimer katkısız) örneklerin donma-çözülme çevrimi sonundaki görüntüsü



Şekil 6.11 Toz polimer katkılı (D2.5) örneklerin donma-çözülme çevrimi sonundaki görüntüsü




Şekil 6.12 Sıvı polimer katkılı (S5) örneklerin donma-çözülme çevrimi sonundaki görüntüsü



Şekil 6.13 Sıvı polimer katkılı (O5) örneklerin donma-çözülme çevrimi sonundaki görüntüsü

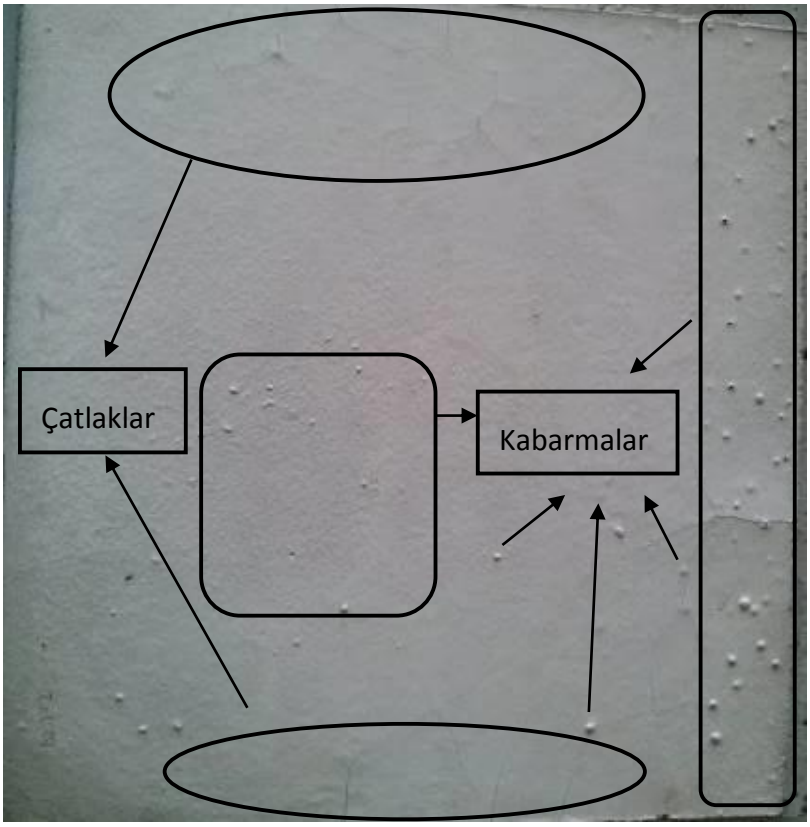
### 6.2.8 Yüzey Kusurlarının Değerlendirilmesi

Standart kum ile kaplama malzemesi üretildikten sonra malzeme 50x50 cm boyutlarındaki plakalara dökülerek laboratuar ortamında 75 gün bekletilmiş, bu süre sonunda bu numunelerden görüntüler alınmıştır (Şekil 6.14-6.20). Kaplama yüzeylerindeki çatlakların genişliği ölçülmüş ve EN 4628-4 [34] standardına göre sınıflandırılmıştır. Ayrıca sadece D2,5-2 serisinde meydana gelen kabarmalar EN 4628-2 [35] standartına göre sınıflandırılmıştır. S5-2 serisinin yüzeyinde herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir. Diğer serilerin hepsinde mozaik şeklindeki çatlaklara rastlanmış ve buna göre ilgili standart yardımıyla sınıflandırmalar yapılmıştır.

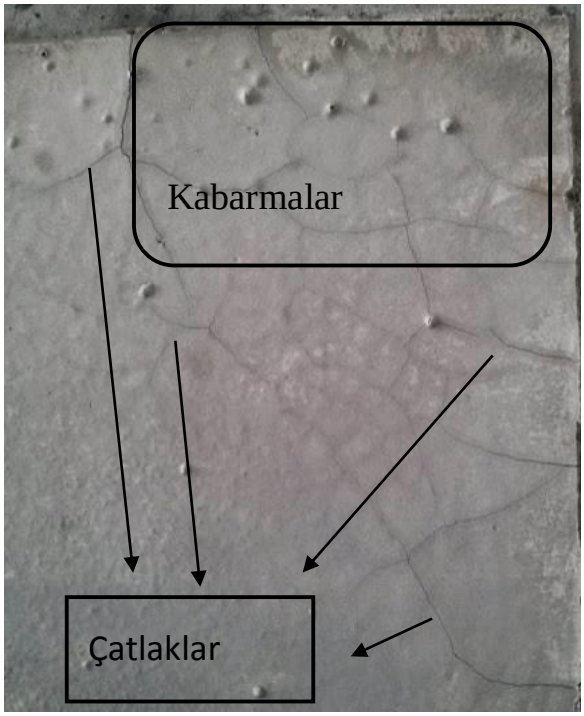
Buna göre D2,5-2 yüzeyindeki kabarmalar 3(S3), çatlaklar ise TNO 6 sınıfındadır. Referans numuneleri yüzeylerindeki çatlaklar TNO 4 sınıfında, O5 serisindeki çatlaklar ise TNO 2 sınıfındadır. Çatlak boyutları Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.10 Çatlak ölçüm sonuçları

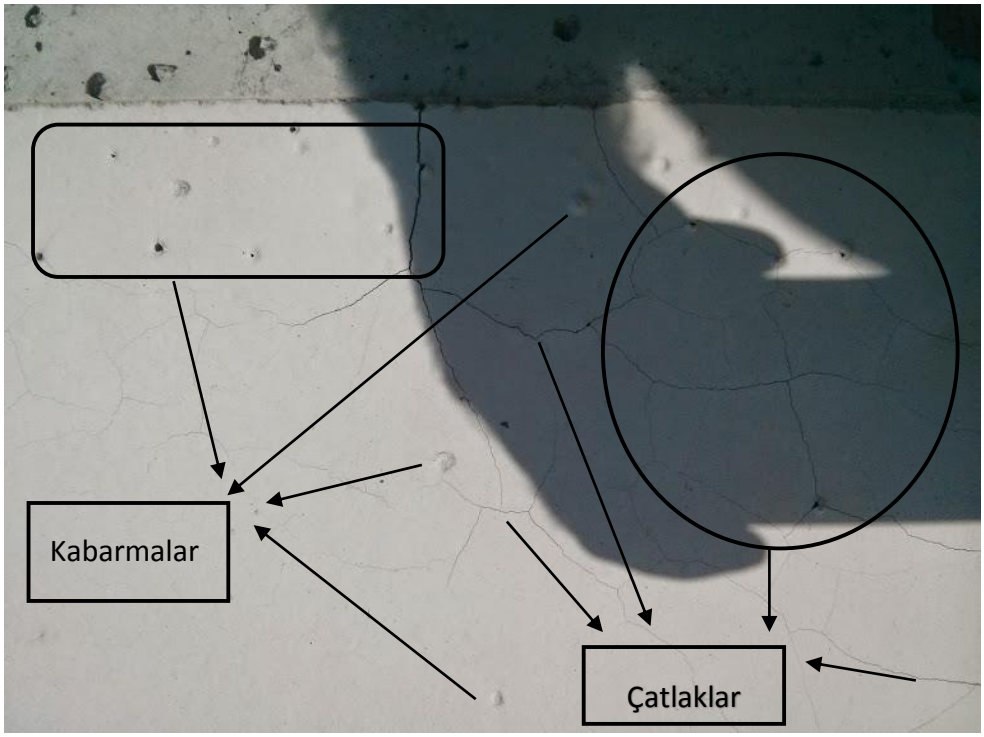
| Kod | Çatlak genişliği (mm) | |
|---|---|---|
| | Maksimum | Minimum |
| R-2 | 0.16 | 0.02 |
| O5-2 | 0.08 | 0.04 |
| S5-2 | - | - |
| D2,5-2 | 0.4 | 0.04 |



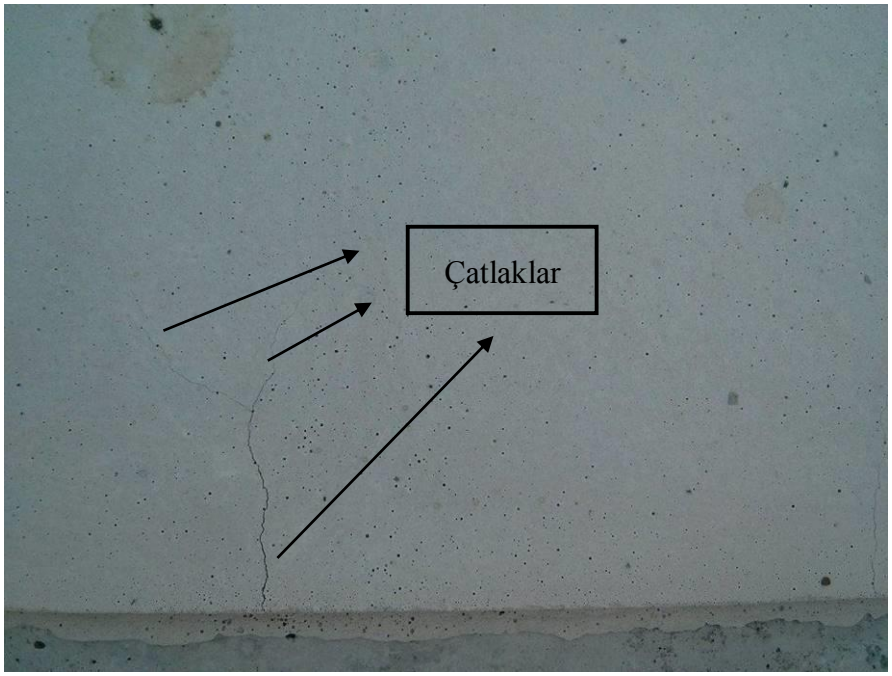

Şekil 6.14 D 2,5-2 numunesinin genel görünümü




Şekil 6.15 D 2,5-2 numunesindeki çatlaklar ve kabarmalar (I)



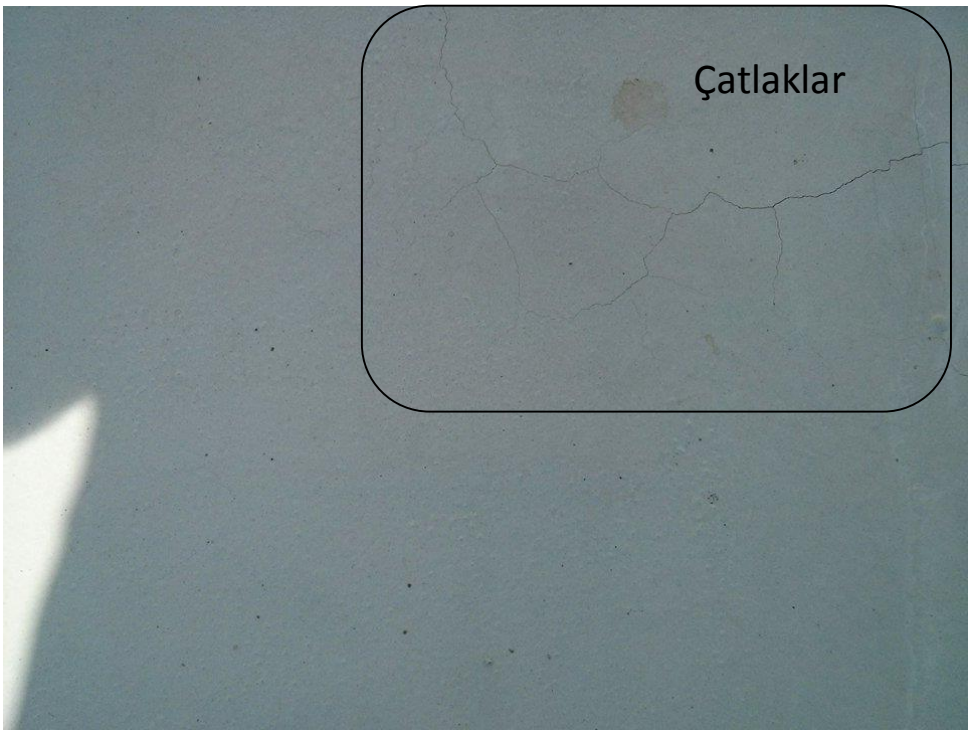

Şekil 6.16 D 2,5-2 numunesi üzerindeki çatlaklar ve kabarmalar (II)



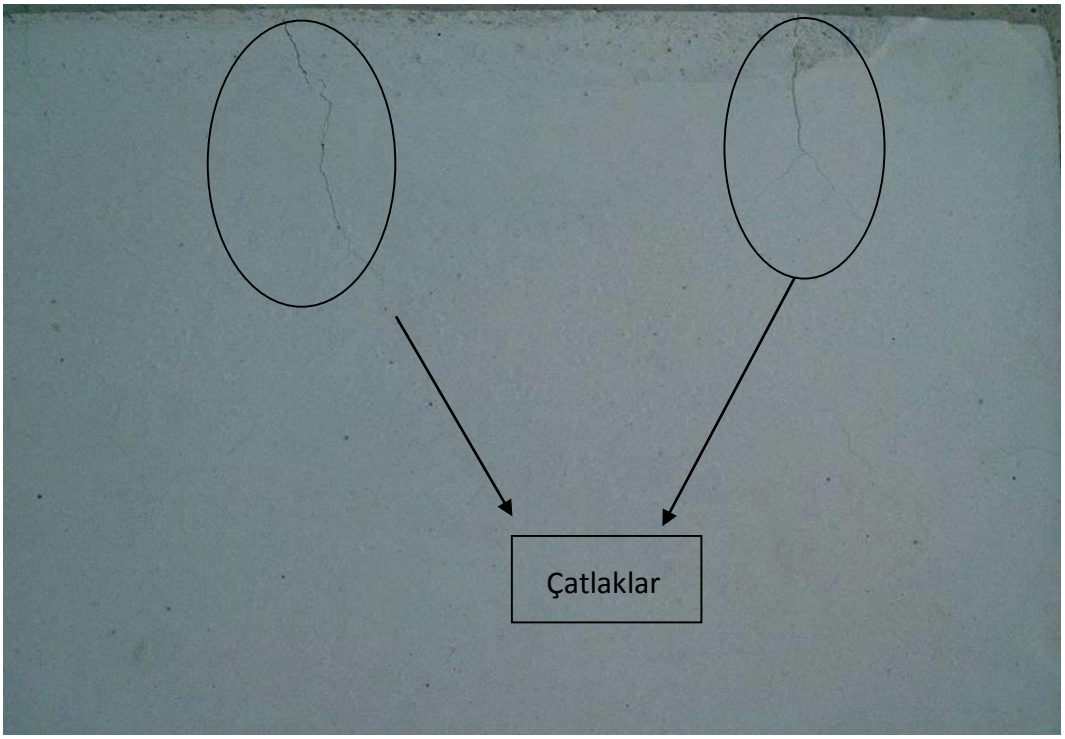

Şekil 6.17 O 5-2 numunesi üzerindeki çatlakların görünümü



Şekil 6.18 S5-2 numunesinin genel görünümü




Şekil 6.19 R-2 numunesi üzerindeki çatlakların görünümü (I)




Şekil 6.20 R-2 numunesi yüzeyindeki çatlakların görünümü (II)

## BÖLÜM 7

## GENEL SONUÇLAR

Bu çalışma standart harçlar ve polimer katkılı harçların performans karşılaştırmasına yönelik yapılmış, araştırma sonucunda şu sonuçlara varılmıştır:

Deney sonuçlarına bakılarak; istenen farklı özellikler, farklı tür ve orandaki polimer kullanımıyla elde edilebilmektedir.

Polimer katkılar, harcın içyapısındaki boşlukları doldurduğu için suyun içerde hapsolarak buharlaşmasını önlemiş, yapı içindeki buharlaşmayan su çimentonun hidratasyonunu tamamlamasını sağlamış ve hidrate olan çimento hamurunun mukavemetini artırmıştır. Bu durumdan dolayı polimer katkı kullanılması, kullanılan polimerin tür ve oranına göre farklılık göstermekle birlikte, genellikle eğilme dayanımını, basınç dayanımını ve aşınmaya karşı direnci arttırmıştır. Polimerlerin harç içindeki boşlukları doldurması su emme, su geçirimliliği, donma-çözülme gibi fiziksel özellikler üzerinde olumlu etkiler yaratmıştır.

Polimer katkıların tek dezavantajı rötre konusunda olmuştur. Her ne kadar polimer katkılı numuneler standartın izin verdiği sınırlar içerisinde kalsalar da genellikle referans numunelerinden daha fazla rötre yapmışlardır.

Agrega türünün değiştirilerek kalsite göre daha büyük dane çapına sahip standart kumun kullanılması özellikle referans numuneleri üzerinde etkili olmuş ve performansını arttırmıştır. Standart kum kullanımının polimer katkılı numunelerde de genel anlamda pozitif bir etki yarattığı söylenebilir.

Plakaya dökülerek 75 gün bekletilen numunelerden özellikle D2,5-2 numnesinin yüzeyinde hem çatlaklar hem de kabarmalar oluşmuştur. R-2 numunesinde köşelerden ve kenarlardan başlayan çatlaklar oluşurken O5-2 numunesinde oluşan çatlaklar R-2

numunesine göre nispeten daha azdır. S5-2 numunesi üzerindeyse çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Polimer kullanımının dış etkilere karşı genellikle daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir.

Her polimer türünün farklı bir kimyasal yapıya ve harcın diğer bileşenleriyle farklı kimyasal etkileşimlere sahip olmasının yanı sıra polimer/çimento oranlarındaki farklılıklar polimerlerin harçlar üzerinde olumlu veya olumsuz etkiler oluşturmasına neden olur.

Sonuç olarak; polimer kullanımı kaplama malzemelerinin mekanik ve fiziksel özelliklerinde gözle görülür bir iyileşmeye neden olmuştur. Bu da kaplama malzemesinin, döşemeyi dış etkilerden daha etkin bir şekilde koruyarak yapının durabilitesini arttırdığı anlamına gelir.

Doğal kaynakların hızla tüketildiği günümüz dünyasında inşaat sektörü şüphesiz ki bu tüketimde önemli bir yere sahiptir. Çevresel şartlara dayanıklı ve daha uzun servis ömrüne sahip yapılar, doğal kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR


[1] Ohama Y., (1995). Handbook of Polymer-Modified Concrete and Mortars - Properties and Process Technology, 0-8155-1358-5 College of Engineering, Nihon University, Koriyama, Japan.

[2] Baradan, B. ve Aydın, S., (2013). "Betonun Dürabilitesi (Kalıclık, dayanıklılık)", Hazır Beton, 120: 54-68.

[3] Almussallam A. A., Khan F. M., Dulaijan S. U. ve Al-Amoudi O.S.B., (2003). "Effectiveness of Surface Coating in Improving Concrete Durability", Cement & Concrete Composites, 25:473-481.

[4] Patural L., Marchal P., Govin A., Grosseau P., Ruot B. ve Deves O., (2011). "Cellulose Ethers Influence on Water Retention and Consistency in Cement-Based Mortars", Cement and Concrete Research, 41:46-55.

[5] Collepardi M., Troli R., Bressan M., Liberatore F. ve Sforza G., "Crack-free Concrete for Outside Industrial Floors in the Absence of Wet Curing and Contraction Joints", (2008), 30: 887-891.

[6] Do J. ve Soh Y., (2003). "Performance of Polymer-modified Self-leveling Mortars with High Polymer-Cement Ratio for Floor Finishing", Cement and Concrete Research, 33: 1497-1505.

[7] Van Gemert D., Czarnecki L., Lukowski P. ve Knapen E., (2005). "Cement Concrete and Concrete-polymer Composites: Two Merging Worlds", 11th ICPIC Congress, 2-4 Haziran 2004, Berlin.

[8] Afridi M. U. K., Ohama Y., Iqbal M. Z. ve Demura K., (1995). "Water Retention and Adhesion of Powdered and Aqueous Polymer-Modidfied Mortars", Cement & Concrete Composites, 17: 113-118.

[9] Diamanti M. V., Brenna A., Bolzoni F., Berra M., Pastore T. ve Ormellese M., (2013). "Effect of Polymer Modified Cementitious Coatings on Water and Chloride Permeability in Concrete", Construciton and Building Materials, 49: 720-728

[10] Tekin A. V., (2012). Effect of Coating Materials and Mixture Constituents on the Permeability of Concrete, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

[11] Georgin J. F., Ambroise J., Pera J. ve Reynouard J. M., (2008). "Development of Self-Leveling Screed Based on Calcium Sulfoaluminate Cement: Modelling fo Curling due to Drying", Cement & Concrete Composites 30: 769-778

[12] BS EN 1504-1, (2005). Products and Systems for the Protection and Repair of Concrete Structures – Definition, Requirements, Quality Control and Evaluation of Conformity- Part 1: Definitions, BSI.

[13] Cain R. R. ve Borglum E., (2009). "Selecting the Proper Fluid-Applied Resin Flooring System for Concrete Floors", Journal of Architectural Coatings.

[14] Saçak M., (1998). Polimer Kimyasına Giriş, A. Ü. F. F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları, Ankara.

[15] Viswanath P., (2007). Development of Polymer Cement Composites, Doktora Tezi, Cochin University of Science and Technology, Faculty of Technology, Kochi

[16] Saçak M., (2005). Polimer Teknolojisine Giriş, 975-8895-82-6, Gazi Kitabevi, Ankara.

[17] Pişkin E., (1987). Polimer Teknolojisine Giriş, 975-11056-69-1, İnkılap Yayınevi, İstanbul.

[18] MEGEP, (2006). Polimerlerin Fiziksel Özellikleri 2, Ankara

[19] Erturan S. Ve Deniz S., (2006). Polimer Mühendisliği Esasları Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.

[20] Baysal B., (1981). Polimer Kimyası: Polimerizasyon Reaksiyonları, ODTÜ, Ankara

[21] Özden Ç. A., (2010). Polimer Betonların Donma – Çözülme Etkisine Dayanıklılığı, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ

[22] Czarnecki L., (2007). Concrete-Polymer Composites:,"Trends Shaping the Future", International Journal-Society of Materials Engineering for Resources, 15:1-5

[23] Fowler D. W., (1999). "Polymer in Concrete: A vision for the 21st Century", Cement and Concrete Composites, 21:449-452

[24] Özturan T., (2013). "Özel Betonlar", Beton 2013 Hazır Beton Kongresi, 21-13 Şubat 2013, İstanbul

[25] Yazıcı H., (2013). Özel Betonlar – Polimer Beton Ders Notları, http://kisi.deu.edu.tr/halit.yazici/, 14 Nisan 2014

[26] TS EN 1015-3, (2000). Kagir Harcı – Deney Metodları – Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayılma Tablası ile), TSE, Ankara

[27] TS EN 196-1, (2009). Çimento Deney Metotları – Bölüm 1: Dayanım Tayini, TSE, Ankara

[28] TS EN 12190, (2001). Beton Yapılar – Koruma ve Tamir için Mamul ve Sistemler – Deney Mtotları - Tamir Harcı Basınç Dayanımı Tayini, TSE, Ankara

[29] TS EN 13892-3, (2010). Şap Malzemeleri – Deney Yöntemleri – Bölüm 3: Aşınma Direncinin Belirlenmesi – Böhme Deneyi, TSE, Ankara

[30] TS EN 1062-3, (2010). Boyalar ve Vernikler – Kagir ve Beton Dış Cephe İçin Kaplama Malzemeleri ve Kaplama Sistemleri – Bölüm 3: Su Geçirgenliği Tayini, TSE, Ankara

[31] MEGEP, (2012). İnşaat Teknolojisi – Özgül Ağırlık ve İnce Madde Oranı , Ankara

[32] BS EN 13687-1, (2002). Products and Systems for the Protection and Repair of Concrete Structures - Test Methods - Determination of Thermal Compatibility - Part 1: Freeze-Thaw Cycling with De-icing Salt Immersion, BSI

[33] BS EN 12617 -1, (2003). Products and Systems fort he protection and repair of Concrete Structures – Test Methods – Part 1: Detemination of Linear Shrinkage for Polymers and Surface Protection Systems (SPS), BSI

[34] BS EN 4628-4, (2003). Paint and Varnishes – Evaluation of degredation of coatings – Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in apperance – Part 4: Assesment of Degree of Cracking, BSI

[35] BS EN 4628-2, (2003). Paint and Varnishes – Evaluation of degredation of coatings – Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in apperance – Part 2: Assesment degrre of blistering

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Öner Umut AKTAŞ

**Doğum Tarihi ve Yeri** : 15/07/1989 - Kadıköy

**Yabancı Dili** : İngilizce

**E-posta** : oumutaktas@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

| Derece | Alan | Okul/Üniversite | Mezuniyet Yılı |
|---|---|---|---|
| Lisans | İnşaat Mühendisi | Karadeniz Teknik Üniversitesi | 2012 |
| Lise | Fen | Aşkabat Türk Anadolu Lisesi | 2006 |

### İŞ TECRÜBESİ

| Yıl | Firma/Kurum | Görevi |
|---|---|---|
| 2013 | Hayat Yapı Denetim | Kontrol Mühendisi |
| 2012 | May Yapı Deneyim | Kontrol Mühendisi |
| 2012 | Yapı Yatırım | Şef Yardımcılığı |