

**T.C.  
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**POLİMER BETONLARIN DONMA - ÇÖZÜLME ETKİSİNE  
DAYANIKLILIĞI**

**Çiğdem AKKAYA ÖZDEN**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. M. Şükrü YILDIRIM**

**TEKİRDAĞ-2010**

Yrd. Doç. Dr. M. Şükrü YILDIRIM danışmanlığında, İnş.Müh. Çiğdem AKKAYA ÖZDEN tarafından hazırlanan bu çalışma 26.5.2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak ~~oyekluğu~~ / oybirliği ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : Prof. Dr. Sabit OYMAEL

İmza :

Üye : ..... Yrd. Doç. Dr. Ayşe KOPUZ

İmza :

Üye : ..... Yrd. Doç. Dr. M. Şükrü YILDIRIM

İmza :

Üye : .....

İmza :

Üye : .....

İmza :

**Yukarıdaki sonuç onaylarım**

Doç. Dr. Fatih KONUKÇU  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### POLİMER BETONLARIN DONMA - ÇÖZÜLME ETKİSİNE DAYANIKLILIĞI

Çiğdem AKKAYA ÖZDEN

Namık Kemal Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. M.Şükrü Yıldırım

Kendilerine özgü yapıları ile pek çok alanda kullanılan polimerler günümüzde gerek inşaat gerekse diğer sektörlerde yaygın olarak yer almaktadır. İnşaat mühendisliğinde polimerler ana taşıyıcı yapı elemanı üretiminde kullanıldığı gibi mevcut malzemelerin iyileştirilmesinde veya dayanımlarının artırılmasında da kullanılabilirler.

Polimerlerin beton üretiminde kullanılan çimento bağlayıcısının tümü veya bir kısmı yerine kullanılması ile polimer betonu elde edilir. Son yıllarda önem kazanan polimer betonu dünyada da geniş bir kullanım sahası bulmuştur. Özellikle hasara uğrayan yapıların onarım ve güçlendirilmesinde tamir malzemesi olarak sıkça kullanılmaktadır.

Bu çalışmada; polimer betonların donma-çözülme etkisine dayanıklılığı incelenmiştir. Bu amaçla Reçine/Dolgu oranı; %10-%90, %15-%85, %20-%80 olan 3 farklı seri polimer beton numuneleri hazırlanmıştır. Sayı olarak, 3'er numuneden oluşan her bir basınç serisi için 28 günlük basınç dayanımları tespit edilmiştir. Ayrıca, 9'ar numuneden oluşan her bir donma-çözülme serisi için de donma sıcaklığı  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$  ve  $-30^{\circ}\text{C}$ , çözülme sıcaklığı ise  $+5^{\circ}\text{C}$  alınarak 30 çevrim sonundaki ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. Basınç ve donma-çözülme deneyleri sonucunda serilere ait basınç dayanımları ve ağırlık kayıpları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda Reçine/Dolgu oranının artması ile polimer betonların basınç dayanımlarının ve donma-çözülme dayanıklılığının arttığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** polimer beton, poliester reçine, donma - çözülme, beton basınç dayanımı

## ABSTRACT

MSc. Thesis

### DURABILITY OF POLYMER CONCRETE DUE TO FREEZE - THAW EFFECT

Çiğdem AKKAYA ÖZDEN

Namık Kemal University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Main Science Division of Civil Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. M. Şükrü YILDIRIM

Polymers, used in many fields with their own special structure, are taken place widedpreadly in construction as well as in other sectors today. In civil engineering, polymers are used producing the main bearing building material and also improving and increasing the strength of materials in hand.

Polymer concrete is obtained by using polymers instead of all cement or a portion of cement as connector in the production of concrete. Polymer concrete, gained importance in recent years, has also found a wide usage area in the world. It is frequently used especially in the damaged buildings to strength and to repair as a fixing material.

In this study, durability of polymer concrete due to freze-thaw effect was investigated. 3 different series of polymer concrete specimens with resin/filler ratio 10%-90%, 15%-85%, 20%-80%, were prepared. Compressive strengths at 28 days were determined for each compressive strength series consisting 3 specimens. Also, weight loss at the end of 30 cycles for each freze-thaw series consisting 9 specimens have been identified by taking freezing temperatures as  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-30^{\circ}\text{C}$  and the thaw temperature as  $+5^{\circ}\text{C}$ . As a result of compressive strength and freze-thaw experiments, weight loss and compressive strength of each series were compared each other.

As a result of experiments, compressive strength and freze-thaw durability of polymer concrete increased when the resin/filler ratio incerased.

**Keywords:** polymer concrete, polyester resin, freze - thaw, compressive strength of concrete

## ÖNSÖZ

Çalışmam esnasında bana yol gösteren zorlandığımda bir ışık olan Tez Danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Şükrü YILDIRIM' a saygılarımı sunar teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca yüksek lisans tezimin hazırlanması aşamasında benimle değerli fikirlerini paylaşan, manevi desteğini esirgemeyen ve çalışmamın sonuçlanmasında itici bir güç olan hayat arkadaşım ve en yakın dostum eşim Ahmet Varlık ÖZDEN'e, yorulduğum anlarda tüm şirinliliği ile yorgunluğumu unutturan bir tanecik tatlı kızım Çiğdem Zeynep ÖZDEN'e, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen annem Süreyya AKKAYA'ya ve babam Eşref AKKAYA'ya ve tüm sevdiklerime teşekkürü bir borç bilirim.

Çiğdem AKKAYA ÖZDEN

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

|      |  |
|------|--|
| ACI  | : Amerikan Beton Enstitüsü                   |
| ASTM | : American Society for Testing and Materials |
| C    | : Beton Sınıfı                               |
| LMC  | : Lateks İle Modifiye Edilmiş Beton          |
| PC   | : Polimer-Beton                              |
| PCC  | : Polimer-Çimento Beton                      |
| PIC  | : Polimer Emdirilmiş Beton                   |
| PÇ   | : Portland Çimento                           |
| TS   | : Türk Standartları                          |
| TSE  | : Türk Standartları Enstitüsü                |

### KISALTMALAR

|            |                                    |                      |
|------------|------------------------------------|----------------------|
| $AF_w$     | : Ağırlık Kaybı Faktörü            |                      |
| COI        | : Kritik Oksijen İndeksi           |                      |
| D.P.       | : Polarizasyon Derecesi            |                      |
| $f_c$      | : Beton Basınç Dayanımı            | (N/mm <sup>2</sup> ) |
| $T_e$      | : Kristal Erime Noktası            | (°C)                 |
| $T_g$      | : Camsı Geçiş Sıcaklığı            | (°C)                 |
| $W_0$      | : Numunenin Deney Öncesi Ağırlığı  | (g)                  |
| $W_n$      | : Numunenin Deney Sonrası Ağırlığı | (g)                  |
| $\sigma_e$ | : Eğilme Dayanımı                  | (N/mm <sup>2</sup> ) |

| <b>İÇİNDEKİLER</b>                            | <b>Sayfa No</b> |
|---|-----------------|
| ÖZET  | i               |
| ABSTRACT                                      | ii              |
| ÖNSÖZ   | iii             |
| SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR DİZİNİ         | iv              |
| İÇİNDEKİLER                                   | v               |
| ŞEKİLLER DİZİNİ                               | vii             |
| ÇİZELGELER DİZİNİ                             | viii            |
| <b>1. GİRİŞ</b>                               | <b>1</b>        |
| 1.1 Amaç                                      | 2               |
| 1.2 Yöntem                                    | 2               |
| <b>2. KAYNAK ÖZETLERİ</b>                     | <b>3</b>        |
| <b>3. POLİMER MALZEMELER</b>                  | <b>6</b>        |
| 3.1 Polimerlerin Sınıflandırılması            | 7               |
| 3.1.1 Termoplastikler                         | 9               |
| 3.1.2 Termosetler                             | 10              |
| 3.2 Polimerlerin Genel Özellikleri            | 11              |
| 3.3 Polimerler Malzemelerin Diğer Bileşenleri | 15              |
| 3.3.1 Solventler                              | 15              |
| 3.3.2 Plastifiyanlar                          | 16              |
| 3.3.3 Stabilizanlar                           | 16              |
| 3.3.4 Dolgu maddeleri                         | 16              |
| 3.3.5 Pigmentler                              | 16              |
| 3.3.6 Katkı maddeleri                         | 16              |
| 3.4 Polimerlerin Üretim Süreçleri             | 17              |
| 3.5 Polimerlerin Tercih Nedenleri             | 18              |
| 3.6 Polimer Beton Kompozitleri                | 19              |
| 3.6.1 Polimer emdirilmiş beton (PIC)          | 21              |
| 3.6.2 Polimer çimento betonu (PCC)            | 23              |
| 3.7.3 Polimer beton (PC)                      | 24              |
| 3.7 Reçineler                                 | 26              |
| 3.7.1 Epoksi reçine                           | 26              |
| 3.7.2 Poliester reçineleri                    | 31              |
| 3.7.3 Furan reçine                            | 31              |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>4. MATERYAL VE YÖNTEM</b>              | <b>33</b> |
| 4.1 Materyal                              | 33        |
| 4.1.1 Beton numunesi deney kalıpları      | 33        |
| 4.1.2 Dolgu malzemesi seçimi              | 33        |
| 4.1.3 Polimer ve sertleştirici            | 35        |
| 4.1.4 Deney numunesi ayırıcı              | 36        |
| 4.2 Harç Karışım Dizaynı                  | 36        |
| 4.3 Yöntem                                | 37        |
| 4.4 Eksenel Basınç Deneyi                 | 39        |
| 4.4.1 Deney metodu                        | 39        |
| 4.4.2 Aygıtlar ve yardımcı gereçler       | 39        |
| 4.5 Donma - Çözülme Deneyi                | 39        |
| 4.5.1 Deney metodu                        | 39        |
| 4.5.2 Aygıtlar ve yardımcı gereçler       | 39        |
| <b>5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA</b> | <b>41</b> |
| 5.1 Eksenel Basınç Deney Sonuçları        | 41        |
| 5.2 Donma - Çözülme Deney Sonuçları       | 42        |
| <b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER</b>               | <b>52</b> |
| <b>7. KAYNAKLAR</b>                       | <b>55</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                           | <b>58</b> |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

|   |    |
|---|----|
| Şekil 3.1 Termoplastikler   | 11 |
| Şekil 3.2 Termosetler   | 11 |
| Şekil 3.3 Polimerlerin Betonda Üç Ayrı Kullanımı  | 21 |
| Şekil 4.1 Deney Numunelerinde Kullanılan Kuvars Kumu Granülometri Eğrisi  | 34 |
| Şekil 5.1 Polimer Beton Numunelerin 28 Günlük Eksenel Basınç Dayanımları  | 42 |
| Şekil 5.2 Reçine-Dolgu Oranı %10-%90 Olan Numunelerin -10 °C'de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları  | 44 |
| Şekil 5.3 Reçine-Dolgu Oranı %10-%90 Olan Numunelerin -20 °C'de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları  | 45 |
| Şekil 5.4 Reçine-Dolgu Oranı %10-%90 Olan Numunelerin -30 °C'de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları  | 45 |
| Şekil 5.5 Reçine-Dolgu Oranı %15-%85 Olan Numunelerin -10 °C'de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları  | 46 |
| Şekil 5.6 Reçine-Dolgu Oranı %15-%85 Olan Numunelerin -20 °C'de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları  | 47 |
| Şekil 5.7 Reçine-Dolgu Oranı %15-%85 Olan Numunelerin -30 °C'de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları  | 47 |
| Şekil 5.8 Reçine-Dolgu Oranı %20-%80 Olan Numunelerin -10 °C'de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları  | 48 |
| Şekil 5.9 Reçine-Dolgu Oranı %20-%80 Olan Numunelerin -20 °C'de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları  | 49 |
| Şekil 5.10 Reçine-Dolgu Oranı %20-%80 Olan Numunelerin -30 °C'de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları | 49 |
| Şekil 5.11 Kontrol Numunelerinin -10 °C'de Donma - Çözülme Deneyi Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları                | 50 |
| Şekil 5.12 Kontrol Numunelerinin -20 °C'de Donma - Çözülme Deneyi Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları                | 51 |
| Şekil 5.13 Kontrol Numunelerinin -30 °C'de Donma - Çözülme Deneyi Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları                | 51 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

|  |    |
|--|----|
| Çizelge 3.1 Polimerlerin Erime ( $T_e$ ) ve Camsı ( $T_g$ ) Hale Geçiş Sıcaklıkları  | 13 |
| Çizelge 3.2 Polimer Betonların Tipik Özellikleri   | 25 |
| Çizelge 3.3 Aralditin Ağırlık Cinsinden Bileşimi ve Mekaniksel Özellikleri   | 28 |
| Çizelge 3.4 Silis ve Kalkerli Agregalar ve Salt Silisli Agregalarla Yapılan Epoksi Betonunda Bulunan Bir Araştırma Sonuçları | 29 |
| Çizelge 3.5 Epoksi ile Yapıştırılmış Numuneler Üzerinde Yapılan Eğilme ve Çekme Deneyleri Sonuçları                          | 30 |
| Çizelge 3.6 Poliesterlerin Mekanik Özellikleri   | 31 |
| Çizelge 4.1 Kuvars Kumunun Kimyasal Özellikleri  | 34 |
| Çizelge 4.2 Poliester Reçinenin Kimyasal Özellikleri   | 35 |
| Çizelge 4.3 Sertleşmiş Poliester Reçinenin Mekanik Özellikleri   | 36 |
| Çizelge 4.4 Polimer Beton Numunelerine Ait Karışım Dizaynı   | 37 |
| Çizelge 4.5 Kontrol Numunesine Ait Karışım Dizaynı   | 37 |
| Çizelge 5.1 Polimer Beton Numunelerinin 28 Günlük Eksenel Basınç Deney Sonuçları   | 41 |
| Çizelge 5.2 Polimer Beton Numunelere Ait Donma-Çözülme Sıcaklıkları  | 43 |
| Çizelge 5.3 Dolgu Oranı %10-%90 Olan Numunelerin 30 Çevrimlik Donma - Çözülme Deney Sonuçları                                | 44 |
| Çizelge 5.4 Reçine-Dolgu Oranı %15-%85 Olan Numunelerin 30 Çevrimlik Donma - Çözülme Deney Sonuçları                         | 46 |
| Çizelge 5.5 Reçine-Dolgu Oranı %20-%80 Olan Numunelerin 30 Çevrimlik Donma - Çözülme Deney Sonuçları                         | 48 |
| Çizelge 5.6 Kontrol Numunelerinin 30 Çevrimlik Donma - Çözülme Deney Sonuçları   | 50 |

## 1. GİRİŞ

Kendilerine özgü yapıları ile pek çok alanda kullanılan polimerler, günümüzde gerek inşaat gerekse diğer sektörlerde yaygın olarak yer almaktadırlar. İnşaat mühendisliğinde polimerler, ana taşıyıcı malzemesi olarak kullanıldıkları gibi mevcut malzemelerin iyileştirilmesinde veya dayanımlarının artırılmasında da faaliyet göstermektedirler. Polimerler yardımı ile beton dayanımlarının artırılması çalışmaları özellikle bu yüzyılın ikinci yarısından itibaren önem kazanmıştır. Betonun kullanıldığı yerlerde polimerler; gerek doğa koşullarından, gerekse kullanımdan kaynaklanan problemlerin çözümünde ciddi katkılar sağlamaktadırlar.

Polimerlerin beton üretiminde kullanılan çimento bağlayıcısının tümü veya bir kısmı yerine kullanılması ile polimer betonu elde edilir. Son yıllarda önem kazanan polimer betonu dünyada da geniş bir kullanım sahası bulmuştur. Özellikle hasara uğrayan yapıların onarım ve güçlendirmesinde tamir malzemesi olarak sıkça kullanılmaktadır.

Beton, servis ömrü boyunca çeşitli çevresel etkilerle hasara uğrayabilir. Bu etkiler; fiziksel, kimyasal, fiziko-kimyasal veya mekanik olabilir. Bu çevresel etkiler betonun performansının zamanla azalmasına, proje ömründen önce işlevini ve dayanımını tamamen yitirmesine yol açabilmektedir. Betonun tekrarlı donma-çözülme etkisinde kalması fiziksel etkilerden bir tanesidir. Kullanılan malzemeler, ortam koşulları, rutubet gibi etkenler donma - çözülme sonucu oluşan hasarı arttırabilirler (Şengül ve ark. 2003). Beton; agrega, çimento ve sudan oluşan heterojen bir malzemedir. Betonun tüm bileşenleri boşluklu bir yapıya sahiptir. Bu nedenle tekrarlı donma-çözülme etkisinde boşlukları dolduran suyun genişmesi ile betonun dayanımında azalmalar olabilmektedir. Polimer betonların üretiminde polimer malzeme ve dolgu malzemesi kullanılması ve hiç su kullanılmaması nedeniyle rötrel çatlakları oluşmamakta ve bu durum da donma - çözülme etkisine karşı daha dayanıklı olabileceği anlamına gelebilmektedir.

Polimer betonların donma - çözülme dayanıklılığının araştırıldığı bu çalışmanın birinci bölümünde, konu girişi işlenmiş ve amaç özetlenmiştir. İkinci bölümde literatür araştırması sonucu elde edilen kaynak özetlerine yer verilmiştir. Üçüncü bölümde polimerlerin genel yapısı ve sınıflandırılmaları ile polimer betonlar hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde deneysel çalışmada kullanılan materyal ve yöntem detaylı olarak

anlatılmıştır. Beşinci bölümde deneysel çalışmalara yer verilmiş, altıncı bölümde ise sonuç ve öneriler ile çalışma tamamlanmıştır.

## 1.1 Amaç

Bu çalışmada; çok yönlü olarak endüstriyel sektörde kullanılan ve giderek de kullanım alanları artan polimer beton üretiminde, çimento yerine bağlayıcı malzeme olarak kullanılması ile üretilen polimer beton numuneleri üzerinde donma - çözülme deneyi yapılmış ve polimerli beton numunelerin bu etkiye karşı gösterdiği dayanıklılık özelliği irdelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, doymamış poliester reçine malzemesi polimer malzeme olarak seçilmiş ve beton üretiminde bağlayıcı olarak çimento yerine kullanılmıştır. Elde edilen numuneler üzerinde, eksenel basınç deneyleri ve donma - çözülme deneyleri yapılarak sonuçları değerlendirilmiştir.

Bu amaca yönelik olmak üzere, çalışmada aşağıdaki konular şu şekilde incelenmiştir:

- Bugüne kadar polimer beton ile ilgili yapılan çalışmaların taranması,
- Çalışmada üretilecek polimer betonun üretiminde kullanılacak polimerin araştırılıp seçilmesi ve temin edilmesi,
- Temin edilen ve deneylerde kullanılacak malzemelerin fiziksel ve kimyasal analizlerinin incelenmesi,
- Polimer beton deney numunelerinin karışım dizaynlarının belirlenmesi,
- Üretilen polimer beton deney numunelerinde eksenel basınç deneylerinin yapılarak sonuçların irdelenmesi,
- Üretilen polimer beton deney numunelerinde donma - çözülme deneylerinin yapılarak sonuçların irdelenmesidir.

## 1.2 Yöntem

Araştırma literatür taraması ve deneysel olarak yapılmıştır. Deneysel çalışmada eksenel basınç deneyi için, 9 adet polimer beton, 3 adet kontrol numunesi; donma – çözülme deneyi için ise 27 adet polimer beton, 9 adet kontrol numunesi olmak üzere toplam 48 adet 100x100x100 mm'lik standart küp numunesi üretilmiştir. Yapılan deneyler, TSE standartları esas alınarak yapılmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Tarakçı'nın (1993) "Polimer Katkılı Betonların Durabilite ve Ekonomik Yönden Analizi" adlı çalışmasında, süperakışkanlaştırıcı olarak kullanılan melamin formaldehit sülfonat ile hazırlanan beton numunelerinin durabilite ve ekonomik yönden araştırması yapılmıştır. Deney numuneleri, basınç dayanımı, böhme aşınma dayanımı ve ağırlıkça su emme testlerine tabi tutulmuştur. Yapılan basınç dayanımı testlerinde süperakışkanlaştırıcı kullanılarak hazırlanan beton numunelerinin dayanımlarında C20 için %42.5, C25 için ise %44.8'lik bir dayanım artışı tespit edilmiştir. Böhme aşınma deneyi sonucunda akışkanlaştırıcı kullanılarak yapılan numunelerin normal betona oranla %64 daha az aşınmıştır. Su emme oranının tayininde ise akışkanlaştırıcı kullanılarak yapılan normal betona oranla %38.4 daha az su emdiği belirlenmiştir.

Ateş'in (1994) "Epoksi Polimer Betonun Makine Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması" adlı çalışmasında, öncelikle polimer beton üzerinde yapılan çalışmalar ve elde edilmiş sonuçlar araştırılmıştır. Bu bilgilerle amaçlanan hedef doğrultusunda, öncelikle polimer beton için malzeme bileşenlerini belirlemiştir. Bu malzeme bileşenleriyle farklı tane büyüklükleri, dolgu malzeme grupları ve bağlayıcı oranlarındaki numunelerin; basma, eğilme, eğilme-yorulma ile sönüm deneyleri, bu deney yöntemlerine uygun şekilde hazırlanmış numuneler kullanılarak yapılmıştır. Yorulma deneylerinde, özellikle metal malzemelerin yorulma deneyleri esas alınarak, yapım malzemesi düşünülen polimer beton numuneler eğilme gerilmeli yorulma deneyleri tarzında yapılmıştır. Deneyler sonucu, mekanik özellikleri ve çok iyi olan sönüm özellikleriyle de bir çok alanda geleneksel yapım malzemelerine alternatif olarak kullanılabilceği görülmüştür.

Orak ve Karademir'in (1997) "Poliester Reçineli Polimer Betonun Sönüm Yeteneği Üzerine Bir Araştırma" adlı çalışmasında, takım tezgahlarının gövdelerinin imalatında polimer betonun kullanılabilirliği sönümlenme yeteneği yönünden araştırılmıştır. Sönümlenme özelliğinin yapıya bağlı olarak değişimini belirlemek için poliester reçine oranı aynı, dolgu malzemesi (kuvars) kompozisyonları farklı olan numuneler hazırlanmıştır. Polimer beton ve dökme demir numunelerin sönümlenme deneyleri yapılmış, serbest titreşim yöntemi ile kritik sönüm yüzdeleri hesaplanmıştır. Polimer betonun kritik sönüm değerinin, dökme demire nazaran yaklaşık 4-7 kat daha yüksek olduğu görülmüştür.

Aydın'ın (1998) "Polimer Betonların Mekanik ve Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi" adlı çalışmasında, polimer katkılı betonların (polimer beton, polimer ile modifiye edilmiş beton ve polimer emdirilmiş beton) mekanik ve durabilite özellikleri üzerine bir literatür araştırması yapılmıştır. Polimer katkılı betonların kullanım alanları, olumlu ve olumsuz yönleri, birbirlerine göre üstünlükleri tartışılmıştır. Araştırmaya göre, polimer betonların, betonlama işlerinin acilen yapılmasının gerektiği; madencilik işlerinde, tünellerde ve otoyollarda kullanımının uygun olduğu görülmüştür. Lateks ile modifiye edilmiş betonların (LMC) eski betona çok iyi aderans yapma yeteneği sağladığı ve ayrıca agresif çözeltilere yüksek dayanıklılık yeteneğine sahip olmasından ötürü, endüstriyel zeminlerin kaplanması ve hasarlı köprü döşemelerinin onarımı işleri için uygun olduğu görülmüştür. Polimer emdirilmiş betonların ise kapiler boşluklarının polimer malzeme ile doldurularak, hemen hemen geçirimsiz, dayanımı PC ile aynı seviyelerde betonlar elde edilebildiği tespit edilmiştir. Yüksek dayanımlı prefabrik elemanların üretiminde ve köprü döşeme yüzeylerinin durabilitesini geliştirmekte kullanılmaktadır. Sonuç olarak, kullanım yerindeki koşullar ve ekonomi dikkate alınarak uygun polimer beton seçilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Bal'ın (1998) "Bazı Polimerlerin Harç ve Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması" adlı çalışmasında, polimerlerin çimento ile birlikte bağlayıcı katkı maddesi olarak kullanılması durumunda harçların fiziksel ve mekaniksel özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda, altı adet endüstriyel özelliğe sahip polimer malzemesinin portland çimentosu (PÇ 42.5) ile yapılan harç numunelerinde; %0, %2, %5, %10 ve %15 oranlarında katkı maddesi olarak kullanılmış ve bu polimer harçlar üzerinde kıvam, basınç dayanımı, eğilmede çekme, sürtünme ile aşınma deneyi, su emme miktarları ve donma - çözülme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak; basınç dayanımlarının bir polimer malzemesi hariç diğer tüm malzemelerin %2'lik karışımlarında bir hayli yüksek çıktığı tespit edilirken, katkı miktarının artırılması ile basınç dayanımlarında azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Yapılan diğer deneylerin sonuçlarının ise kullanılan polimer malzemelerin, %2'lik katkı oranlarında en iyi sonucu verdiği ve harcın kalitesini artırdığı bulunmuştur.

Sağlıyan'ın (1999) "Polimer Bağlayıcı Prepakt Agregalı Betonların Mekaniksel ve Ekonomik Yönünden İncelenmesi" adlı çalışmasında, prepakt betonlar çimento ve polimer bağlayıcı olarak iki ayrı türde incelenmiştir. Hazırlanan numunelerin mekaniksel özellikleri; basınç, çekme, aşınma dayanımları ile su emme ve donma dayanıklılıkları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde polimer bağlayıcı prepakt betonların çimento bağlayıcı

prepakt betonlara göre daha iyi bir performans sağladığı saptanmıştır. Ancak ekonomik yönden polimer bağlayıcı prepakt betonların maliyet artışına neden olduğu görülmüştür.

Başçavuşoğlu'nun (2001) "Hasarlı Yapıların Onarımında ve Güçlendirilmesinde Polimer Betonların Kullanımı" adlı çalışmasında iki ayrı polimer kullanarak polimer katkılı beton numuneler üretilmiş, bunların katkısız beton ile farklılıkları araştırılmıştır. İki kez uygulanan hızlandırılmış korozyon süreci sonuçlarına göre, korozyona karşı lateks katkılı betonarme numunelerin, katkısız ve kopolimer dispersiyon katkılı numunelere göre çok daha dayanıklı oldukları görülmüştür.

### 3.POLİMER MALZEMELER

Polimer malzemeler (plastik malzemeler), eski çağlardan beri kullanılmakta ve geliştirilmektedirler. Endüstriyel uygulamalardaki ilk basamak; doğal kauçuk, selüloz, nişasta, bitüm, ahşap amber, boynuz gibi doğal polimerik maddelerin kullanılmasıdır. Doğal polimerik maddelerin endüstriyel alanda kullanımında ortaya çıkan problemlerin başında ham maddenin işlenmesindeki zorluklar ve ürünlerin mekaniksel ve fiziksel özelliklerinin yetersiz olması sayılabilir. Bu ve diğer dezavantajları nedeniyle doğal polimerler yerlerini tarihsel gelişim içinde modifiye edilmiş doğal polimerlere, diğer bir ifade ile yarı sentetik polimerlere bırakmışlardır (Pişkin 1987).

İlk çalışmalar, 1839'da Simon tarafından stiren ve Schönbein tarafından selüloz nitrat, 1863'te ve 1868 yıllarındaki çalışmaları ile Hyatt J.W. pamuk selülozunu nitrik asit ile etkileştirerek, plastik teknolojisinin ilk ürünü olan bu yarı sentetik polimeri ve 1907'de Baekeland L.H. tarafından ise tamamen sentetik ilk polimer olan fenol formaldehit reçinelerinin (bakalit) üretimini gerçekleştirmiştir. Polimerlerin kimyası ise 1924 yılında Staudinger H.'nin "makro molekül hipotezi" ni ileri sürmesiyle temelini bulmuş ve polimer teknolojisi önemli bir gelişme kaydetmiştir. Doğal kauçuğun ve poliesterin küçük birimlerinin bir arada bulunduğu uzun zincirli moleküllerden oluştuğunu ileri sürerek polimer üretiminin deneme yanılma yaklaşımından kurtulmasına neden olan araştırmacı, bu çalışmalarıyla Nobel ödülü almıştır (Ateş 1994).

Makromolekül hipotezi sonraki yıllarda birçok polimerin üretimine ışık tutmuştur. 1927'de selüloz asetat ve polivinil klorür, 1928'de polimetilmetakrilat, 1929'da üreformaldehid reçineleri üretilmiştir. İlk defa 1930'da üretilen polistiren ve sonraki yıllarda, özellikle II. Dünya savaşında önem kazanan stiren-butadien kopolimeri (SBR sentetik kauçuğu) polimer teknolojisinde önemli ürünler olmuşlardır. Yine bir sentetik kauçuk olan neopren (dupren) üretimi 1931'de başlamıştır. Carothers W. Doğrusal kondenzasyon polimerizasyonu ile poliester ve poliamid üretimini başlatan ilk araştırmacıdır. 1936'da poliakrilonitril, stiren-akrilonitril kopolimeri ve polivinil asetat, 1937'de Plunkett R.J. tarafından poliüretan, 1938'de teflon ticari adıyla anılan polietrafloroetilen, 1939'da melamin-formaldehit (formika) reçineleri, 1940'da Rochow G.E. tarafından silikonların hammaddesi olan silahlar, aynı yılda Whinfield J.R. ve Dickinson J.T. tarafından polietilen tereftalat, 1942'de doymamış poliesterler ve orlon ticari adıyla poliakrilonitril fiber üretimleri



gerçekleştirilmiştir. II. Dünya savaşı yılları, polimer teknolojisinde inanılmayacak kadar hızlı bir gelişmeye neden olmuştur. Savaş sonrası yıllarda yeni polimerlerin sentezi daha da hızlanarak sürmüştür. 1947’de epoksi reçineleri, 1948’de akrilonitril-butadien-stiren terpolimeri (ABS) sentez edilmiştir (Ateş 1994).

Son yıllarda özellikle yüksek ısı ve mekanik dayanıklılığı sahip poliamid, poliarilsülfonlar, poliarilamidler, polifenilsülfid, polibütülerafalat, polietereterketon, polifenil vb. önemli plastikler geliştirilmiştir. XX. yüzyılın malzemesi sayabileceğimiz polimerlerin önemi her gereksinmeye uygun yeni yapay bir malzeme üretilmesi olanağının varlığıdır. Buna ekonomi faktörü de katılırsa önemlilik daha da belirgin olacaktır (Akman 1987).

### **3.1. Polimerlerin Sınıflandırılması**

Malzemeler genel olarak dört ana grupta toplanabilir:

1. Metalik malzemeler,
2. Organik malzemeler,
3. Seramik malzemeler,
4. Kompozit malzemelerdir.

Organik ve seramik malzemeler metal dışı mühendislik malzemeleridirler. Kompozit malzemeler ise metalik veya metal dışı malzemeler olabilmektedirler. Organik malzemeler, polimer olarak bilinen plastikler, elastomer ve fiberlerdir. Bunlar karbonun (C) metal olmayan elementlerle (H, O, Cl, N) meydana getirdiği büyük moleküllü bileşiklerdir (Akkurt 1991).

Plastik maddeler büyük moleküllerden oluşan hidrokarbonlardır. Yani esasları karbon ve hidrojen atomlarından oluşur. Ancak birleşimlerine O, N, Cl, S gibi metalsiler veya yumuşak metaller de girebilir. Hatta Na, K gibi alkali metal içerenler de (polielektrolit diye adlandırılırlar) vardır. Polimerlerin dev moleküllerden oluşmasının nedeni, karbonun yine karbonla birleşebilme özelliğine sahip olmasıdır. Bu özellik Silisyum’da da vardır. Bu nedenle silisyumlu bileşikler polimerler grubuna dahil edenler vardır. Bunları Silikon’lar adı altında bir tür elastomer olarak incelemek de mümkündür (Akman 1987).

Polimerler, uygun şartlarda farklı birimlerle birleşerek büyük moleküller oluşturmasına yatkın fonksiyonlu grupları bulunan basit moleküllerin reaksiyonu ile oluşan bileşiklerdir (Bueche 1962). Polimer sözcüğü iki sözcükten oluşur, “poli” çok demektir,

“mer” ise birim molekül anlamındadır. Birim molekülün birbirine eklenmesi sonucu polimer meydana gelir. Örneğin mer etilen ise bunun tekrarlanarak eklenmesi sonunda polietilen, mer vinilklorür ise, bunun eklenmesi sonunda polivinilklorür üretilmiş olur (Akman 1987).

Polimerlerin ana maddeleri kömür ile pamuk ve odun gibi selülozik maddeler, petrol ve doğal gazlardır. Kömürün kuru distilasyonu (pirojenasyon) sonunda üretilen katran ve yağlardan aromatik hidrokarbonlar, pamuk ve odundan, ester ve eter gibi selülozik bileşikler elde edilebilir. Petrolün kraking ürünleri ise doymuş hidrokarbonlara (metan, etan) veya doymamış hidrokarbonlara (etilen, propilen) dönüşür. Bunlar ise çoğunlukla polimerlerin esaslarını oluştururlar. Günümüzde her petrol rafinerisi yakınında bir petro-kimya (petkim) kompleksi kurmak kaçınılmaz olmuştur (Akman 1987).

Polimerlerde sınıflandırma farklı şekillerde yapılabilmektedir;

- a. Molekül ağırlıklarına göre,
- b. Doğada bulunup bulunmamasına ve sentez biçimine göre; doğal veya yapay,
- c. Organik ve inorganik olmalarına göre,
- d. Sentezleme tepkilerine göre; basamaklı ya da zincir,
- e. Zincirin kimyasal ve fiziksel yapısına göre; lineer, dallanmış veya çapraz bağlı,
- f. Isıya davranışına göre; termoset veya termoplastik,
- g. Zincir yapısına göre; homopolimer veya kopolimer olarak sınıflandırılmaktadır

(Akkovalı 1993).

Polimerleri en genel biçimde doğal ve yapay olarak iki kısma ayırmak mümkündür. Doğada bulunan ve yaşamın en temel maddelerinden olan selüloz, proteinler ve nişasta gibi örneklere ek olarak; zambak, lignin ve doğal kauçukta doğal polimerlere örnek olarak verilebilir. Selülozun doğada ağaç ve bitkilerde; proteinin, örneğin keratin olarak saç, boynuz ve tırnaklarda bulunduğu (derinin esasını, insan ve hayvanlarda bağlayıcı dokuyu oluşturduğu) bilinmektedir. Geçmişte, doğal fiber (yün, pamuk, ipek vb.) ve elastomerler olarak kullanılmış olan polimerler, yapay olarak ilk kez 1860’larda, selüloid’in elde edilmesiyle yapılmıştır. Bugün, polietilen (PE), polivinilklorür (PVC), polimetilmetakrilat (PMMA) ve naylon gibi yaygın olarak bilinen ve kullanılan yapay polimerler doğada bulunmazlar. Ancak laboratuvar ve endüstride özel olarak hazırlanır (Akkovalı 1993).

Polimerler kimyasal bileşimlerine göre organik ve inorganik olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Organik polimerlerde başta karbon olmak üzere hidrojen, oksijen, azot ve halojen atomları bulunur. Bir atomun polimer ana zinciri üzerinde bulunabilmesi için en az iki değerlikli olması şarttır. Birinci husus, hidrojen ve halojenler ana zincir üzerinde bulunamazlar. İkinci husus ise, ana zincir üzerinde bulunan atomlar arasındaki bağ enerjisi yeterli olmalıdır. İnorganik polimerlerde ana zincirler karbon (C) yerine silisyum (Si), germanyum (Ge), bor (B), fosfor (P) gibi elementler bulunur. Ana zincirde bulunan elementlerin bağ enerjileri organik polimerlerde bulunan elementlerin bağ enerjilerinden daha yüksektir (Akkurt 1991).

Polimerler yapılarına göre homopolimer ve kopolimer olarak sınıflandırılabilirler. Homopolimer, tek bir monomerin tekrarlanması ile elde edilirken, kopolimer iki değişik monomerin polimerizasyonu ile elde edilir. Üç farklı cins monomerden oluşanlara terpolimer denir. Örneğin, polietilen bir homopolimerdir, stiren-butadien kauçuğu (SBR, ticari adı S veya GR-S olarak bilinmektedir.) bir kopolimer ve ABS (akrilonitril-butadien-stiren) bir terpolimerdir (Akkurt 1991).

Polimerlerin işleme yöntemlerine göre termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki sınıfa ayrılır (Akkurt 1991).

### **3.1.1 Termoplastikler**

Termoplastikler, yumuşak ve ısıtıldıklarında plastikleşen polimerlerdir. Soğumaya terk edildiklerinde tekrar ilk sertliklerine dönebilirler. Plastiklerin üretim teknolojisine plastürji denilmektedir. Plastürji'de daima proses olarak sıcaklık, basınç, ışınlama, katalizör ilavesi gibi yöntemler duruma göre tek tek, bir arada veya ard arda kullanılırlar. Termoplastiklerin plastürjisinde de sıcaklık ve basınç uygulanır. Bunların istenilen formda kalmaları için önce soğutulmaları sonra uygulanan basıncın kaldırılması gerekir (Akman 1987).

Termoplastikler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler:

1. Selülozikler
  - Poliesterler (Selüloz nitrat ve asetat)
  - Polieterler
2. Poliamitler
3. Vinilikler

Polikarbürler (Polietilen, polistiren)

Polialkoller

Poliesterler (Polivinil klorür, polivinil asetat, poliakrilikler)

### 3.1.2 Termosetler

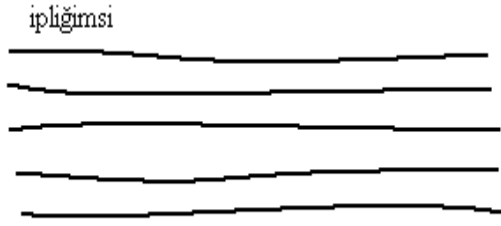
Termosetler; Termoset (termosetting) yüksek çapraz bağı polimerik bir malzeme olup, ısıtıldığında eriyerek sıvı haline geçmez. Ancak, çok yüksek sıcaklıkta, bağların bozulması nedeni ile parçalanır ve bozulurlar. Örneğin; bakalit yüksek sıcaklıkta yumuşama göstermez, tersine sert kalır, ancak belli yüksek sıcaklıklarda duman çıkartarak bozulur. Yüksek bağ bulunması bir termoplastiği termosetting plastik haline çevirecektir. Bu noktada, çapraz bağ miktarı için az çapraz bağı ve yüksek oranda çapraz bağı terimleri kullanılmaktadır (Akkovalı 1993).

Termosetler (sıcakta sertleşenler), daha sert ve dayanıklı polimerlerdir. Bunlar da yüksek sıcaklıklarda zarar görürler. Ancak yumuşamaz ve plastikleşmezler. Ayrıca sıcaklık sonucu oluşan hasar varsa kalıcıdır. Plastiklerde sıcaklık ve basıncın aynı anda kaldırılması bir sorun yaratmaz (Akman 1987).

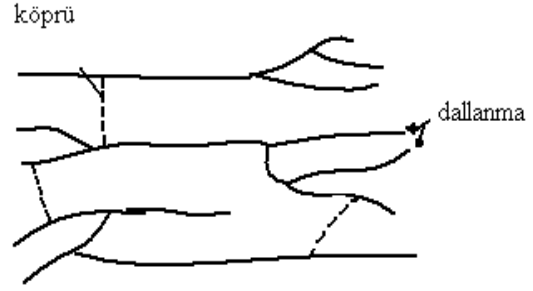
Termosetler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler (Akman 1987):

1. Fenoplastlar (Fenol formaldehit, Fenol ferfurol),
2. Aminoplastlar (Üre formaldehit, Melamin formaldehit),
3. Poliesterler,
4. Polieterler (Poliepoksitler),
5. Poliüretanlar.

Termoplastik ve termosetlerin bu farklı davranışları bu farklı davranışları moleküllerinin yapılarından kaynaklanır. Termoplastik molekülleri uzun, ipliğimsi, birbirleriyle birleşmemiş moleküllerdir. Termosetlerde ise moleküller dallanmış, komşu moleküller arasında bağ köprüleri oluşmuştur. Böylece molekülleri üç boyutlu grift bir yapı kazanmışlardır (Akman 1987).



Şekil 3.1. Termoplastikler



Şekil 3.2. Termosetler

### 3.2 Polimerlerin Genel Özellikleri

Plastikler, günümüzde gerek miktar gerekse çeşit bakımından büyük gelişme göstermektedirler. Hafif, kolay işlenebilir, korozyona karşı dayanıklı, iyi elektrik ve ısı yalıtkanlığına, iyi bir yüzey kalitesine ve görünüşe sahip olan polimerler, makine, uçak, elektrik, elektronik, ev aletleri sanayi gibi dallarda gün geçtikçe daha çok kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, tekstil, mobilya ve inşaatlarda, kaplama ve sentetik yapıştırıcı imalatında, kırtasiye ve ambalaj malzemesi yapımında çok kullanılmaktadır. Ayrıca, plastikten yapılan yapay doku ve insan organları yapımında da kullanılmaktadır. Ancak plastikler metalik ve diğer mühendislik malzemelerine göre oldukça farklı özelliklere sahiptirler (Akkurt 1991). Polimerlerin genel özellikleri şöyle sıralanabilir:

**(a) Görünüş:** Plastiklerin çoğu renksizdir. Bu yüzden istenilen rengi elde etmek için renk verici maddeler kullanılır. Pigmentlerle opak görünüş elde edildiği gibi çözünür organik boyalarla şeffaf bir görünüş elde edilebilir. Polimetilmetakrilat gibi bazı polimerler çok berraktırlar. Bu özelliğin yanı sıra polimetilmetakrilat hafif olduğu için optik camın yerine kullanılabilirdiği gibi, beton içerisinde de kullanılarak betonun özellikleri iyileştirilebilmektedir (Akkurt 1991).

**(b) Yüzey Sertliği:** Plastik malzemelerin bir dezavantajı, yüzeylerinin yumuşaklığı ve çizilmeye karşı direncinin az olmasıdır. Plastikler cam, seramik ve metallere göre daha az serttirler. Opak, renklendirilmiş plastikler, yüzeyi boya ile kaplanmış plastiklerden daha serttir. Termoplastiklerin sertliği sıcaklık ve katılan plastifiyan miktarının artmasıyla azalır.

Termosetler dolgu maddeleri ilave edildikten sonra sert bir hal alırlar. Bunlar da sıcaklık arttırılırsa sertliğin azalması yok denecek kadar azdır (Akkurt 1991).

**(c) Yoğunluk:** Plastik malzemeler, odun hariç diğer tüm malzemelere göre ağırlık bakımından üstündürler. Plastiklerin yoğunluğu 0,9~2,5 g/cm<sup>3</sup> arasındadır. Bundan dolayı ağırlığın önemli olduğu yerlerde plastikler kullanılmaktadırlar (Akkurt 1991).

**(d) Isısal Özellikler:** Plastiklerin ısısal özelliği en önemli özelliklerinden biridir. Her ne kadar bazı plastikler 100-180<sup>0</sup>C aralığında uzun süreli kullanım için tavsiye edilebilir ve örneğin Polietrafloroetilen (PTFE) ve polifenilen sülfid gibi, başka plastikler, 250<sup>0</sup>C'ye kadar servis ömrüne sahip iseler de çoğu plastik geniş bir sıcaklık aralığında yumuşama gösterirler. Yüksek sıcaklıklarda plastiklerin kullanılabilmelerini tayin eden yöntem yumuşama ve sapma (eğilme) sıcaklığıdır. Bu amaçla kullanılan test, ASTM D 648 veya BS 2782 Kısım 121'dir. Ancak bu sıcaklıkların malzemenin maksimum kullanma sıcaklıkları olmadığını hatırlatmakta fayda vardır. Bununla beraber düşük zorlamalarda veya uzun aralıklı yüklemelerde, plastikler bu veya daha yüksek sıcaklıklara dayanabilirler. Yumuşama sıcaklığı esasen yalnız malzemenin ön seğiminde bir bilgi vermektedir (Akkurt 1991). Bir polimerik malzemenin ne tür pratik uygulamaya elverişli olduğu; T<sub>e</sub> (kristal erime noktası) ve T<sub>g</sub> (camsı geçiş sıcaklığı) ile bilinir. Endüstride kullanılan bazı polimerlerin camsı hale geçiş ve erime sıcaklıkları Çizelge 3.1'de verilmiştir (Baysal 1981).

**Çizelge 3.1.** Polimerlerin Erime ( $T_e$ ) ve Camsı ( $T_g$ ) Hale Geçiş Sıcaklıkları (Baysal 1981)

| Polimer                      | $T_e$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) | $T_g$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Polietilen                   | 137                          | -115                         |
| Poli (metilenoksit)          | 181                          | -85                          |
| Poli (etilenoksit)           | 66                           | -67                          |
| Polipropilen                 | 176                          | -20                          |
| Poli (vinil fluorür)         | 200                          | -20                          |
| Poli (vinil klorür)          | 212                          | 81                           |
| Poli (viniliden klorür)      | 190                          | -19                          |
| Poli (klorotrifluoro etilen) | 220                          | 45                           |
| Poli (tetrafluoro etilen)    | 327                          | 117                          |
| Polistren                    | 240                          | 100                          |
| Poli (metil metakrilat)      | 200                          | 105                          |
| Poli (vinil asetat)          | 210                          | 28                           |
| Poli (kaprolaktam)           | 223                          | 50                           |
| Poli (heksametilen adipamid) | 265                          | 53                           |
| Poli (etilen tereftalat)     | 265                          | 69                           |
| Doğal kauçuk                 | 14                           | -73                          |
| Poliizobutilen               | 44                           | -73                          |
| Polimetilsiloksan            | -85-(-65)                    | -123                         |
| Poliakrilonitril             | 317                          | 105                          |
| Poli (vinil alkol)           | 232                          | 85                           |

Plastiklerin önemli bir ısıl özelliği ısı iletkenliğidir. Genellikle plastiklerin ısı iletkenliği iyi değildir. Metallerin ısı iletkenlikleri  $200-10000 \text{ cal/cm.san.}^{\circ}\text{C} \times 10^4$  arasında iken, plastiklerin ısı iletkenlikleri  $2.0-8.0 \text{ cal/cm.san.}^{\circ}\text{C} \times 10^4$  arasındadır. Plastiklerin ısı iletkenlikleri düşük olduğu için sürtünme veya tekrarlanan gerilmelerin sebep olduğu sıcaklık büyümesi, malzeme içerisinde ısı birikmesine neden olur. Bu olay ısıl yorulmaya yol açar. Isıl yorulmayı azaltmak için, plastik malzemelere katkı maddeleri ilave edilir. Bu amaçla en çok kullanılan katkı maddeleri metal tozları (alüminyum, bakır, vb.) veya çeşitli elyaflar (karbon elyafı, cam elyafı vb.) katkılı plastiklerin ısıl iletkenlikleri en az 10 kat daha yüksektir.

Plastiklerin ısı iletkenlikleri molekül ağırlığının yansira, kristalinite derecesi ve yönlenme gibi yapısal faktörlere bağlıdır. Kristalinite derecesi ve yönlenme artarsa, ısı iletkenliği de artar. Başka bir ısısal özellik ısı genleşmedir. Plastik malzemelerin işlenmesinde önemli bir problem olan ısı genleşme katsayısı, metallere göre çok daha büyüktür. Bu değer;  $2-20 \times 10^{-4}$  (cm/cm<sup>0</sup>C) arasında değişir (Akkurt 1991).

Plastiklerin ısıya karşı dayanıklılığı çok önemli bir faktördür. Genellikle termoplastikler yük uygulanmadığı zaman (kendi ağırlıkları altında) 65-120<sup>0</sup>C'da, bazı çeşitleri ise 260<sup>0</sup>C gibi yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirler. Termosetler daha sert ve ısıya dayanıklıdır. Sıcaklık artarsa belirli bir sıcaklığa kadar sert kalırlar fakat yüksek sıcaklıklarda kömürleşir ve bozulurlar. Genellikle termosetler 150-230<sup>0</sup>C arasındaki sıcaklığa devamlı maruz kalabilirler. Bazı özel termoset çeşitleri 260<sup>0</sup>C'ye kadar dayanabilirler. Asbest ve cam dolgu gibi dolgu malzemeleri plastiklerin ısı dirençlerini artırır (Akkurt 1991).

**(e) Kimyasal Özellikler:** Plastikler, metal malzemelerle mukayese edilirse, kimyasal maddelere daha dayanıklıdır. Genellikle termoplastikler zayıf asit, alkali ve tuzların sulu çözeltilerinden etkilenmezler. Örneğin; polietilen ve polipropilen asit depolama kabı imalinde kullanılmaktadır. Politetrafluoretilen gibi fluor içeren plastikler kimyasal olarak tepkimeye girmeyen malzemelerdir. Diğer taraftan, termoplastiklerin çoğu organik solventlerin etkisi altında çözünme veya şişme gösterir ve kuvvetli asit veya alkalilerden kimyasal olarak etkilenmezler. Termosetler, termoplastiklere göre kimyasal çevreye daha az duyarlıdır (Akkurt 1991).

**(f) Alevlenme (Yanma) Özellikleri:** Plastikler alev karşı çok hassastırlar. Genellikle plastiklerin çoğu alevle veya aşırı ısı ile temas ettikten sonra kullanılamaz hale gelirler. Yanan plastiklerin yanma hızı, aditif (yanmadan koruyan madde) kullanılarak yavaşlatılabilir. Bununla beraber bir çok plastik, alev uzaklaştırıldıktan sonra yanmaya devam etmez. Bir plastik malzemenin alevlenme kabiliyeti ölçülebilir. Fakat genellikle bu özellik yanmanın özel şartları ile ilgili birçok faktöre bağlıdır. Örneğin, plastikleştirici ihtiva etmeyen katı PVC, alev uzaklaştırıldığında kendi kendini söndürür, hâlbuki plastikleştiricisiz köpük PVC havada yanmaya devam eder. Bu konuda çok sayıda deney metotları ortaya çıkmasına rağmen, son yıllarda kabul edileni "Kritik Oksijen İndeksi (COI)" kavramına dayanan yöntemdir. ASTM 2863'te standartlaştırılan bu deney, plastiklerin yanma özelliklerinin mukayesesinde en çok kullanılan yöntemdir (Akkurt 1991).



**(g) Hava Etkisiyle Bozulma:** Polimerlerin zamanla yıpranmasına malzemenin kimyasal bozulması neden olmaktadır. Bu olay bir veya bir çok faktörün etkisi altında meydana gelmektedir. Bunların arasında en önemli olanlar; termik, mekanik, fotokimyasal, radyasyon, biyolojik ve kimyasal faktörlerdir. Çoğu defa şartlar, farklı şekilde oluşan yıpranmaların aynı anda meydana gelmesini sağlar. Örneğin açıkta bulunan bir polimer, ultra viyole radyasyonu ile oksijen ve atmosfer etkilerine maruz kalmaktadır. Aynı şekilde, polimer, işleme esnasında ısı, mekanik kuvvetler ve oksijenin etkisi altında bulunmaktadır. Hava etkisiyle plastiklerin yıpranması denince radyasyon, uçan parçacıkların meydana getirdiği aşınma, yağmur veya dolu erozyonu ve hava kirliliğinin kimyasal etkisi düşünülebilir. Genelde iklim şartları plastiğin görünüşünü değiştirir, özellikle renginin solmasına veya bozulmasına neden olur. Plastik malzemelerin gerek hava gerekse iklim etkilerine karşı dayanımını artırmak için, antioksidant ve stabilizatör gibi katkı maddeleri ilave edilir (Akkurt 1991).

**(h) Elektriksel Özellikler:** Elektriksel özellikler arasında en önemli olanı elektriksel iletkenliktir. Genelde plastiklerin elektrik iletkenlikleri zayıftır. Polimerlerin elektrik iletmesi için yapıda serbest elektronlar veya serbest iyonların bulunması ve bunların yapı içinde hareket etmesi gereklidir. Bir polimerin yapısında zincirlerin sert ve bükülmez olması, zincirlerin birbirlerini kuvvetli etkilemesi, yüksek kristalinite ve yönlendirme olayları elektronların serbest hareketlerini engellemekte ve düşük elektrik iletkenliğine neden olmaktadır (Akkurt 1991).

### 3.3 Polimerler Malzemelerin Diğer Bileşenleri

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

#### 3.3.1 Solventler

İşlemede kolaylık sağlayan bu maddeler, depolanma sırasında kararlı, fizyolojik yönden aktif olamayan, renksiz ve berrak olmalıdırlar. Buharlaştırma hızlarına göre hızlı, orta hızlı ve yavaş olarak üçe ayrılırlar. Bunlar;

- (a) Hızlı buharlaşanlar; aseton, eter, benzin
- (b) Orta hızla buharlaşanlar; xilen, butanol, cyclohexanone
- (c) Yavaş hızla buharlaşanlar; cyclohexanol, glycol'dür (Akman 1987).

### **3.3.2 Plastifiyanlar**

Bunlar viskoz sıvı veya katı olan, plastiklere esneklik veren ve özellikle düşük sıcaklıklarda elastik kalmalarını sağlayan maddelerdir. İyi bir plastifiyan buharlaşmamalı ve karışımda homojen dağılmalıdır. Sulandırıcılar da bu grup içinde sayılabilirler. Bunlar solvent olmayıp, polimerin çökmesine yol açmadan solüsyonu sulandıran maddelerdir. Klorlanmış parafin bu tür malzemeye örnektir (Akman 1987).

### **3.3.3 Stabilizanlar**

Sıcaklık ve ultraviyole ışınlar altında plastiğin bozulmaması için yüzde veya binde oranında katılan maddelerdir. Bunlar metallerin organik tuzlarıdır. Genellikle kurşun, kalay, baryum, kadmiyum, strontium, stearatlardır. Tabii bu tuzlar zehirlidir. İçme suyu tesislerinde, gıda sanayinde kullanılmayıp, onların yerine alkalın metal tuzlarından yararlanılır (Akman 1987).

### **3.3.4 Dolgu maddeleri**

Bu maddelerin kullanılmasındaki ana amaç, plastiğin yapım maliyetini düşürmektir. Ancak dolgu maddeleri sayesinde, sertlik, sıcaklık ve ışığa dayanıklılık, elektriksel direnç veya iletkenlik özellikleri iyileştirilebilir. Bunlardan mineral kökenliler, amiont, kuvarz, kaolin, bentonit, metal oksitler ( $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ), metal tozları (Cu, Al,...), cam lifleridir. Organik kökenliler ise ahşap, mantar tozları, selüloz, pamuk, kenevir lifleri, naylon, orlon lifleri ve plastik madde artıklarıdır (Akman 1987).

### **3.3.5 Pigmentler**

Renklendirme işlerinde kullanılırlar. Pigmentler reçine ve solvent içinde erimemeli, kararlılığını korumalıdır. Yine sıcaklık ve ultraviyolede de etkilenmemelidir. Pigmentler mineral veya organik olurlar. Mineraller daha ağır ve kararlı olup örtme yetenekleri daha üstündür. Bunlar boya sanayinde kullanılan metal oksit türündedirler (Akman 1987).

### **3.3.6 Katkı maddeleri**

Katkı maddeleri tıpkı betonda olduğu gibi belirgin özellikler kazandırılmak üzere kullanılan maddelerdir. Bunlar;

- Fungicide'ler, yosun ve mantarlara karşı kullanılırlar, bunlar bakır ve civa organik tuzlarıdır.

- Ignifugane'ler, alev yayılmasını önleyen maddeler, bunlar klorlanmış parafinler, antimuan tuzlarıdır.
- Antistatik'ler, elektrostatik olarak toz tutan plastiklerin bu özelliğini nispeten gidermek üzere katılırlar.
- Lübrifian (Yağlayıcı)'lar, kolay şekil verilebilmesi için katılırlar, bunlar mumlar, metal sabunlar, koloidal grafitlerdir.
- Kalıptan çıkmayı kolaylaştıran ve kalıba sürülen maddeler, bunlar çinko stearat, teflon, silikon vernikleri v.b. (Akman 1987).

### 3.4 Polimerlerin Üretim Süreçleri

Plastik maddeler kullanıma hazır duruma gelinceye kadar birçok aşamalardan geçerler. Birinci aşamada, hammaddelerin elde edilişi vardır. Bu monomerin hazırlanışıdır ve tamamen ayrı bir kimyasal üretim sürecidir. İkinci aşama, polimerizasyon veya polikondansasyonun yapıldığı aşamadır. Buradan çıkan ürün, toz, boncuk, pul, sıvı, v.b. şekillerindeki tam polimerize veya yarı polimerize (prepolimerize) maddelerdir. Üçüncü aşama, polimerize veya prepolimerize maddelerin işlendiği aşamadır. Buralarda, profiller, yer döşemeleri, deriler, kumaşlar, v.b. üretim malları elde edilir. Bazı durumlarda bu üçüncü aşama yoktur. Hemen inşaat alanlarında kullanıma geçilir, genellikle banyolar, sentetik betonlar, yapıştırıcılar bu gruba girer (Akman 1987).

İkinci aşama yani polimerizasyonun gerçekleştirildiği aşamanın prensipleri dört ana üretim teknolojisi üzerindedir (Akman 1987):

- Kütleli polimerizasyon,
- Solüsyon halinde polimerizasyon,
- Emülsiyon halinde polimerizasyon,
- Süspansiyon halinde polimerizasyon.

Kütleli polimerizasyon en basitidir. Katalizör monomer içine önceden katılır, ışık veya sıcaklık gibi aktivasyonla polimerizasyon başlar. Sıcaklık yükselmesi fazla olduğundan kontrol güçtür. Ancak küçük miktarlarda üretim için uygundur. Polikondansasyon esaslı süreçlerde bu polimerizasyon daha uygundur. Oluşan su ve hava vakumla, distilasyonla toplanır.

Solüsyon halinde polimerizasyonda, monomer ve katalizör ayrı ayrı solventlerde eritilir. Polimerizasyon solvent içerisinde gerçekleşir, ürün askıda kalır veya çökelir. Arıtma işlemi veya solventin yeniden kazanılması (reküperasyon) gerekir. Arıtma işlemleri nedeniyle büyük fabrikalar zorunludur.

Solvent olarak su kullanılması halinde üçüncü aşamaya gidilmiş olur. Suyun ucuzluğu, yükselen ısıyı indirmesi ilginçtir. Ancak organik maddeler suda çözülmediklerinden, bunu sağlamak üzere tasio-aktif maddeler gereklidir. Süspansiyon halinde polimerizasyon, kütsel polimerizasyon ve emülsiyon polimerizasyonunun ara çözümdür. Monomere katalizör katılır, karışım damlalar halinde su içinde polimerize olur. Boncuk şeklinde elde edilen ürün oldukça saf olup kontrollü biçimde üretilmiştir (Akman 1987).

Plastürjinin üçüncü devresi yani ürünün elde edilmesinde de geliştirilmiş yöntemler vardır (Akman 1987);

- Kalıplama,
- Enjeksiyon,
- Haddeden çekme,
- Merdaneden çekme.

Birinci ve ikinci yöntemlerde, sıvı haldeki polimer kalıplara doldurulur. Birinci yöntemde malzeme kalıba basınçla, ikinci yöntemde ise enjeksiyonla sıkıştırılır. Haddeden çekmede yumuşatılmış veya sıvıya dönüştürülmüş madde istenilen şekli alacak şekilde haddeden geçirilir ve soğutularak istenilen formu koruması sağlanır. Merdaneden çekmede ise yumuşatılmış madde sıcak merdanelerin arasından geçirilerek, yaprak şeklinde ürünler elde edilir (Yer döşemeleri, çatı örtüleri, v.b.) (Akman 1987).

### **3.5 Polimerlerin Tercih Nedenleri**

Polimerik malzemelerin bu kadar yaygın olmalarının sebepleri çok yönlü kullanıma yatkın, hafif, güvenli, dayanıklı ve düşük maliyetli olmalarıdır. Her alanda kullanılabilirler. Plastik malzemeler her türlü şekilde kolaylıkla üretilebildikleri için tasarımında sınır yoktur ve bu sebeple binlerce farklı uygulamada kullanılabilirler. İstenilen mekanik uygulamaya göre, sert ya da esnek yapılabildikleri gibi, katı ve gözenekli yapıda da kolayca üretilebilirler. Bu özellikler şöyle sıralanabilir;

**1. Hafiftir:** Metal ya da seramik gibi malzemelerle karşılaştırıldıklarında çok daha hafiftirler. Bu sayede bir malı üretirken daha az hammadde kullanılabilir, daha az enerji harcanabilir, ürün daha kolay üretilebilir ve taşınabilir.

**2. Güvenlidir:** Plastikler hijyenik ve muhafız çözümler üretmekte kullanılırlar. Hafif olmalarına rağmen oldukça mukavimdirler. Parçalanmaya karşı dayanıklı olan polimerlerden neredeyse kırılmayan ürünler üretilebilir. Böylece ürünün korunması gerektiği uygulamalarda plastikler çok iyi performans gösterirler.

**3. Dayanıklısıdır:** Polimerler mukavim, dayanıklı ve tok çözümler sunarlar. Zamanla çok kolay bir şekilde bozunmayan, kimyasallara ya da suya karşı direnci yüksek plastikler mevcuttur. Bu sayede yapı endüstrisinden, elektrik endüstrisine kadar dış etkenlere ve darbeye açık her uygulamada tercih edilirler.

**4. Maliyeti uygundur:** Polimer kullanımı birçok yönden üretim ve tedarik zinciri maliyetini düşürür. Öncelikle üretimdeki enerji maliyetini düşürür ve buna ek olarak karmaşık ürünlerin yüksek hızda tek bir üretim hattından çıkmasını sağlayarak, üretim hacminin artmasını sağlarlar. Ayrıca, hafif bir malzeme seçimi olan plastik kullanımı yakıt tüketimini de ciddi ölçüde azaltmaya yarar.

### **3.6. Polimer Beton Kompozitleri**

Son yıllarda inşaat sektöründe elde edilen deneyimler sonucu, gelişen yeni inşaat yöntemlerinin de; sadece teorik çalışmaların değil, buna paralel olarak da yapı malzemelerinin iyileştirilmesi ve yeni inşaat malzemelerinin geliştirilmesi ile sağlanabileceği yönündedir. Polimer betonun kullanım alanları, gövde olarak (takım tezgâhı, dişli kutusu, pompa ve hassas cihazlarda), boru imalinde; yapıştırıcı ve kaplama malzemesi olarak, yüzeylerde; istenilen boyut ve renklerde, yapı endüstrisinde; kaldırım malzemesi, yaya yolu, ara bölme, prefabrik yapı panelleri imalinde; makine parçası olarak; çimento bağlayıcısına alternatif olarak; izolatör ve optik aletlerde şeklinde sıralanabilir (Akman 1987).

İnşaa edilen yapılardan beklenen önemli husus, 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. Çimento bağlayıcısına alternatif olarak kullanılan polimerli betonlar da bu

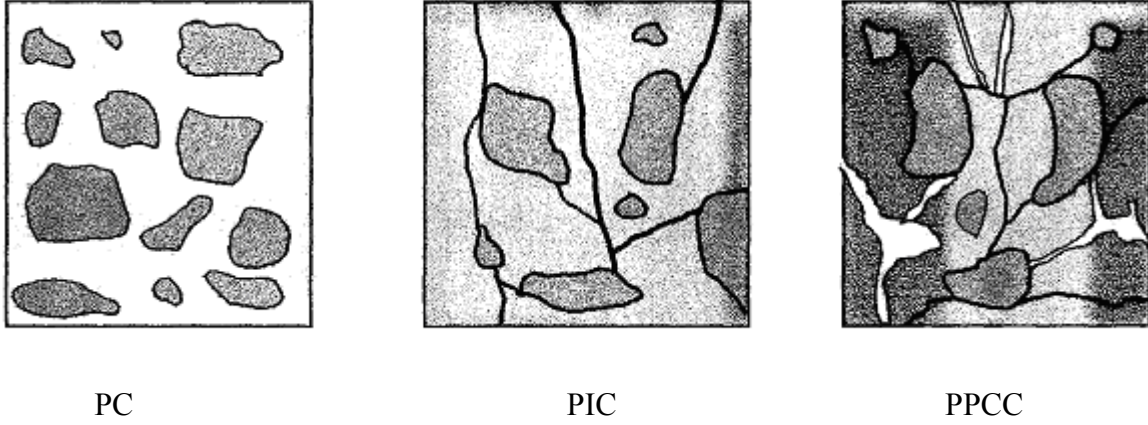
malzemelerden biridir. Daha önceleri genellikle gövde malzemesi olarak kullanılmaya başlanan polimer betonlar, gelişen teknoloji ve yapılan araştırmalar ve çalışmalar doğrultusunda ilk önce çimento ile birlikte kullanılmış daha sonra ise çimentonun yerini almaya başlamıştır (Akman 1987).

Polimer betonlar tarihsel gelişime göre incelendiğinde; betonların “Beton” CC (çimento betonu) ve “Polimer Kompozitleri” PCC (Polimer Çimento Betonu) olarak iki ana grupta ifade edildiği görölmektedir. Çimento betonları bağlayıcı malzeme olarak çimentonun kullanıldığı polimer beton kompozitleri ise gözenekleri polimer ile doldurulan malzemelerdir. Betonun zayıf olan çekme dayanımı, düktil ve betona kıyasla çekmede daha güçlü olan polimerik malzemelerin kullanımıyla iyileştirilebilir. Polimerlerin betonda kullanımı üç ana grupta toplanabilir:

- a) Polimer Beton (PC),
- b) Polimer ile Modifiye Edilmiş Beton (PMC),
- c) Polimer Emdirilmiş Beton (PIC).

Polimer beton, bağlayıcı olarak sadece polimerlerin kullanıldığı betonlardır. Monomer ve agrega karışımının polimerizasyonu ile elde edilir. Polimer ile modifiye edilmiş betonlar arasında en yaygın olarak kullanılanı lateks modifiye betonlar (LMC) olup, karışım suyunun bir kısmı yerine lateks adı verilen polimer emülsiyonlarının kullanıldığı betonlardır. Polimer emdirilmiş beton ise, sertleşmiş Portland çimentosu betonu içerisine bir monomerin emdirilmesi ve daha sonra polimerize edilmesi ile üretilen betonlardır (Aydın 1998).

Şekil 3.3'te bu üç ana gruba ait beton türlerinin farklılığı görülmektedir (Ramachandran 1984).



**Şekil 3.3.** Polimerlerin Betonda Üç Ayrı Kullanımı (Ramachandran 1984)

Taralı alanlar agregaları, siyah çizgili kanallar polimerle doldurulmuş boşlukları, noktalı alanlar çimento fazını ve beyaz kalan alan ise polimer fazını göstermektedir.

Polimer-Çimento Betonda agregalar çevresinde bir polimer filmi oluşmuş, kılcal damarların bir bölümü de doldurulabilmiştir. PIC'de tüm kılcal boşluklar hatta jel boşluklarının bir kısmı dahi polimerle doldurulmuştur. PC'de ise agregaları çeviren matriks tümüyle polimer olup, Portland çimento hamuru mevcut değildir (Akman 1987).

### 3.6.1 Polimer emdirilmiş beton (PIC)

Polimer emdirilmiş beton PIC (Polimer Impregnated Concrete); sertleşmiş çimento betonuna monomer emdirilmesi ve müteakiben polimerizasyon işlemi gerçekleştirilerek üretilen betondur. Polimer emdirilmiş betonların üretiminde en önemli konu uygun monomerin seçilmesi ve polimerleşme işlemidir. PIC'te basamaklı polimerleşmeden ziyade, katılma polimerleşmesi uygulanması uygundur. Çünkü basamaklı polimerleşmede oluşan yan ürün kompozitin özelliklerine zarar verir. PIC'lerde önceden dökülmüş betonlara polimer emdirilmektedir. Proses'e bağlı olarak betonun en ince kılcal boşluklarına kadar nüfus eden polimer buralarda polimerize olmakta, geçirimsiz, çok yüksek dayanımlı betonlar elde edilebilmektedir (Akman 1987).

Normal yöntemlerle hazırlanan beton veya harçlarda bulunan kılcal boşluklar genellikle çimento hamuruyla doludur. Betonun daha iyi mukavemetli olabilmesi için su/çimento oranları mümkün olduğu kadar küçük tutulur. Kılcal boşluklarda suyun fazla olması zamanla o kılcal boşlukların boşalması demektir ki bu durum mukavemet kaybına sebep olur. Böyle boşluklu olan bir betonun dayanımının ve mukavemetinin artırılması için mümkün olduğu kadar kılcal boşlukları azaltmak gerekir. Bu husus, Polimer Emdirilmiş Betonların (PIC) genel özelliğidir. Gözenekli sistem içerisine sıvı halde monomer enjekte edilir ve monomerin betonun bünyesinde polimerleşmesi (katılaşması) sağlanırsa, betonun bir takım özelliklerinde önemli düzeyde iyileşme sağladığı görülmektedir (Sidney 1981).

1965'de A.B.D.'de Brookhaven National Laboratory'de PIC konusunda ilk somut çalışmalar yapılmıştır. İlk dayanımı  $35 \text{ N/mm}^2$  olan bir betonun dayanımı  $140 \text{ N/mm}^2$ 'ye ilk dayanımı  $85 \text{ N/mm}^2$  olan ısıtılmış betonun dayanımı  $270 \text{ N/mm}^2$ 'ye kadar yükseltilmiştir. Aynı betonun çekme dayanımı ise  $25 \text{ N/mm}^2$  olmuştur. Bu değerler beton teknolojisinde hayal edilmesi dahi güç yüksek değerlerdir. Betonlar kurutulmuş, vakumla havaları boşaltılmış, 8 atmosfer basınç altında PMMA (polimetilmetakrilat) enjeksiyonuna tabii tutulmuştur. Betonlar hacimlerinin %8'i oranında PMMA emmişlerdir. Elde edilen PIC'lerde sünme sıfırdır. Gerilme-deformasyon bağıntısı kırılmaya kadar doğrusaldır ve elastisite modülü normal betonunkinin iki katıdır (Akman 1987).

PIC'de çok farklı monomerler kullanılmaktadır. Kullanılan monomerde; düşük vizkosite, yüksek kaynama derecesi, düşük zehirlilik, kolay polimerleşme, daha ucuz ve sağlam olma özellikleri aranmaktadır. Genellikle PIC için metilmetakrilat (MMA), fenietilen gibi monomerler bu iş için çok uygundur. Kılcal boşluklara daha iyi nüfuz edebilmesi monomerin vizkositesine bağlıdır. Polistren ve polimetilmetakrilat (PMMA) yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerini sürdüremezler. Bunun için genelde metilmetakrilat (MMA), vinilasetat (VAC), butilasetat (BA), akrilonitler (AN) gibi malzemeler sentetiklerdir (Nadiu 1991).

Günümüzde PIC'te kullanılan en uygun monomerler sıvı olanlardır. Bu alanda kullanılabilecek başlıca monomerler metil metakrilat (MMA), stiren, vinil asetat, %60 stiren-%40 akrilonitril, kolrostiren, vinil klorür, %10 polyester-%90 stiren dir (Akman 1987).

Fabrikasyon yapı malzemelerinde ve elemanlarında (pis su tesisat boruları, tünel astarları, prefabrik iskeleler ve temle kazıklarında, prefabrik tüm yapı elemanları) polimer



emdirme yapılabilir. Kısmen doyurulmuş beton, muhtemelen daha geniş sahada avantajlara sahiptir. Köprü ve güverte betonlarında çok iyi sonuç vermektedir (Sidney 1981).

### 3.6.2 Polimer çimento betonu (PCC)

PCC, polimer portland çimento betonlarında, polimer malzeme normal taze betonla karıştırılmakta, betonun prizi sırasında polimer de polimerize olarak istenilen süneklikte ve geçirimsizlikte beton elde edilmektedir. Üretim süreci dikkate alınırsa kullanılan polimerin önce emülsiyon (suda erimiş süspansiyon yapı) haline getirilmesi, sonra da bu emülsiyondaki organik polimerin çimentonun kireci ile reaksiyona girip koagüle olmaması ve nihayet polimerizasyonun sulu ve alkali ortamda oluşması gerekir. Bu şartlar ancak önceleri PVA (Polivinil Asetat) ile mümkün olabilmiştir. PVA emülsiyonu sodyum parafinat türü bir transioaktif madde ile sağlanabilir. Stabilizan olarak nişasta, kazein veya sodyum, potasyum hidratlar kullanılır. Polimer katılması ile yeni hidrate ürünler oluşabilir, bunların oluşumunu önlemek üzere prizi hızlandırmak ( $\text{CaCl}_2$  katarak) yoluna gidilmektedir. Amaçlanan geçirimsizliği ve sünekliği sağlayabilmek için, PVA yüzdesi oldukça yüksek tutulur (Çimentonun %20'si kadar). Mukavemetlerde ve elastisite modüllerinde önemli düşmeler meydana gelir. Zamanla PCC'nin suya direnci de azalmaktadır. Bu bakımdan çimentoyla uyum sağlamasına rağmen PVA dışında polimerler aranmıştır. Bunların sayıları oldukça fazladır: PVP (Polivinil Propionat), SBR (Stiren Butadyen Lateks), NBR (Akrlonitril Butadyen Lateks), PVC (Vinil Klorür+Vniliden Klorür) emülsiyonları, PAE (Poliakrilik Ester) emülsiyonları, epoksi emülsiyonları, vb. gibi.

PIC'ler PCC'lere oranla çok daha üstün nitelikli malzemelerdir. Ancak PCC'lerin yerinde dökülme niteliğine sahip olmaları, bunlardan vazgeçilmeyi önler. Yeni patentler üzerinde de çalışmalar sürdürülmektedir. Örneğin jeotermal kaynaklarda yüksek sıcaklık ve ve zararlı tuzlara dayanıklı yarı organik bir PCC üretilmiştir. Bu PCC iki siloksan'ın kopolimerizasyonu ile elde edilmektedir. Ticari ad olarak OSPC (Organo Siloxane Polymer Concrete) adını alan bu malzemedeki iki siloksan;

1. Tetrametil tetravinil cyclotetra siloxane,
2. Dimetil siloxane'dır.

Katalizör DTBP (Ditert butyl peroxyde) dir. ASTM'de tip II olarak adlandırılan nispeten sülfata dayanıklı normal Portland çimento kullanılarak üretilen harçlarda, agrega silis

unudur. Çimento/silis unu oranı 1/9'dur. Katkı olarak  $MgSiO_3$ ,  $CaSiO_3$  ve  $Fe_2O_3$  ilave edilmektedir. Harç 4 saat süreyle pompa betonu kıvamını koruyabilmektedir.  $25^{\circ}C$  ile  $350^{\circ}C$  arasında basınç dayanımı  $72 N/mm^2$  değerinde olup, Jeotermal ortamda stabilite kaybı yoktur (Akman 1987).

PPCC (Polimer portland çimentolu beton); kaplamalar, kaldırım taşları, birleşik su yapıları, dekoratif yüzey kaplamaları, aşınmaya karşı dayanıklı astar, tamir malzemeleri ile köprü malzemeleri olarak kullanılmaktadır (Maultzsch 1987). Bazı uygulamalarda ise; döşeme, kaldırımlarında, mağaza, normal mesken ve dükkan döşemelerinde, tuvalet döşemeleri, pasajlar, merdivenler ve fabrika döşemeleri, garaj, demiryolu platformu ve yollar gibi yerlerde kaplama olarak kullanılmaktadır. Su geçirimsizliğini sağlamak amacıyla su yapılarında, beton çatılarda, yüzme havuzları, su tankları ve benzeri yerlerde kullanılmaktadır (Kane 1987).

Çimento sıva yerine kaplamalarda, sulu harç yaparak çatlakların tamirinde, hasara uğramış yapılar için yama malzemelerinde, hafif agregalı malzemelerde, çimento dolgu bileşikleri ve yüzey bitirmelerinde tesviye etmek amacıyla kullanılmaktadır. Akıcı lağımlarda, kimyasal ya da mekanik fabrika döşemeleri için koruyucu astar, asitlere dayanıklı kiremitler için astar, kimyasal laboratuvarların döşemeleri, atık tankları, sıcak su kaplıcaları, vb. yerlerde koruyucu astar gibi görev görür. Gemilerin içi ve dış güverteleri, köprü güverteleri vb. yerlerde güverte kaplaması olarak uygulamaları mümkündür (Nadiu 1994).

Okada ve Ohama'nın yapmış oldukları bir çalışmada ticari adı SBR-EVA ve PAE olan polimerlerle modifiye edilmiş harçların; kaplama, su izolasyonları, yapışkan dekoratif kaplamalar, yüzey bitirme malzemeleri, aşınmaya dayanıklı güverte kaplamaları gibi çok yönlü uygulamalarda kullanılması rapor edilmektedir (Okada 1987).

### **3.6.3 Polimer beton (PC)**

PC (Polimer Beton); polimer reçinesi ile agregaya karışımıdır. Polimer agregaları birbirine bağlayan bir tutkal gibi davranırlar. Polimer beton üretiminde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan bir tanesi, kütle agregalar arasındaki boşluk hacminin en aza indirilmesidir. Çünkü, bir tutkal gibi kullanılan polimer reçinesi agregaya boşluklarını dolduracağından ihtiyaç duyulan polimer miktarı artacak ve maliyet artışı olabilecektir. Monomerin agregaya karışımının içine yayılması sonucu kimyasal değişim meydana gelir.

Normal olarak polimer ile agrega arasındaki bağ kuvvetini artırabilmek için karışıma monomer ilave edilir. Polimer beton üretiminde birçok polimer tipi kullanılabilir. Kullanılan polimer tiplerine örnek olarak çoğu zaman monomer ve reçineler, metilmetakrilat (MMA), polyester stiren ve epoksidir. Furane, üretan, polyester amid ve vinilasetat gibi monomerler de kullanılmakla beraber, bunlar maliyeti çok arttırdığından pek tercih edilmezler. PC yapımında genellikle maliyeti düşük olan MMA ve polyesterler kullanılmaktadır. Bunlar içerisinde MMA daha çok prefabrikasyon yapı elemanlarının üretiminde tercih edilir (Nadiu 1994).

Polimer betonlar  $1410 \text{ kgf/cm}^2$  basınç mukavemetine erişebilirler. Bu betonların fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 3.2.'de verilmiştir (Dikeou ve Fowler 1981).

**Çizelge 3.2.** Polimer Betonların Tipik Özellikleri (Dikeou ve Fowler 1981)

|                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| Basınç Mukavemeti       | 40-150 MPa               |
| Eğilme Mukavemeti       | 8-35 MPa                 |
| Elastisite Modülü       | 700-35000 MPa            |
| Isıl Genleşme Katsayısı | $5-10 \times 10^{-6} /C$ |
| Su Emme                 | $\ll \%1$                |
| Dona Dayanıklılık       | İyi                      |
| Asite Dayanıklılık      | Çok İyi                  |

Polimer beton yapmak amacı ile pek çok malzeme kullanılırsa da önemli iki sistem ön plana çıkar. Bu sistemler kür maddeleri içeren epoksi sistemlerle, başlatıcı (zincir reaksiyonunu başlatan madde) ve geliştirici (reaksiyonun ilerlemesini sağlayan madde) içeren metilmetakrilat monomerlerdir. Epoksi sistemler hazır formülasyonlar halinde bulunur. Metilmetakrilat sistemler ya önceden paketlenmiş haldede bulunur veya isteğe göre formülize edilir (Çoruh 1993).

Polimer betonların kullanım alanları şunlardır;

1. Portland çimentolu betonlara katkı malzemesi olarak,
2. Beton yüzeyi üzerinde aşınmaya ve kaplamanın kaymasına karşı (Fontana ve Bartholomew 1981),
3. Yapısal ve dekoratif konstrüksiyon panellerinde (Prunski 1976),

4. Kanalizasyon borularında, yer altı tünel ekipmanlarında, drenaj kanallarında v.s.,
5. Jeotermal uygulamalarda karbon-çelik boruların astarlanmasında (Kukucha 1978),
6. Yüzme havuzlarında ve güvertelerde.

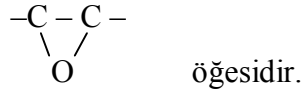
Buradan da anlaşıldığı gibi, Polimer betonların çok çeşitli kullanım alanları vardır. Böylece polimer beton terimi asla bir üretim grubunun faaliyeti olmadığı açıkça görülmektedir. Uygulanabilirliği ve performansı agreganın şekli ve granülometrisine bağlıdır. Polimer tabakasının özellikleri ve kopolimerizasyon tekniklerine bağlı olarak farklı üretimler elde edilebilmektedir. Polimer beton kullanan mühendisler karışımın performansı için laboratuvar verilerine ihtiyaç duyarlar (ACI Commite 548 1986).

### 3.7 Reçineler

#### 3.7.1 Epoksi reçine

Epoksi reçinelerin buluşunu, İsviçreli bir diş protez ustası yapmıştır. Bugün dünyada en tanınmış iki epoksi ürünü Araldit (İsviçre) ve Epon (A.B.D.)'dur.

Epoksileri karakterize eden ve epoksi kökü olarak adlandırılan



Epoksilerin ana maddesi bir molekül aseton ve iki molekül fenol'den hazırlanan difenololprofan'dır. Buna bazı bisfenol A adı da verilmektedir. İkinci ana madde ise gliserin ve propilen'den elde edilen glikol epiklorhidrin'dir. Epoksi kökünü içeren bu maddedir. Bisfenol A ile glikol epiklorhidrin'in alkalın ortamda muamelesi sonunda epoksi reçinelerinin prepolimeri (yani ön polimeri) hazırlanır. Bu prepolimer düşük sayıda molekül içerdiğinden sıvıdır ve piyasada satılan ticari maddeler bu sıvı prepolimerden oluşurlar (Akman 1987).

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

- a. Bir poliasit anidriti (Yüksek sıcaklık gerektirir, bu bakımdan pratik değildir),
- b. Bir alifatik poliamin (etilen di amin gibi, normal sıcaklıkta aktiftirler),

- c. Bir sıvı poliamit (normal sıcaklık ve biraz daha yüksek sıcaklıklarda aktifirler (80 °C ~ 100 °C).

Görüldüğü gibi ikinci grup sertleştirici en çok kullanılan tür olmaktadır. Prepolimerle sertleştiricinin karışması sonunda polimerizasyon meydana gelmektedir. Polimerizasyon'da köprüleşme ve hacimsel molekül oluşur. İlginç yön bu işlemde yan ürün oluşmaması ve dolayısıyla rötrenin minimum düzeyde kalmasıdır. Ayrıca bu üretimde bir avantajdır. Polimerizasyonun başlangıcında köprüleşme tam olmadığından ürün termoplastik karakter gösterir ve asetonda erir. Ancak giderek sertleşir ve termoset'e dönüşür (Akman 1987).

Polimerizasyon ekzotermiktir. Bu bakımdan epoksi'leri büyük oranda üretmek olanaksızdır. Örneğin, 250 cm<sup>3</sup> epoksi üretiminde sıcaklık 100 °C'yi bulduğu halde 10 cm<sup>3</sup> epoksi için 20 °C'yi pek aşmaz (Akman 1987).

Pota ömrü (Pot-Life) önemli pratik bir sorundur. Prepolimer ve sertleştirici karıştırıldıktan sonra kullanılmaya imkan veren süreye pota ömrü denilir. Bu bir saatten birkaç güne kadar değişebilir. Pota ömrü sulandırıcı türdeki katkılarla değiştirilebilir. Reaktif türdeki, küçük moleküllu poliepoksitler tercih edilen sulandırıcılar arasına girer (Akman 1987).

Epoksi reçinaları içine pek çok dolgu maddesi katılır. Bunlar viskoziteyi değiştirmek, termik genişleme katsayısını düşürmek, elektriksel iletkenliği sağlamak, tiksotropi kazandırmak, sertliği arttırmak gibi amaçlar taşırlar. Al, Cu, Fe, Ag, Çelik, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Kolloidal silis, kalker unu, alçı, mika, aspest, grafit gibi maddeler dolgu maddesi olarak kullanılabilir (Akman 1987).

**Çizelge 3.3.** Aralditin Ağırlık Cinsinden Bileşimi ve Mekaniksel Özellikleri (Akman 1987)

| Bileşim ve Mekaniksel Özellikler    | Ağırlık Cinsinden Bileşim |               |           |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------|-----------|
|                                     |                           |               |           |
| Prepolimer                          | 100                       | 100           | 100       |
| Sertleştirici                       | 30                        | 30            | 30        |
| Kuvartz Unu                         | 0                         | 300           | 0         |
| Sulandırıcı                         | 0                         | 0             | 20        |
| Yoğunluk kg/dm <sup>3</sup>         | 1.2                       | 1.9           | 1.2       |
| Eğilme Mukavemeti N/mm <sup>2</sup> | 90 ~ 120                  | 50 ~ 60       | 100 ~ 120 |
| Çekme Mukavemeti N/mm <sup>2</sup>  | 60 ~ 70                   | 30 ~ 40       | 50 ~ 80   |
| Basınç Mukavemeti N/mm <sup>2</sup> | 120                       | 200 ~ 250     | 100 ~ 120 |
| Elastisite Modülü N/mm <sup>2</sup> | 3000 ~ 4000               | 15000 ~ 18000 | 4000      |

Sulandırıcıları, katkı maddeleri ve özellikle sertleştirici türüne bağlı olarak çeşitli epoksi ürünleri vardır. Viskoziteleri, pota ömürleri yönünden farklı olan bu maddeler kullanım amaçlarına uygun biçimde seçilirler.

Sertleştirici miktarının mekanik mukavemetler üzerinde önemli etkisi olmaktadır. %50~%60 oranında sertleştirici mukavemeti tamamen düşürmekte, %25~%30 mertebesinde en yüksek dayanım elde edilebilmektedir. Daha düşük yüzdelerde ise mukavemet düşmekle beraber sertleşmiş reçine kırılmadan büyük deformasyon yapabilmektedir.

Özel önlem alınmamış epoksiler için su ve alkali ortam bir sorun olmaktadır. Epoksinin suyla teması, karıştırıldığı maddelerden geldiği gibi, üretimin hemen öncesindeki absorplanmış su v.b. sebeplerden kaynaklanmaktadır. Araya diffüze olan ve nispeten küçük boyutlu olan su molekülleri polimerizasyon aşamasında köprüleşme süresini etkilemekte ve düşük mukavemetli epoksi ürünler elde edilmektedir. Bu arada kullanılan dolgu maddesinin de suya karşı duyarlı olması durumunda geçirimsizliği düşük epoksiler elde edilmektedir. Alkali maddelerinde benzer etkileri olmaktadır. Bu husus beton gibi alkalinitesi yüksek “Ca(OH)<sub>2</sub> nedeniyle” malzemeye epoksilerin kullanımında dikkati gerektiren bir sorundur. Sertleşmiş epoksileri yumuşatmakta, rijitliklerini bozmakta, bir sorundur. Sertleşmiş epoksileri yumuşatmakta, rijitliklerini bozmakta, bir oranda geçirimli yapmaktadır.

Epoksi reçinelerinin inşaat mühendisliğinde kullanıldığı alanları şöylece sıralanabilir;

- (a) Yüksek ve hızlı mukavemet beklenen işlerde,
- (b) Eski ve yeni betonun yapıştırılması, yüzey onarımı işlerinde,
- (c) Öngerilmeli prefabrike elemanların yapıştırılmasında,
- (d) Plake beton tekniğinde,
- (e) Enjeksiyon çatlak onarımlarında.

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

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

Agrega yığın boşluğu minimum olmalıdır. Yığın boşluğunun minimum olması için genellikle orta tane içermeyen süreksiz granülometreler tercih edilir. Böylece reçine az kullanılır ve ekonomi sağlamış olur. Epoksi betonlarında filler kullanılması viskozite açısından yarar sağlamaktadır.

**Çizelge 3.4.** Silis ve Kalkerli Agregalar ve Salt Silisli Agregalarla Yapılan Epoksi Betonunda Bulunan Bir Araştırma Sonuçları (Akman 1987)

| Özellikler                          | Silisli ve Kalkerli | Silisli      |
|-------------------------------------|---------------------|--------------|
| Bağlayıcı (%)                       | %10 ~ 20            | %10 ~ 20     |
| Birim Ağırlık kg/dm <sup>3</sup>    | 2.2 ~ 2.16          | 2.27 ~ 2.18  |
| Eğilme Mukavemeti N/mm <sup>2</sup> | 17.7 ~ 20.7         | 21.5 ~ 24.9  |
| Basınç Mukavemeti N/mm <sup>2</sup> | 67.4 ~ 97.8         | 83.1 ~ 101.0 |
| Elastisite Modülü N/mm <sup>2</sup> | 30400               |              |

Yapılan deneylerde epoksi betonları 3 yıl dış etkilere maruz kaldıklarında elastisite modülleri değişmemiştir. Üretimi izleyen birinci hafta sonunda kararlılık oluşmuştur. Betonun

son rötresi  $100 \times 100^{-6}$ 'yı aşmamıştır. Sünme ise 2.5 yıl sonunda ve  $20 \text{ N/mm}^2$ 'lik bir basınç altında (yaklaşık % 20  $f_c$ )  $1000 \times 10^{-6}$  değerinde kararlı kalmıştır (Akman 1987).

Epoksi betonlarının ikinci uygulaması yüzey onarımıdır. Bir diğer uygulama alanı Plake beton tekniğidir. Plake beton tekniğinde hasar gören veya kesiti artırılmak istenen betonarme elemanın çevresine çelik levhalar yapıştırılır. Bunlar kirişi bozmadan, kiriş içine yeni çelik donatı koymaya eşdeğerdir. Bazen prefabrikasyonda da plake beton tekniği kullanılmaktadır. Bu yöntemde hazırlanmış çelik kalıbın içine beton dökülür. Kalıpla beton mükemmel bir biçimde yapışarak, ayrıca çelik donatıya gereksinme duyulmadan prefabrike bir kiriş üretilmiş olmaktadır. Bütün bu işlerde epoksi reçinesi yapıştırıcı görevi yapar. Tabii taze betonla temasta bulunan epoksi farklı yapıdadır, ancak genel olarak katılan maddeler tridimetilamin-metil fenol-bütadyen-stiren vb. esaslı olurlar (Akman 1987).

- (a) Islak agregası ile epoksi betonu,
- (b) Islak zemine epoksi betonu,
- (c) Su içinde epoksi betonu,
- (d) Sertleştikten sonra suyla temas, problemleri için ayrı ayrı epoksi türleri vardır.

**Çizelge 3.5.** Epoksi ile Üretilmiş Numuneler Üzerinde Yapılan Eğilme ve Çekme Deneyleleri Sonuçları (Akman 1987)

| Mukavemetler                | Çimento Harcı | Epoksi ile Yapıştırılan Deney Parçaları |       |                    |       |                    |       |
|-----------------------------|---------------|---|-------|--------------------|-------|--------------------|-------|
|                             |               | Eski Harçlar                            |       | Eski ile Yeni Harç |       | Eski Harç ve Çelik |       |
|                             |               | Kuru                                    | Islak | Kuru               | Islak | Kuru               | Islak |
| Çekme Muk. $\text{N/mm}^2$  | 2.1           | 2.2                                     | 1.9   | 2.3                | 2.3   | 2.2                | 2.2   |
| Eğilme Muk. $\text{N/mm}^2$ | 6.7           | 7.1                                     | 7.1   | 6.9                | 7.0   | 7.0                | 6.8   |

Yapıştırılan tüm parçalarda kopma harç bölgesinde olmuştur. Yani verilen değerler epoksi ile harcın gerçek yapışma dayanımının daha da altındadır. Epoksiler her ne kadar sıcaklığa dayanıklı iseler de yangın sırasında ani göçmeler meydana gelebilmektedir. Bu bakımdan plake beton tekniğinde özellikle sistemin izolan bir madde ile örtülmesi (örneğin perlit betonu) zorunludur (Akman 1987).



### 3.7.2 Poliester reçineleri

Poliester sözcüğü ile farklı nitelikli pek çok polimer malzeme ifade edilmektedir. İnşaat Mühendisliği alanında sentetik reçine betonu yapımında kullanılan poliesterler, çift bağ içeren bir dialkol ve diasit'in birleşmesiyle elde edilirler. Çift bağ bir diyenik hidrokarbür vasıtasıyla (stiren hidrokarbür) köprüleşmeye olanak sağlar. Böylece üç boyutlu makro moleküler meydana gelmektedir. Tekstilde kullanılan poliesterler ise lineer molekülü termoplastik polimerlerdir (Akman 1987).

Ticari ürün, doymamış poliester ve diyenik hidrokarbür karışımı olarak satılır. Kullanım anında katalizör ve bazen bir hızlandırıcı madde katılır. Yalnız katalizör kullanılırsa ısıtmak gerekir. Katalizör; Benzol peroksit, metil etil keton, hızlandırıcı kobalt oktoat, loril merkptan vb. etgenlerdir. Şantiyede üç maddenin karıştırılması zor ve sakıncalıdır. Bileşimde yan ürün oluşmaması bir avantajdır. Bu betonlarda rötire olabilmekte, rötire (büzülme) değeri ise % 8 ~ % 14'ü bulmaktadır.

Çizelge 3.6'da yer alan poliesterler, poliepoksitlerden daha yüksek mukavemete sahip gibi görünüyorsa da, bunların Ultraviyole etkisiyle eskimeleri ileri düzeydedir (Akman 1987).

**Çizelge 3.6.** Poliesterlerin Mekanik Özellikleri (Akman 1987)

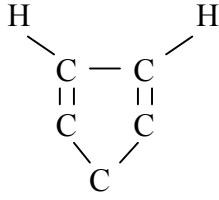
| Özellikler                             | Saf Poliester | Cam Lifli, Donatılı Poliester |
|--|---------------|-------------------------------|
| Yoğunluk (kg/dm <sup>3</sup> )         | 1.1 ~ 1.15    | 1.5 ~ 2.0                     |
| Eğilme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> ) | 55 ~ 120      | 350 ~ 450                     |
| Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )  | 22 ~ 70       | 280 ~ 350                     |
| Basınç Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> ) | 150           | 200 ~ 400                     |
| Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> ) | 2500 ~ 3500   | 7000 ~ 15000                  |

### 3.7.3 Furan reçine

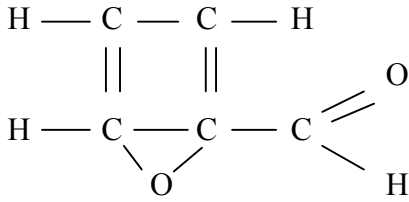
Furan reçineleri fenoplast termosetlerin bir örneğidir. Bu grubun örneği olarak fenolformaldehit (bakalit) gösterilebilir. Fenolformaldehit aromatik bir alkol olan fenol ile basit bir aldehit olan formaldehit (formol)'in polikondansasyon ürünüdür. Bu ürün sıvı veya paça halinde satışa çıkarılır, otomobil fren balatalarında kullanıldığı gibi ahşap talaş yongalı bölme elemanlarının (sunta) yapıştırıcısı olarak kullanılmaktadır (Akman 1987).

Fenoplastlar'da alkol veya aldehit türleri değiştirilerek çeşitli fenoplastlar üretilmektedir. Alkolün rezorsin olması halinde (rezorsin bir difenol'dür) elde edilen ürün plastik soğuk tutkaldır. formaldehit dışında ekonomik nedenlerle kullanılan hemen hemen tek aldehit furfural'dır. Furfural mısır ve arpa yapraklarının fermantasyon ürünüdür (Akman 1987).

Furan olarak adlandırılan kök,



bu açık formüle sahiptir. Furan kökünden türeyen furfural ise (bazen fural, furfural, furfuraldehit de denir (Akman 1987).



formülüne sahip bir heterosiklik aldehit olmaktadır. Oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan furfural, asit ortamda kendiliğinden polimerize olabilir. Örneğin, fenol gibi bir alkolle polimerize olabilmekte, bir keton'la özellikle aseton'la reaksiyon yapabilmektedir (Akman 1987).

Reçine betonu olarak furfural, genellikle 1. ve 3. türde sayılan polimerizasyon sürecine göre kullanılmaktadır. Furfural aseton (FA), % 3 benzen sülfonik asit'le muamele edildiğinde ve agrega olarak andezit kullanıldığında, 7 günde 1000 N/mm<sup>2</sup> basınç mukavemeti sağlanabilmektedir. Furan reçine betonları siyah renkli ve estetik görünüşü olmayan maddelerdir. Kimyasal dayanıklılıkları da özellikle asit ortama karşı iyidir. Bunlar daha çok aşınmaya dayanıklı beton elde edilmesinde kullanılırlar. Bu nedenle sıcaklığı fazla yükselmeyen, sülfürik, hidroklorik asit ve tuzların bulunduğu sinai kimya bacalarının kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadırlar (Akman 1987).

## **4. MATERYAL VE YÖNTEM**

Bu çalışmada, çok yönlü olarak endüstriyel sektörde kullanılan ve giderek de kullanım alanları artan polimer beton üretiminde, çimento yerine bağlayıcı malzeme olarak kullanılması ile üretilen polimer beton numuneleri üzerinde, donma- çözülme deneyi yapılmış ve polimerli beton numunelerin bu etkiye karşı gösterdiği dayanıklılık özelliği irdelenmiştir.

### **4.1 Materyal**

Deney numuneleri üzerinde yapılan beton basınç ve donma - çözülme deneylerinde kullanılan malzemelerin özellikleri hazırlanan farklı poliester reçine/dolgu oranlarında hazırlanan polimer beton numunelerine uygulanan deneylerle açıklanmıştır. Deneylerde polimer beton numunelerde katkı malzemesi kullanılmamıştır. Deneyler 18 Mart Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

#### **4.1.1 Beton numunesi deney kalıpları**

Beton basınç deneyi ve donma - çözülme deneyi için deney numunelerinin hazırlanmasında 100x100x100 mm'lik standart küp kalıplar kullanılmış hazırlanan ve kalıplara yerleştirilen polimer betonlar uygun şekilde sıkıştırılmıştır.

#### **4.1.2 Dolgu malzemesi seçimi**

Deneysel çalışmalarda dolgu malzemesi olarak 3 tip kuvars kumundan elde edilen karışım kullanılmıştır. Bu karışımı oluşturan bileşenlerin dane boyutları;

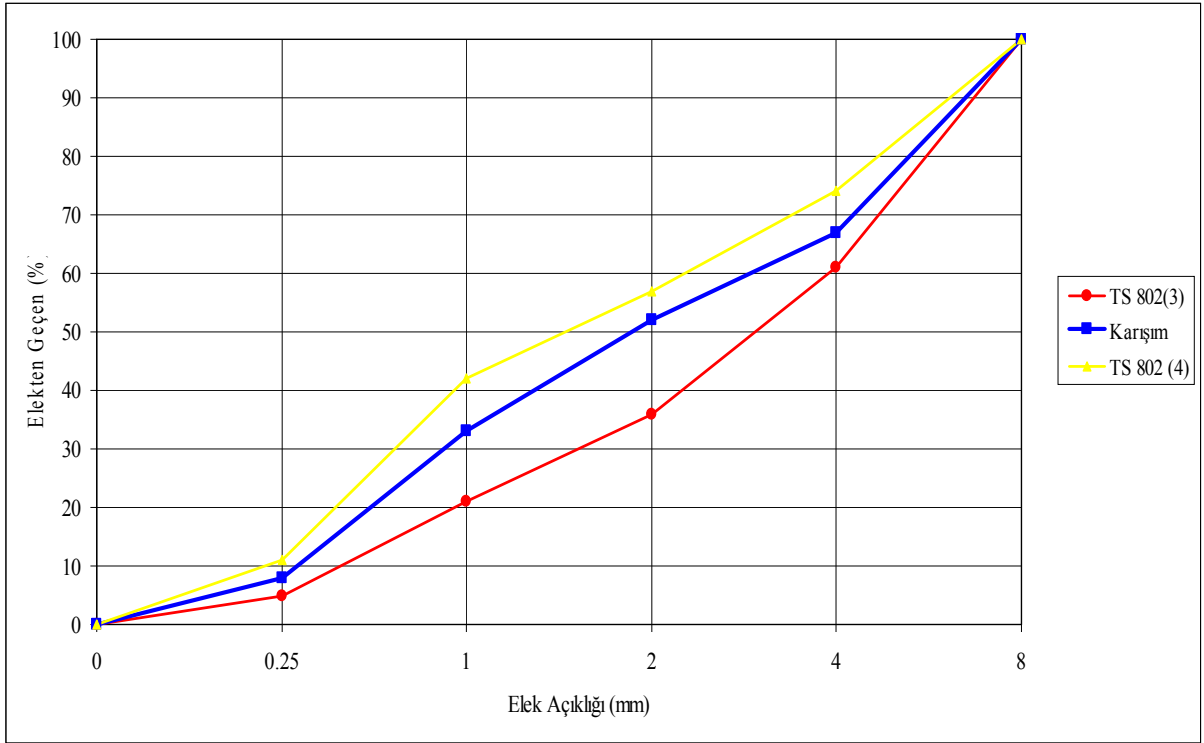
- (1) İnce Kuvars Kumu : (0-1,0 mm),
- (2) Orta Kuvars Kumu : (1,0-5,0 mm),
- (3) Kalın Kuvars Kumu : (5,0-7,0 mm),

olarak oluşturulmuştur.

Polimer betonun iskeletini oluşturan dolgu malzemesi olarak seçilen kuvars kumu Camiş Madencilik A.Ş.'nin Tekirdağ-Saray Safaalan Kuvars Kumu Ocağından temin edilmiştir. Söz konusu kuvars kumunun, kimyasal özellikleri Çizelge 4.1'deki gibi olup, granülometrik bileşimi ise Şekil 4.1'deki gibi bulunmuştur.

**Çizelge 4.1** Kuvars Kumunun Kimyasal Özellikleri  
(Üretici Firmanın TSE Laboratuar Dairesi Başkanlığına İncelettiği Numune Sonuçları)

| Kimyasal Bileşenler            | Kuvars Kumu (%) |
|--------------------------------|-----------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 91.63           |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.44            |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.075           |
| MgO                            | 0.04            |
| CaO                            | 0.05            |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.07            |
| K <sub>2</sub> O               | 2.55            |
| Kızdırma Kaybı                 | 0.31            |



**Şekil 4.1** Deney Numunelerinde Kullanılan Kuvars Kumu Granülometri Eğrisi

#### 4.1.3 Polimer ve sertleştirici

Deneysel çalışmada polimer beton numunelerinin üretiminde bağlayıcı olarak doymamış poliester reçine seçilmiştir. Seçilmiş olan poliester reçine; Poliya Poliester A.Ş. tarafından üretilen Polipol 3554 kod numarası ile piyasada satışı bulunan ortoflatik esaslı polimer beton poliesteri olarak tasarlanmış olan doymamış poliester reçinedir. Reçine ve monomerin sertleşmesi için çapraz bağ ile sonuçlanan kimyasal reaksiyonu başlatan madde olan sertleştirici seçimi de Poliya Poliester A.Ş'den gerçekleştirilmiştir. Seçilen sertleştirici yine Poliya Poliester A.Ş. tarafından üretilen Butanox ismiyle piyasada satışı bulunan reçine ile reaksiyona girerek sıvı formdan katı forma dönüşmesini sağlayan sertleştiricidir.

Deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılan poliester reçinenin üretici firmadan temin edilen kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'teki gibidir.

**Çizelge 4.2.** Poliester Reçinenin Kimyasal Özellikleri (www.poliya.com.tr 2009)

| Poliester Reçine | Özellikler              |
|------------------|-------------------------|
| İsim             | Polipol 3554            |
| Renk             | Maks. 150 Hazen         |
| Yoğunluk         | 1,133 g/cm <sup>3</sup> |
| Viskozite        | 450 cp                  |
| Jel Süresi       | 7 dakika                |
| Monomer Oranı    | % 40                    |
| Parlama Noktası  | 34 <sup>0</sup> C       |

**Çizelge 4.3.** Sertleşmiş Poliester Reçinenin Mekanik Özellikleri (www.poliya.com.tr 2009)

| Poliester Reçine  | Özellikler |
|-------------------|------------|
| Eğilme Dayanımı   | 150 MPa    |
| Elastiklik Modülü | 3300 MPa   |
| Kopmadaki Uzama   | % 5,8      |
| Çekme Dayanımı    | 73 MPa     |
| Elastiklik Modülü | 2100 MPa   |
| Kopmadaki Uzama   | % 3,6      |

#### 4.1.4 Deney numunesi ayırıcı

Döküm sonrası malzemenin kalıptan kolayca ayrılması için kalıp yüzeylerine kalıp ayırıcı uygulanmaktadır. Kalıp ayırıcı olarak sıvı veya sprey şeklinde piyasada satışı bulunan rulo filmler (doymuş poliester, polivinil asetat, polivinil klorür v.b.) veya yağlayıcı malzemeler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada Poliya A.Ş.'den temin edilen ve Polivaks adı ile piyasada satışı bulunan sıvı çözelti haldeki PVA(poli vinil alkol) kalıp ayırıcı kullanılmıştır. Kalıp ayırıcı bir sünger yardımıyla tüm kalıp yüzeyine uygulanmıştır. Kuruması için 15 dakika beklenmiştir. İyice kuruduğu anlaşıldıca polimer betonunun döküm işlemine başlanmıştır.

#### 4.2 Harç Karışım Dizaynı

Bu çalışmada üretilen polimer betonda Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te fiziksel ve mekanik özellikleri yer alan poliester reçine, çimento yerine bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Temin edilen bu polimer, Çizelge 4.1'de kimyasal özellikleri verilen ve dolgu malzemesi olarak kullanılan kuvars kumu ile ağırlıkça poliester reçine/dolgu oranı %10-%90, %15-%85, %20-%80 olarak dizayn edilerek polimer beton numuneleri hazırlanmıştır.

Her bir karışım oranı için hazırlanan numunelerde kullanılan malzeme miktarları ağırlık olarak Çizelge 4.4'te verilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Polimer Beton Numunelerine Ait Karışım Dizaynı

| Karışıma İlave Edilen Malzeme (g) | Dolgunun Ağırlığına Bağlı Olarak Karışıma İlave Edilen Polimer Yüzdeleri |       |       |
|-----------------------------------|--|-------|-------|
|                                   | %10  | %15   | %20   |
| Dolgu Malzemesi(Kuvars Kumunu)    | 27000  | 25500 | 24000 |
| Polimer (Poliester Reçine)        | 3000   | 4500  | 6000  |
| Sertleştirici                     | 60   | 90    | 120   |

Kontrol numunesi ise saf poliester reçineden oluşturulmuş sertleştirici ile karıştırılarak ve dolgu malzemesi ilave etmeden elde edilmiştir. Kontrol numunesine ait karışım dizaynı Çizelge 4.5' te verilmiştir.

**Çizelge 4.5.** Kontrol Numunesine Ait Karışım Dizaynı

| Karışıma İlave Edilen Malzeme  | Dolgunun Ağırlığına Bağlı Olarak Karışıma İlave Edilen Polimer Miktarı (g) |
|--------------------------------|--|
| Dolgu Malzemesi(Kuvars Kumunu) | 0  |
| Polimer (Poliester Reçine)     | 3000   |
| Sertleştirici                  | 60   |

### 4.3 Yöntem

Poliester reçine ve kuvars kumuna ait kimyasal ve fiziksel özelliklerinin tespiti amacı ile yapılan deneyler üretici firmalar tarafından TSE Laboratuvar Dairesi Başkanlığı laboratuvarına yaptırılmıştır. Kuvars kumuna ait granülometri eğrisini oluşturulması için elek analizi yapılmıştır.

Şekil 4.1'de verilen granülometriye sahip kuvars kumu ve poliester reçine/dolgu oranı; %10-%90, %15-%85, %20-%80 olarak tasarlanan polimer beton numuneleri için hesaplanan malzeme miktarları elektronik tartı cihazı ile tartımları yapılmıştır. Öncelikle plastik harç

teknesinde mikser aracılığı ile dolgu malzemesinin düşük devirde yaklaşık 2 dakika süre ile karıştırılması sağlanmıştır. Daha sonra epoksi reçine Çizelge 4.4'te verilen karışım dizaynında yer alan miktarlar kadar dolgu malzemesine ilave edilerek, her bir dolgu malzemesinin reçine tarafından tamamen ıslatıldığı görülene kadar orta devirde yaklaşık 5 dakika süre ile karıştırılma işlemine devam edilmiştir. Son olarak sertleştiricinin ilavesi gerçekleştirilmiştir. Tüm malzemeler katıldıktan sonra karışımın yüksek devirde yaklaşık 2 dakika süre ile karıştırılmasına devam edilmiştir. Bu arada masa tipi vibratör çalıştırılarak daha önce vibratöre yerleştirilmiş kalıplara, polimer beton dökümü en seri şekilde ve kalıba herhangi bir baskı uygulamadan gerçekleştirilmiştir. Kullanılan sertleştiricinin pota ömrü, 30 dakika olduğundan yaklaşık 15 dakika boyunca polimer betondaki hava kabarcıklarının çıkması ve betonun en iyi şekilde yerleşmesi amacıyla titreşim uygulanmıştır. Çıkan hava kabarcıkları gözlemlenerek bu işleme son verilmiştir.

Numuneler vibratörden alınarak sertleşmesinin tamamlanması için uygun bir yere yerleştirilmiştir. 1 gün sonra kalıptan çıkarılarak kirece doymun suyla dolu kür tankı içerisinde 28 gün bekletilerek, Eksenel Basınç Deneyi ve Donma - Çözülme Deneylerine tabii tutulmuştur.

Bu çalışmada, Eksenel Basınç Deneyi için her bir ayrı Reçine/Dolgu oranı için 3'er adet olmak üzere 9 numune, Donma - Çözülme Deneyi için ise her bir ayrı; Reçine/Dolgu oranı ve ayrı donma ile çözülme sıcaklıkları için 9'ar adet olmak üzere 27 numune ve toplamda 36 adet üretilen numunenin deneyleri yapılmıştır. Her deney için saf poliester reçineden oluşturulan birer tane kontrol numunesi hazırlanmış ve aynı koşullarda saklanarak tüm deneyler bu numunelere de uygulanmıştır. Çıkan sonuçların diğer numunelerle kıyaslanması amaçlanmıştır. Bunların dışında polimer betonun karışımı, dökümü, kalıptan çıkarılması, deneysel çalışmalar esnasında oluşacak hatalar da öngörülerek, yukarıda verilen sayıdan daha fazla numune üretilmiş ancak asıl değerlendirmeler ve deney sonuçları, yukarıda bahsedilen deney numuneleri sayıları üzerinden gerçekleştirilmiştir.



## 4.4 Eksenel Basınç Deneyi

### 4.4.1 Deney metodu

Taze betondan alınan silindir veya küp şekilli numunelerin belirli (standart gereği 28 günlük) yaştaki basınç dayanımı, kırılma yükünün basınç yüzeylerine bölünmesi ile hesaplanır (TS 3114,1978).

### 4.4.2 Aygıtlar ve yardımcı gereçler

**Deney Presi:** Standartta deney aleti ile ilgili kriterler şu şekilde sıralanmıştır. Kapasitesi deney numunelerini kırmaya yeterli olmalı ve kırılma yükünün en az %1'ini gösterecek duyarlılıkta olmalıdır. Yükleme devamlı olmalı, darbe etkili olmamalıdır. Yükleme hızı hidrolik çalışan preslerde; 1,5-3,5 kgf/cm<sup>2</sup> (0,15-0,35 N/mm<sup>2</sup>) , deformasyon kontrollü (sonsuz vidalı tip) preslerde; 1,3 mm/dak olmalıdır. Deney numunesinin yerleştirileceği kısım, yeterli genişlikte olmalıdır, denilmektedir. Deneylerde bu kriterler sağlanmıştır.

Çalışmada polimer beton deney numunelerinin eksenel basınç deneyleri TS 3114'e uygun olarak Amsler marka basınç presinde sabit hızda basınç testine tabii tutulmuştur.

## 4.5 Donma - Çözülme Deneyi

### 4.5.1 Deney metodu

Çabuk donma ve çözülme deneyi, çözülme sıcaklığından donma sıcaklığına ve tekrar çözülme sıcaklığına geçişin, en az iki en çok dört saatte gerçekleştiği deneydir (TS 3449 1980).

### 4.5.2 Aygıtlar ve yardımcı gereçler

**(a) Donma - Çözülme Aleti:** En az 15 beton deney numunesine çabuk donma - çözülme için gerekli şartları sağlayacak kapasitede olmalıdır (TS 3449 1980).

**(b) Sıcaklık Denetim Araçları:** Numune hücresi veya donma - çözülme aleti içindeki numunelerin bulunduğu bölümdeki sıcaklığı dışarıdan +10 °C duyarlı okumak için alete veya numuneye veya hücrelere monte edilen termometrelerdir (TS 3449 1980).

**(c) Teraziler:** Deney numunesi ağırlığından yaklaşık %50 daha büyük çekerli ve çekerinin % 0,1'ine duyarlılıkta bir terazidir (TS 3449 1980).

Çalışmada hazırlanan polimer beton deney numuneleri donma - çözülme deneyine başlamadan önce değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde  $110 \pm 5$  °C'de kurutuldu. Etüvden çıkarılıp oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra elektronik terazide tartılarak ilk ağırlıkları ( $W_0$ ) tespit edildi. Daha sonra, deney numuneleri donma - çözülme aletinin hücrelerine yerleştirildi. Numuneler hücrelere yerleştirilmeden önce, hücrelerin içi temiz su ile yıkandı ve içerisine numuneleri 3 mm örtecek miktarda su ile örtüldü.

Suda donma - çözülme aşamaları süreleri;

- Çözülme sıcaklığındaki numuneler, donma sıcaklığına en az 90, en çok 180 dakikada erişebilmelidir.
- Donma sıcaklığındaki numuneler çözülme sıcaklığına en az 30, en çok 60 dakikada erişebilmelidir.
- Çözülme süresi donma süresinin en az %25'i kadar olmalıdır (TS 3449 1980).

TS 3449'da belirtilen süreler dikkate alınarak donma süresi 120 dakika, çözülme süresi 30 dakika alınarak polimer beton numunelere suda donma - çözülme deneyi uygulandı. Donma sıcaklığının  $-10$  °C,  $-20$  °C ve kullanılan polyester reçinenin bileşeni olan monomerin donma sıcaklığı olan  $-30$  °C , çözülme sıcaklığının ise  $+5$  °C olduğu toplam 2'şer saatlik 30 çevrim yapıldı. Numunelere donma çözülme aşamaları birbirini izleyerek uygulandı. Bu şekilde uygulanan 30 çevrim sonunda donma çözülme aletinden çıkartılan numuneler 24 saat  $110 \pm 5$  °C sıcaklıktaki etüvde değişmez sıcaklığa gelinceye kadar kurutulduktan sonra ağırlıkları ( $W_n$ ) elektronik terazi ile tespit edildi. Deneye başlamadan önce tespit edilen ağırlıkları da kullanılarak numunelerde meydana gelen kütle kaybı ile bozulma olup olmadığı tespit edildi. Kütle azalması  $AF_w$  (ağırlık kaybı faktörü) olarak aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$AF_w = [1 - (W_n/W_0)] \times 100 (\%)$$

Burada;

$AF_w$  : Ağırlık kaybı faktörü (%)

$W_n$  : Numunenin deney sonrası ağırlığı (g)

$W_0$  : Numunenin deney öncesi ağırlığı (g)

olarak verilmektedir.

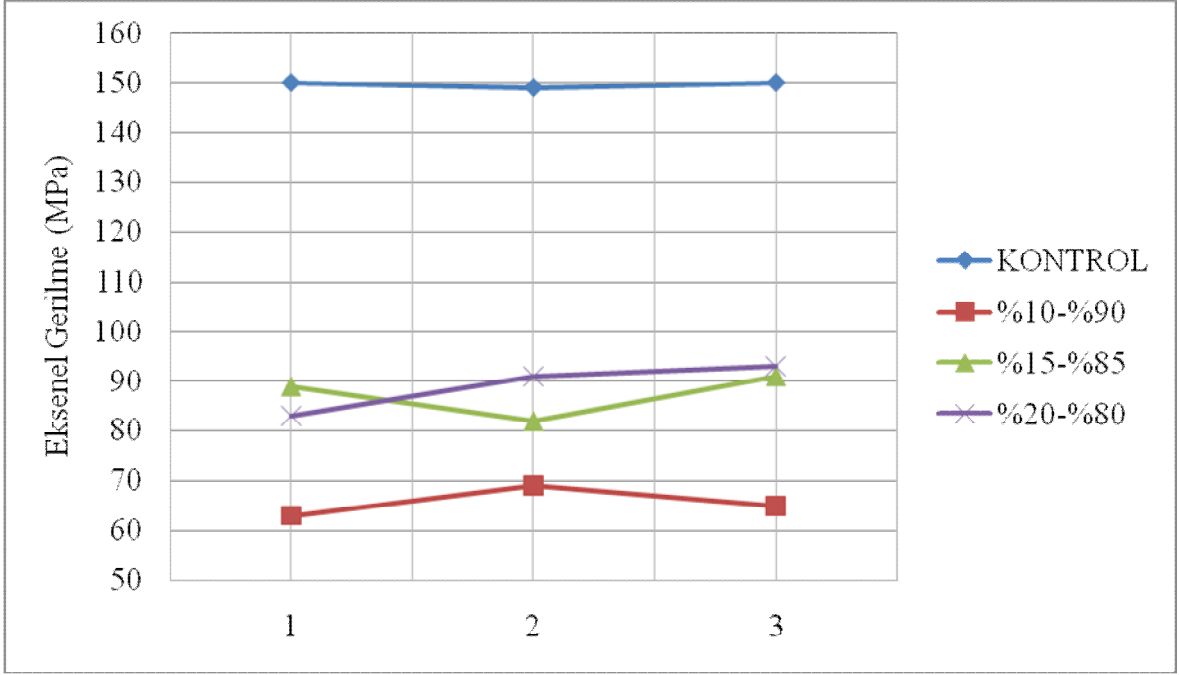
## 5. ARAŞTIRMA BUGULARI VE TARTIŞMA

### 5.1 Eksenel Basınç Deney Sonuçları

Bölüm 4.2’de karışım dizaynı verilen ve üretimi yapılan polimer beton numunelerinden her bir karışım oranı için 3’er adedi eksenel basınç deneyine tabii tutulmuştur. Deneylere ait eksenel basınç kuvvet değerleri (kN) ile bu değerlerin numune alanına oranından elde edilen gerilme değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen gerilme değerlerine ait toplu sonuçlar Çizelge 5.1’de ve Şekil 5.1’de verilmektedir.

**Çizelge 5.1.** Polimer Beton Numunelerinin 28 Günlük Eksenel Basınç Deney Sonuçları

| Numune No | Reçine/Dolgu Oranı | Gerilme (MPa) | Ortalama Gerilme (MPa) |
|-----------|--------------------|---------------|------------------------|
| KONT1     | %100               | 150           | 149,67                 |
| KONT2     |                    | 149           |                        |
| KONT3     |                    | 150           |                        |
| EB1       | %10-%90            | 63            | 65,67                  |
| EB2       |                    | 69            |                        |
| EB3       |                    | 65            |                        |
| EB4       | %15-%85            | 89            | 87,33                  |
| EB5       |                    | 82            |                        |
| EB6       |                    | 91            |                        |
| EB7       | %20-%80            | 83            | 89,00                  |
| EB8       |                    | 91            |                        |
| EB9       |                    | 93            |                        |



**Şekil 5.1.** Polimer Beton Numunelerin 28 Günlük Eksenel Basınç Dayanımları

## 5.2 Donma - Çözülme Deney Sonuçları

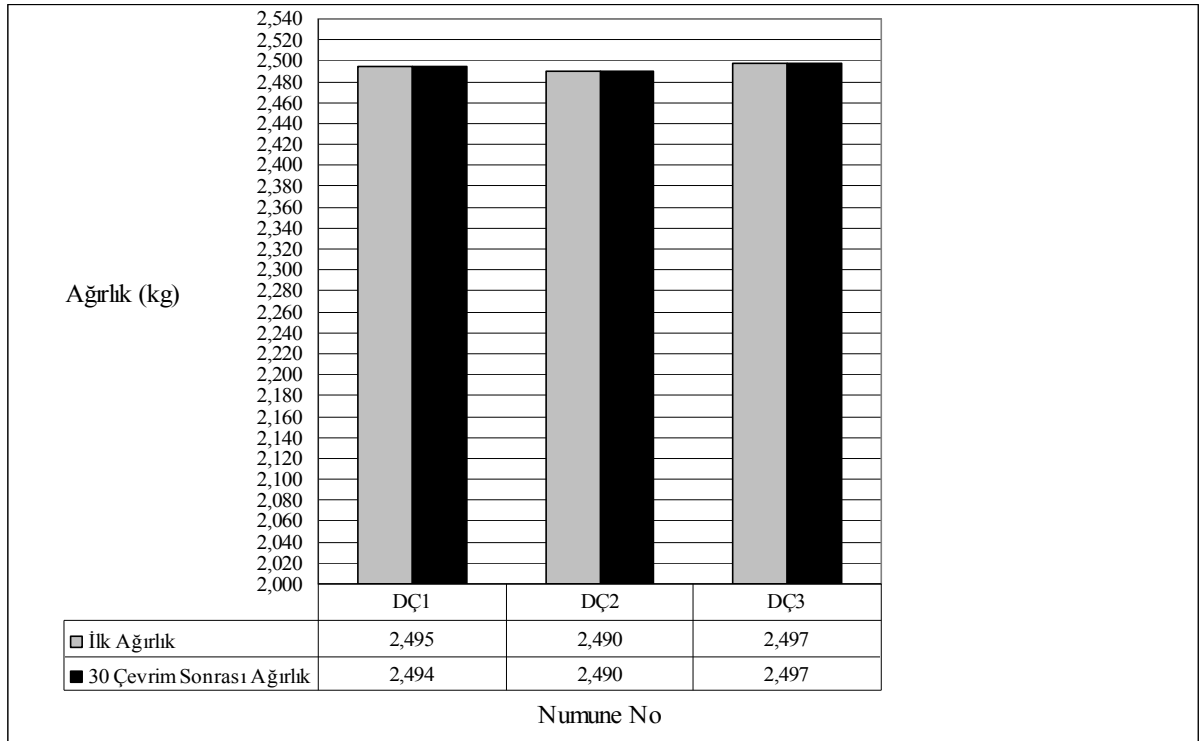
Bölüm 4.2’de karışım dizaynı verilen ve üretimi yapılan polimer beton numunelerinden her bir karışım oranı için, 9’ar adet ve her bir donma sıcaklığı için 3’er adet kontrol numunesi olmak üzere, toplam 27 adedi donma - çözülme deneyine tabii tutulmuştur.

**Çizelge 5.2.** Polimer Beton Numunelere Ait Donma - Çözülme Sıcaklıkları

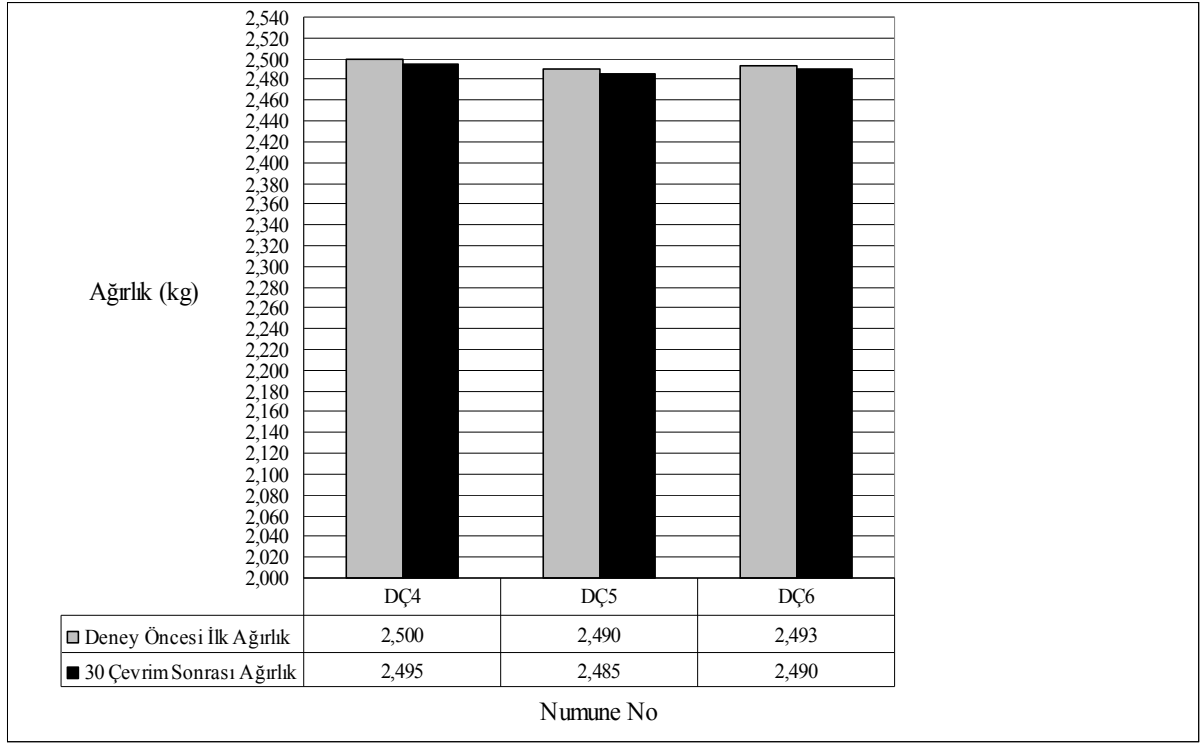
| Numune No | Reçine/Dolgu Oranı | Donma Sıcaklığı | Çözülme Sıcaklığı | Çevrim    |
|-----------|--------------------|-----------------|-------------------|-----------|
| KONT1     | %100               | -10 °C          | 5 °C              | 30 Çevrim |
| KONT2     |                    |                 |                   |           |
| KONT3     |                    |                 |                   |           |
| KONT4     |                    | -20 °C          |                   |           |
| KONT5     |                    |                 |                   |           |
| KONT6     |                    |                 |                   |           |
| KONT7     |                    | -30 °C          |                   |           |
| KONT8     |                    |                 |                   |           |
| KONT9     |                    |                 |                   |           |
| DÇ1       | %10-%90            | -10 °C          | 5 °C              | 30 Çevrim |
| DÇ2       |                    |                 |                   |           |
| DÇ3       |                    |                 |                   |           |
| DÇ10      | %15-%85            |                 |                   |           |
| DÇ11      |                    |                 |                   |           |
| DÇ12      |                    |                 |                   |           |
| DÇ19      | %20-%80            |                 |                   |           |
| DÇ20      |                    |                 |                   |           |
| DÇ21      |                    |                 |                   |           |
| DÇ4       | %10-%90            | -20 °C          | 5 °C              | 30 Çevrim |
| DÇ5       |                    |                 |                   |           |
| DÇ6       |                    |                 |                   |           |
| DÇ13      | %15-%85            |                 |                   |           |
| DÇ14      |                    |                 |                   |           |
| DÇ15      |                    |                 |                   |           |
| DÇ22      | %20-%80            |                 |                   |           |
| DÇ23      |                    |                 |                   |           |
| DÇ24      |                    |                 |                   |           |
| DÇ7       | %10-%90            | -30 °C          | 5 °C              | 30 Çevrim |
| DÇ8       |                    |                 |                   |           |
| DÇ9       |                    |                 |                   |           |
| DÇ16      | %15-%85            |                 |                   |           |
| DÇ17      |                    |                 |                   |           |
| DÇ18      |                    |                 |                   |           |
| DÇ25      | %20-%80            |                 |                   |           |
| DÇ26      |                    |                 |                   |           |
| DÇ27      |                    |                 |                   |           |

**Çizelge 5.3.** Reçine-Dolgu Oranı %10-%90 Olan Numunelerin 30 Çevrimlik Donma - Çözülme Deney Sonuçları

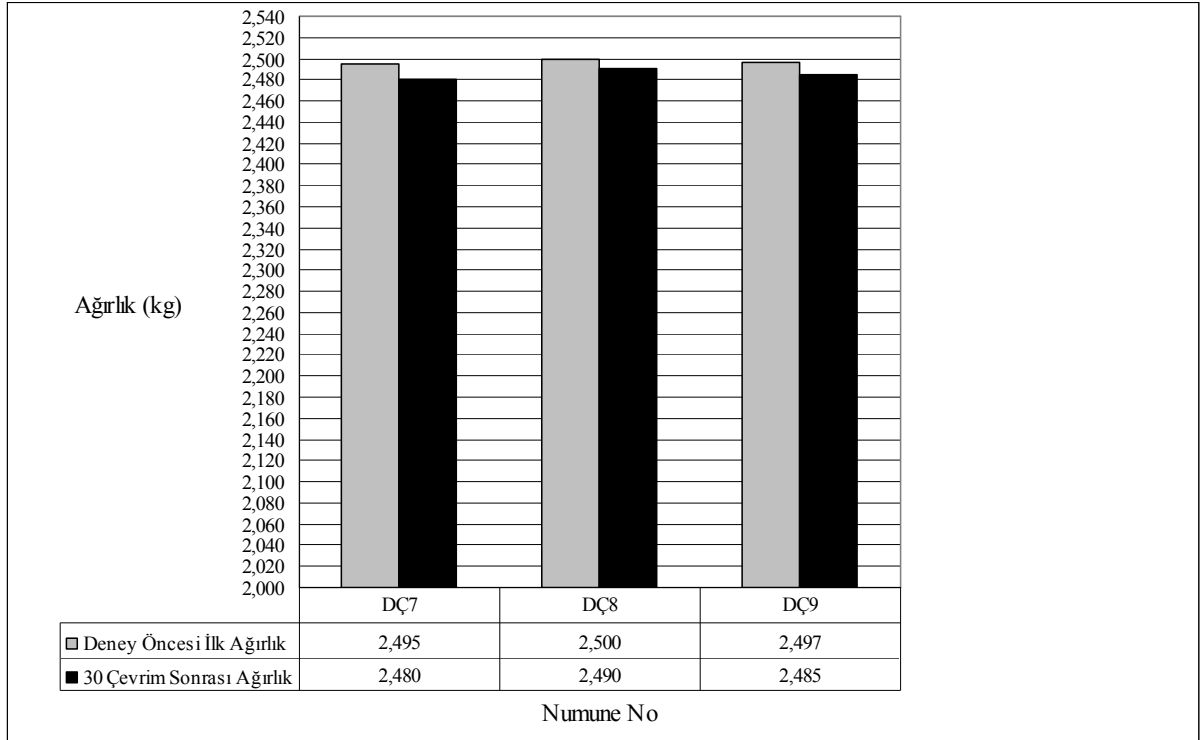
| Numune No | İlk Ağırlık (kg) | 30 Çevrim Donma - Çözülme |       | Kayıp (%) |
|-----------|------------------|---------------------------|-------|-----------|
|           |                  | Sonrası Ağırlık (kg)      |       |           |
| DÇ1       | 2,495            | (-10 °C +5 °C)            | 2,494 | 0,04      |
| DÇ2       | 2,490            |                           | 2,490 | 0,00      |
| DÇ3       | 2,497            |                           | 2,497 | 0,00      |
| DÇ4       | 2,500            | (-20 °C +5 °C)            | 2,495 | 0,20      |
| DÇ5       | 2,490            |                           | 2,485 | 0,20      |
| DÇ6       | 2,493            |                           | 2,490 | 0,12      |
| DÇ7       | 2,495            | (-30 °C +5 °C)            | 2,480 | 0,60      |
| DÇ8       | 2,500            |                           | 2,490 | 0,40      |
| DÇ9       | 2,497            |                           | 2,485 | 0,48      |



**Şekil 5.2.** Reçine-Dolgu Oranı %10-%90 Olan Numunelerin -10 °C'de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları



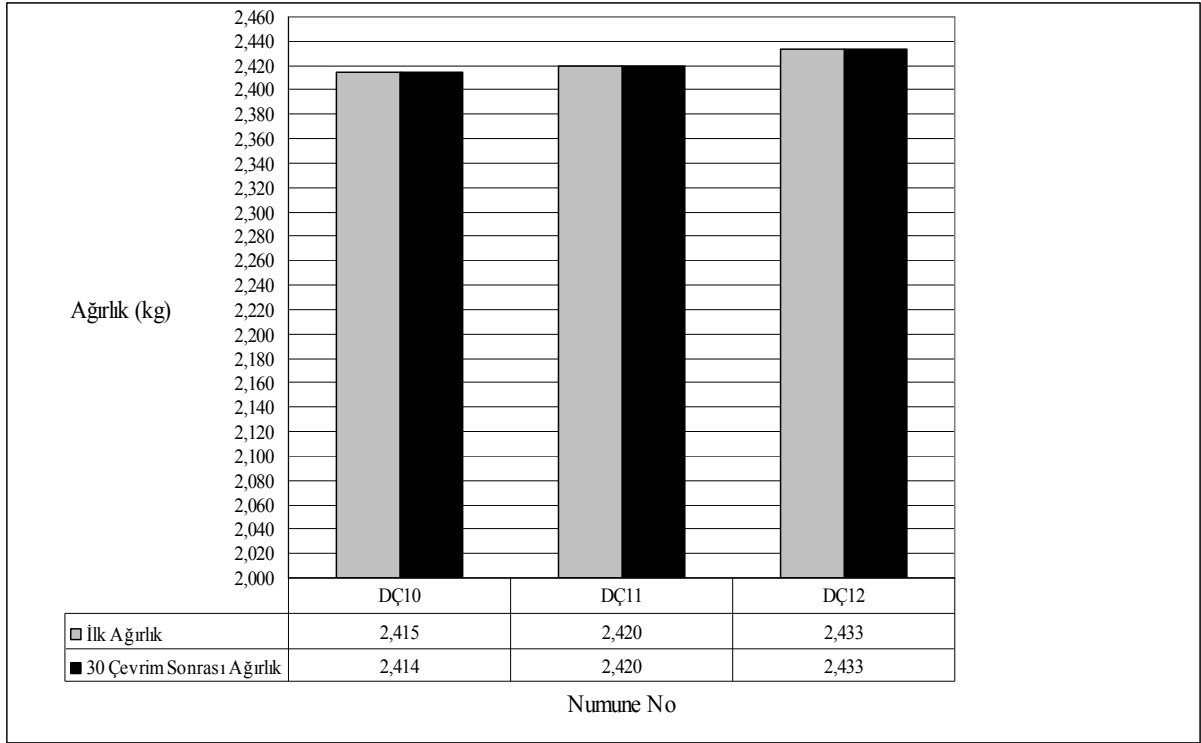
**Şekil 5.3.** Reçine-Dolgu Oranı %10-%90 Olan Numunelerin -20 °C’de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları



**Şekil 5.4.** Reçine-Dolgu Oranı %10-%90 Olan Numunelerin -30 °C’de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları

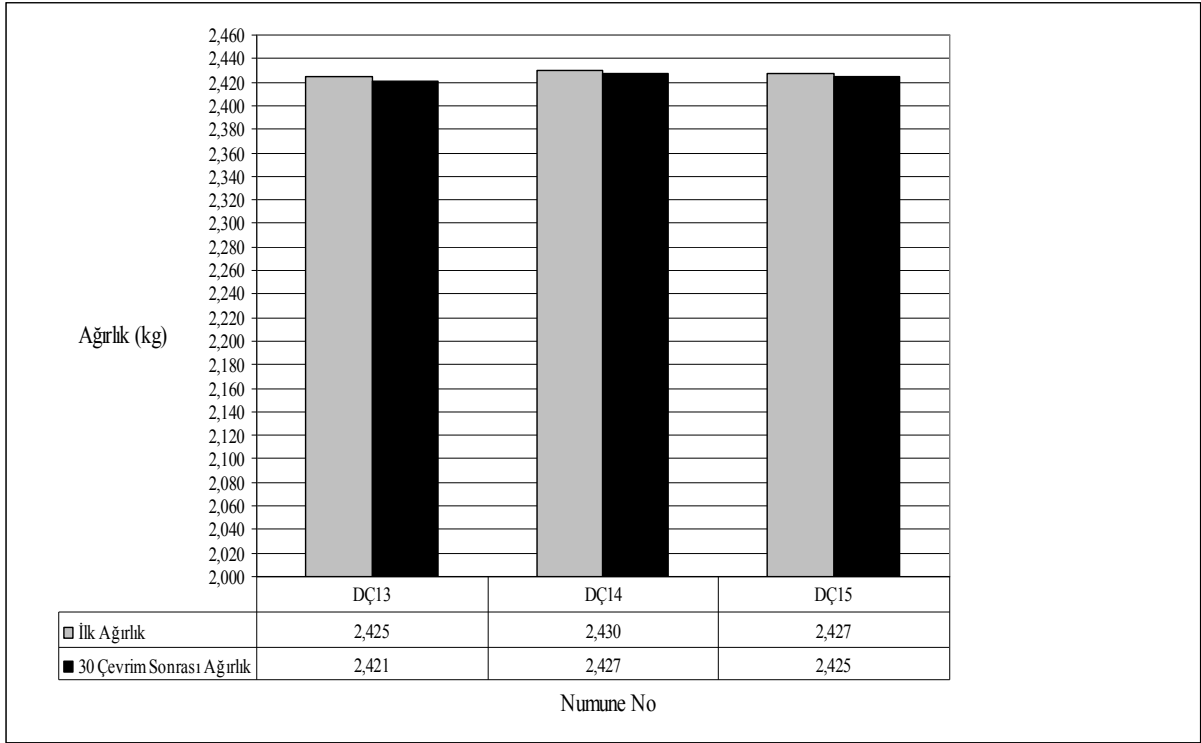
**Çizelge 5.4.** Reçine-Dolgu Oranı %15-%85 Olan Numunelerin 30 Çevrimlik Donma - Çözülme Deney Sonuçları

| Numune No | İlk Ağırlık (kg) | 30 Çevrim Donma - Çözülme |       | Kayıp (%) |
|-----------|------------------|---------------------------|-------|-----------|
|           |                  | Sonrası Ağırlık (kg)      |       |           |
| DÇ10      | 2,415            | (-10 °C +5 °C)            | 2,414 | 0,04      |
| DÇ11      | 2,420            |                           | 2,420 | 0,00      |
| DÇ12      | 2,433            |                           | 2,433 | 0,00      |
| DÇ13      | 2,425            | (-20 °C +5 °C)            | 2,421 | 0,16      |
| DÇ14      | 2,430            |                           | 2,427 | 0,12      |
| DÇ15      | 2,427            |                           | 2,425 | 0,08      |
| DÇ16      | 2,420            | (-30 °C +5 °C)            | 2,410 | 0,41      |
| DÇ17      | 2,410            |                           | 2,395 | 0,62      |
| DÇ18      | 2,435            |                           | 2,430 | 0,21      |

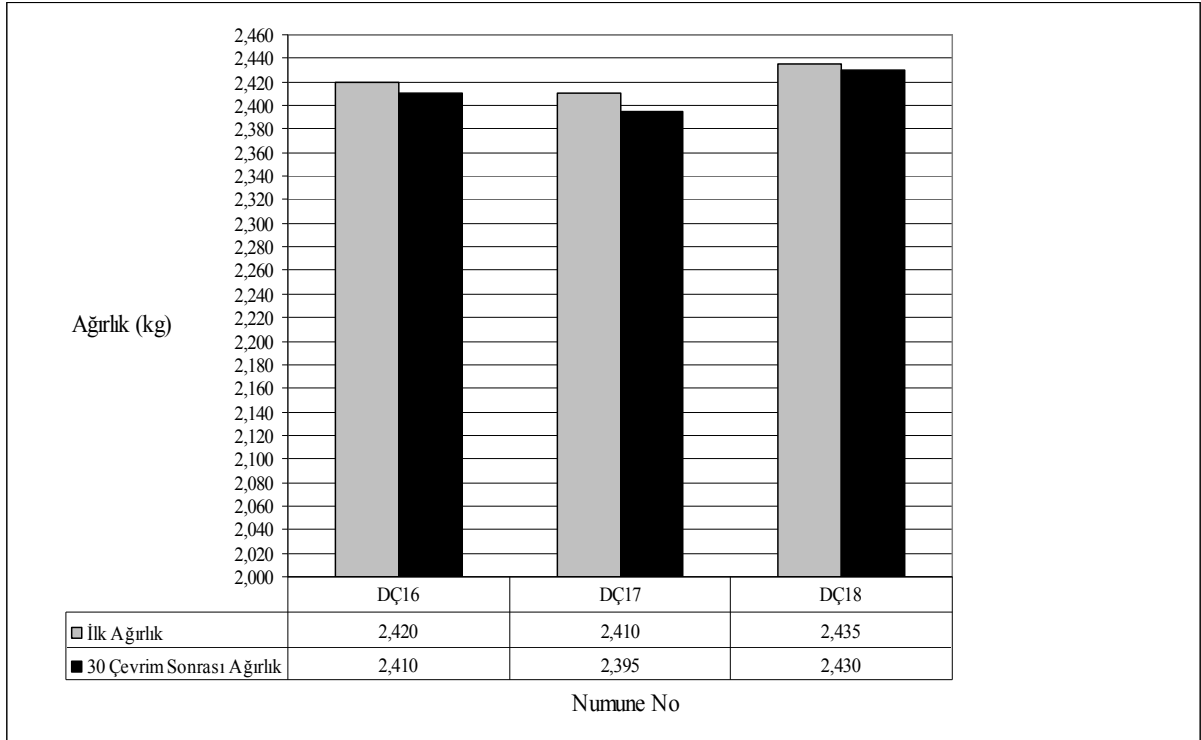


**Şekil 5.5.** Reçine-Dolgu Oranı %15-%85 Olan Numunelerin -10 °C'de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları





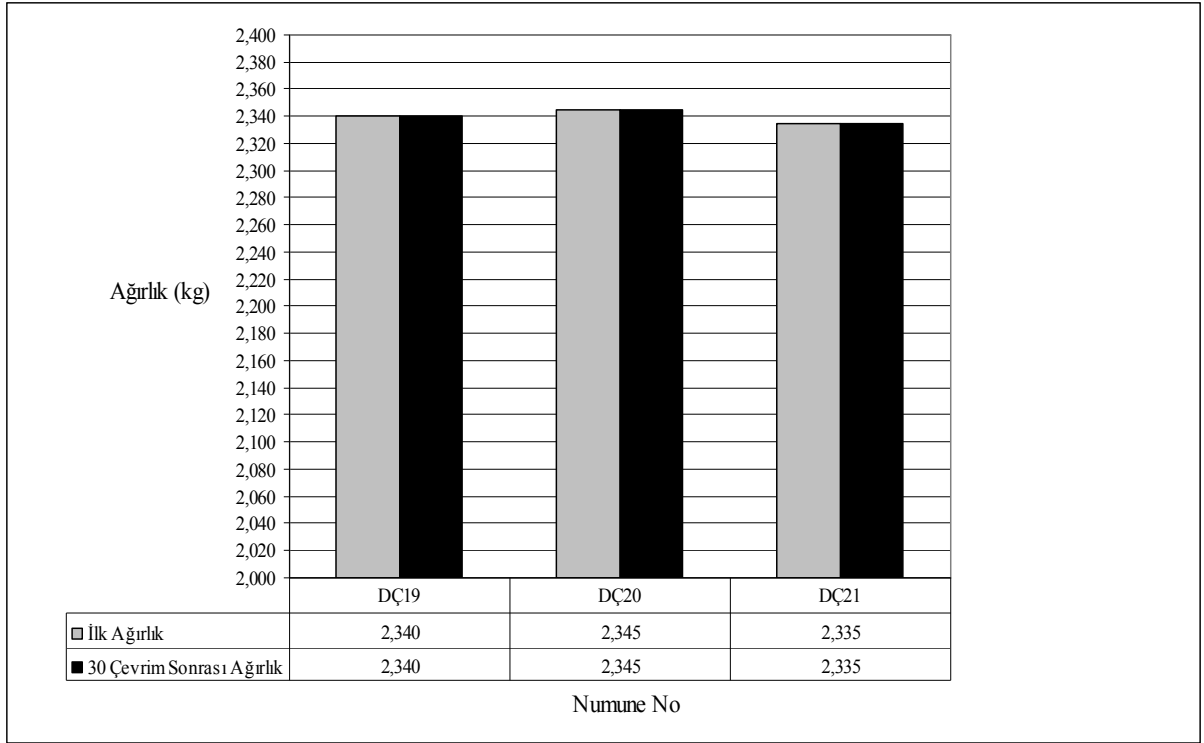
**Şekil 5.6.** Reçine-Dolgu Oranı %15-%85 Olan Numunelerin -20 °C’de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları



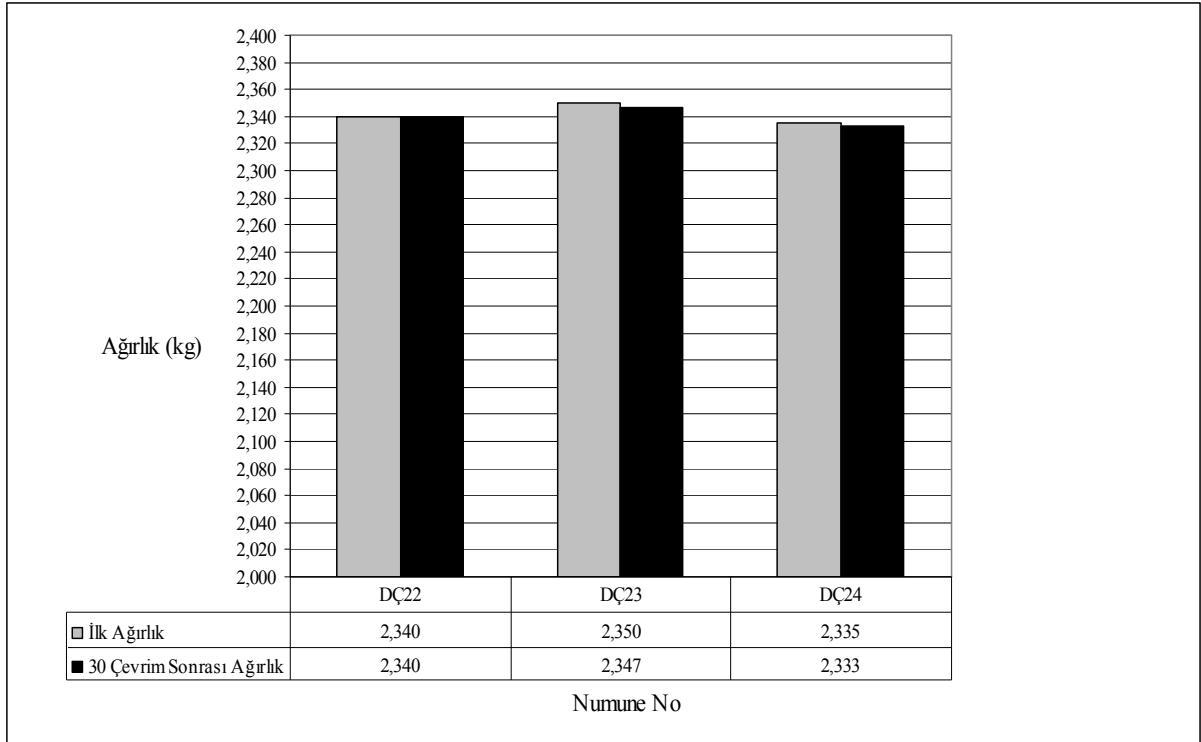
**Şekil 5.7.** Reçine-Dolgu Oranı %15-%85 Olan Numunelerin -30 °C’de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları

**Çizelge 5.5.** Reçine-Dolgu Oranı %20-%80 Olan Numunelerin 30 Çevrimlik Donma - Çözülme Deney Sonuçları

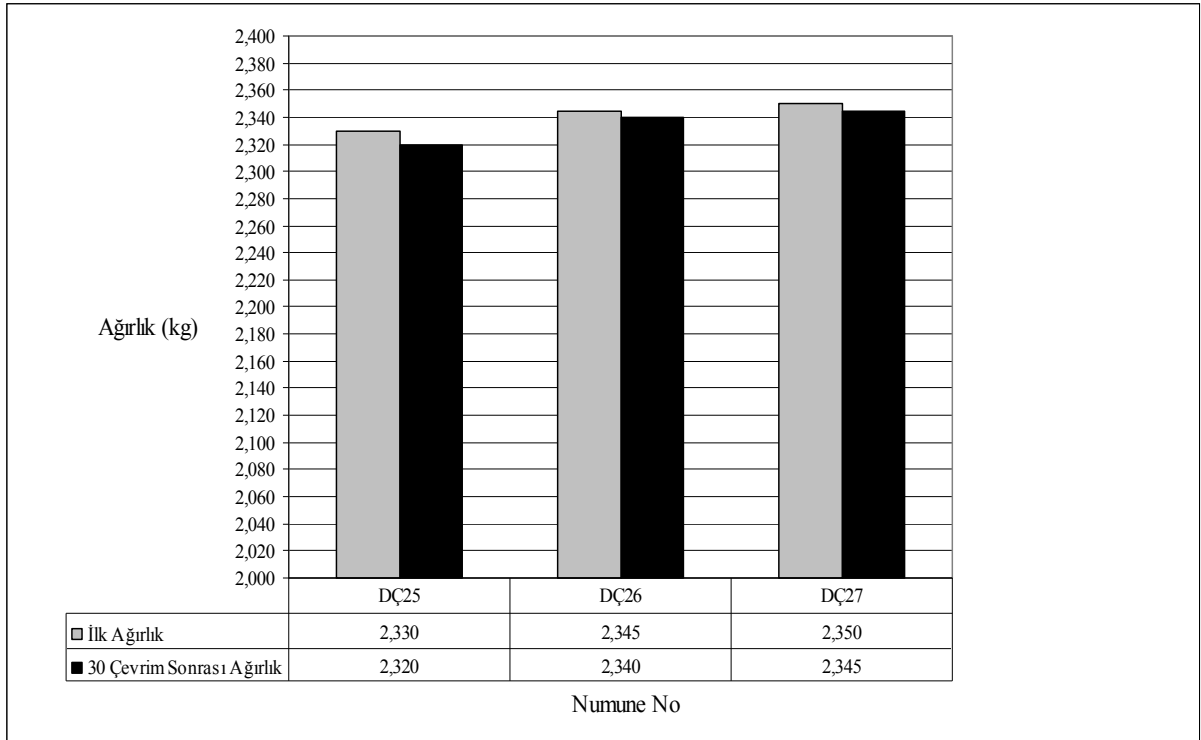
| Numune No | İlk Ağırlık (kg) | 30 Çevrim Donma - Çözülme |       | Kayıp (%) |
|-----------|------------------|---------------------------|-------|-----------|
|           |                  | Sonrası Ağırlık (kg)      |       |           |
| DÇ19      | 2,340            | (-10 °C +5 °C)            | 2,340 | 0,00      |
| DÇ20      | 2,345            |                           | 2,345 | 0,00      |
| DÇ21      | 2,335            |                           | 2,335 | 0,00      |
| DÇ22      | 2,340            | (-20 °C +5 °C)            | 2,340 | 0,00      |
| DÇ23      | 2,350            |                           | 2,347 | 0,13      |
| DÇ24      | 2,335            |                           | 2,333 | 0,08      |
| DÇ25      | 2,330            | (-30 °C +5 °C)            | 2,320 | 0,43      |
| DÇ26      | 2,345            |                           | 2,340 | 0,21      |
| DÇ27      | 2,350            |                           | 2,345 | 0,21      |



**Şekil 5.8.** Reçine-Dolgu Oranı %20-%80 Olan Numunelerin -10 °C’de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları



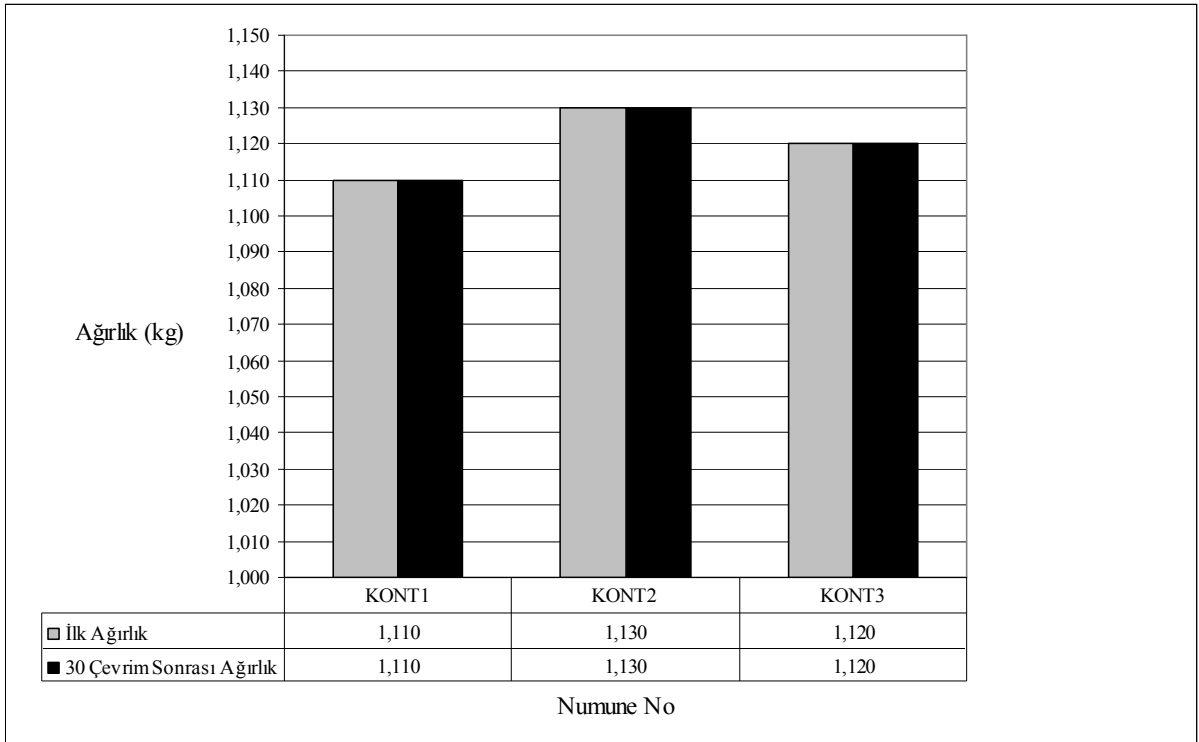
**Şekil 5.9.** Reçine-Dolgu Oranı %20-%80 Olan Numunelerin -20 °C’de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları



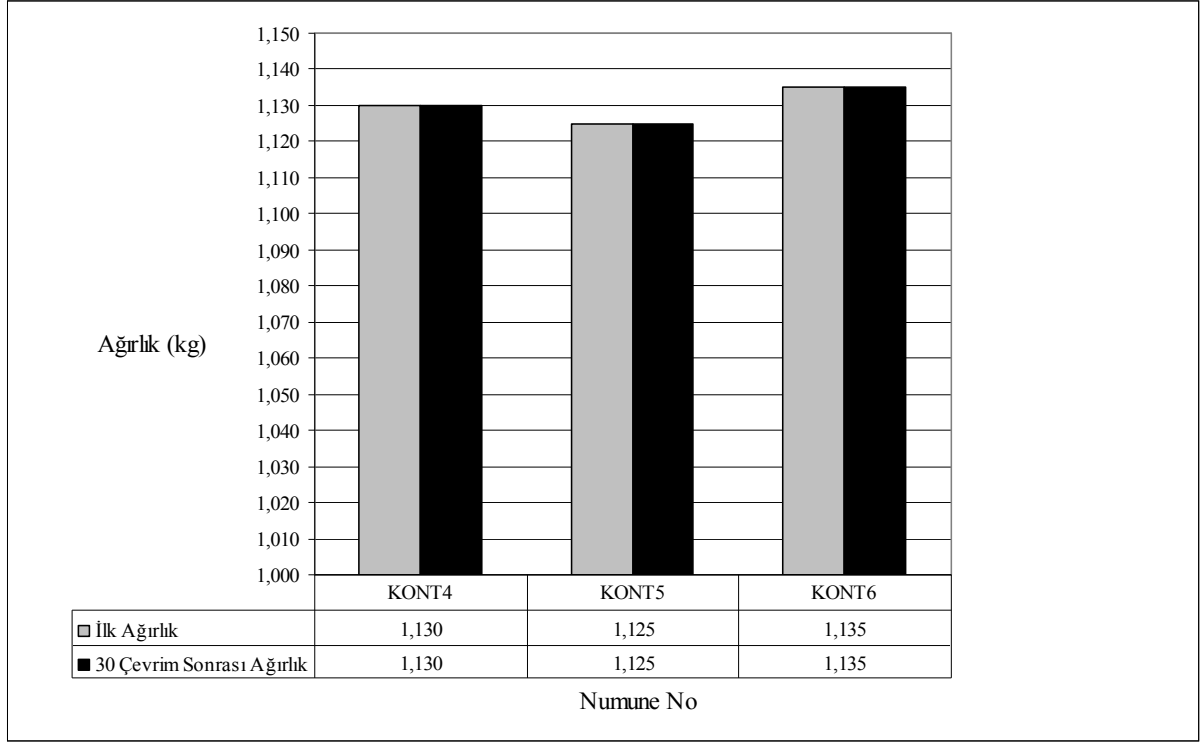
**Şekil 5.10.** Reçine-Dolgu Oranı %20-%80 Olan Numunelerin -30 °C’de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları

**Çizelge 5.6.** Kontrol Numunelerinin 30 Çevrimlik Donma - Çözülme Deney Sonuçları

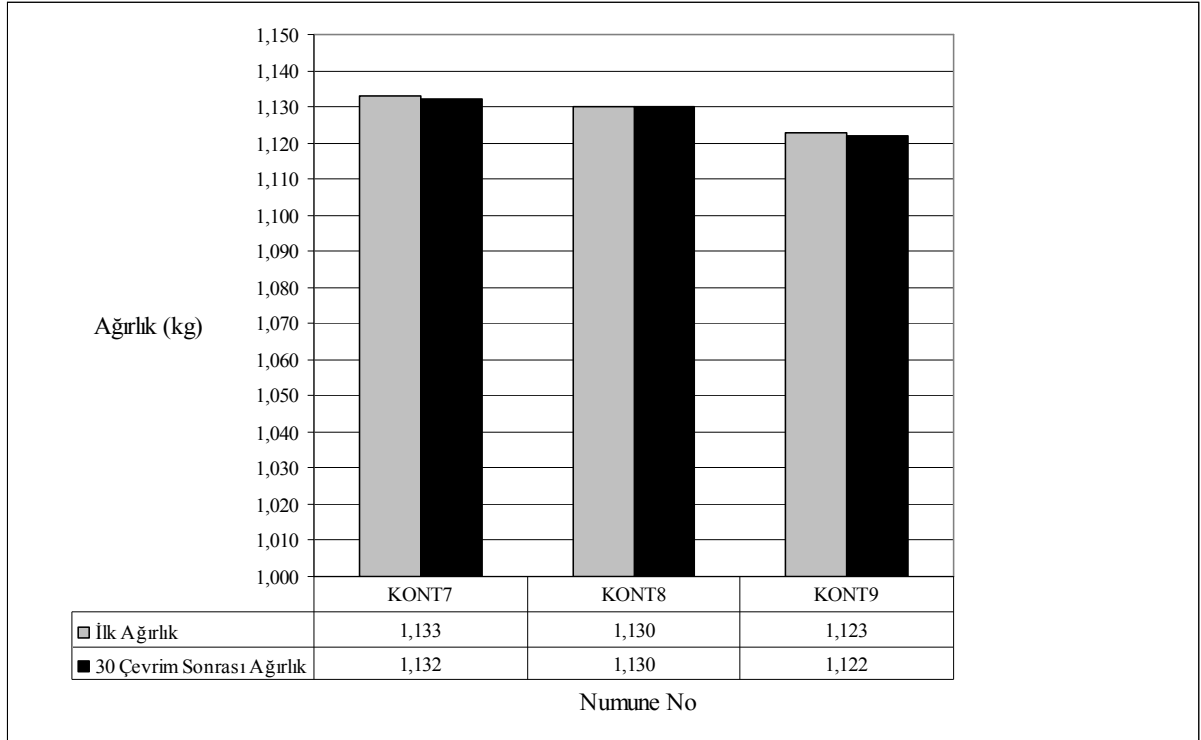
| Numune No | İlk Ağırlık (kg) | 30 Çevrim Donma - Çözülme |       | Kayıp (%) |
|-----------|------------------|---------------------------|-------|-----------|
|           |                  | Sonrası Ağırlık (kg)      |       |           |
| KONT1     | 1,110            | (-10 °C +5 °C)            | 1,110 | 0,00      |
| KONT2     | 1,130            |                           | 1,130 | 0,00      |
| KONT3     | 1,120            |                           | 1,120 | 0,00      |
| KONT4     | 1,130            | (-20 °C +5 °C)            | 1,130 | 0,00      |
| KONT5     | 1,125            |                           | 1,125 | 0,00      |
| KONT6     | 1,135            |                           | 1,135 | 0,00      |
| KONT7     | 1,133            | (-30 °C +5 °C)            | 1,132 | 0,08      |
| KONT8     | 1,130            |                           | 1,130 | 0,00      |
| KONT9     | 1,123            |                           | 1,122 | 0,08      |



**Şekil 5.11.** Kontrol Numunelerinin -10 °C’de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları



**Şekil 5.12.** Kontrol Numunelerinin -20 °C’de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları



**Şekil 5.13.** Kontrol Numunelerinin -30 °C’de Donma - Çözülme Deneyi Öncesi ve Sonrası Ağırlık Dağılımları

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Beton, günümüzün en önemli ve en çok kullanım alanı olan yapı malzemesidir. Deprem kuşağında yer alan ülkemiz için bu kadar önemli ve gelişmekte olan ülkelerin bel kemiği olan inşaat sektörünün en çok kullanılan yapı malzemesi olan betonun, dayanımının ve durabilitesinin çok iyi olması gerekmektedir. Polimer betonlar da kullanım alanı bulan yapı malzemesidir. Yeni teknolojik bir malzeme olarak yüksek dayanım ve dayanıklılık özelliği nedeniyle cazibesinin her geçen gün arttığı bir gerçektir. Bu nedenle özelliklerinin bilinmesi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada “Polimerli Betonların Donma - Çözülme Etkisine Dayanıklılığı”nın incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla halihazırda piyasada satışı bulunan bağlayıcı olarak doymamış poliestere reçinesi, dolgu malzemesi olarak da kuvars kumu kullanılarak reçine/dolgu oranları %10-%90, %15-%85, %20-%80 olan 3 seri polimerli beton deney numuneleri ve kuvars kumu kullanılmadan poliestere reçinesinden hazırlanmış kontrol numuneleri üretilmiştir. Bu numunelere Eksenel Basınç ve Donma - Çözülme Deneyleri uygulanmıştır.

Beton kompozitlerinde aranan en önemli özelliklerden biri basınç dayanımıdır. Bu nedenle hazırlanan polimer beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları incelenmiştir. Eksenel Basınç Deneyi sonucunda;

1. Reçine-Dolgu oranı %10-%90 olan numunelerin ortalama basınç dayanımı 65,67 MPa, Reçine-Dolgu oranı %15-%85 olan numunelerin ortalama basınç dayanımı 87,33 MPa, Reçine-Dolgu oranı %20-%80 olan numunelerin ortalama basınç dayanımı 89,00 MPa ve kontrol numunelerinin ortalama basınç dayanımı ise 149,67 MPa olarak bulunmuştur.

2. En yüksek basınç dayanımının KONT1 ve KONT2 numaralı kontrol numunelerinde 150 MPa olarak elde edilmiştir.

Betonların diğer bir karakteristik özelliği ise hava koşullarında davranışdır. Hava koşullarının polimer betonlar üzerindeki etkisini araştırılması ve donma – çözülme dayanıklılığının incelenmesi amacıyla, üretilen numunelere 30 çevrimlik donma - çözülme deneyi yapılmıştır. Donma -çözülme deneyi sonucunda;

1. Numunelerin ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. En fazla ağırlık kaybının %0,62 oranı ile Reçine-Dolgu oranı %15-%85 olan DÇ17 numaralı numunede donma sıcaklığının  $-30^{\circ}\text{C}$ , çözülme sıcaklığı  $+5^{\circ}\text{C}$  olduğu çevrim sonrasında olduğu gözlemlenmiştir.

2. Hiçbir numunede fiziksel bozulma, pullanma ve çatlama gözlemlenmemiştir.

Bu deneysel sonuçlar irdelendiğinde;

1. Polimer betonda reçine yani polimer oranının artmasıyla beton mukavemetinde artış olduğu tespit edilmiştir. Her bir grup kendi arasında değerlendirilip birbirleriyle karşılaştırıldığında Reçine-Dolgu oranının artmasıyla eksenel basınç dayanımlarında azalan bir artış olduğu tespit edilmiştir. Reçine-Dolgu oranı %15-%85 olan numunelerin ortalama eksenel basınç dayanımlarının Reçine-Dolgu oranı %10-%90 olan numunelerin ortalama eksenel basınç dayanımlarına oranı 1,33 iken, Reçine-Dolgu oranı %20-%80 olan numunelerin ortalama eksenel basınç dayanımlarının Reçine-Dolgu oranı %15-%85 olan numunelerin ortalama eksenel basınç dayanımlarına oranı 1,02 olarak bulunmuştur.

2. Her ne kadar kontrol numuneleri eksenel basınç deneyinde en yüksek basınç dayanımını göstermiş, donma – çözülme deneyinde ise en dayanıklı numune olarak tespit edilmiş olsa da maliyetinin yüksek olması nedeniyle özel imalatlar dışında kullanılmayacağı değerlendirilmiştir.

3. Polimer betonların üretimi esnasında hiç su kullanılmaması nedeniyle rötre çatlakları oluşmamaktadır. Bu özelliğin sonucunda polimer betonlar, dona ve kimyasal etkilere dayanıklı malzemelerdir.

4. En fazla ağırlık kaybının donma sıcaklığının  $-30^{\circ}\text{C}$ , çözülme sıcaklığı  $+5^{\circ}\text{C}$  olan donma – çözülme çevriminde elde edilmesinin kullanılan polyester reçinenin bileşeni olan monomerin donma sıcaklığının  $-30^{\circ}\text{C}$  olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

5. Reçine/dolgu oranının artmasıyla polimer betonun donma - çözülme etkisine dayanıklılığının orantılı olarak arttığı kaydedilmiştir.

6. Bağlayıcı malzeme olarak çimentonun kullanıldığı betonların literatür araştırması sonucu tespit edilen basınç dayanımları ve donma - çözülme etkisine dayanımları göz önünde bulundurulduğunda, polimer betonların her iki özelliğinin de kıyaslanamayacak kadar üstün özellik gösterdiği tespit edilmiştir.

7. Deprem kuşağında bulunan ülkemiz için polimer betonun yüksek basınç dayanımından, kışların çok yoğun yaşandığı bölgelerimiz içinse polimer betonun donma - çözülme etkisine karşı yüksek dayanıklılığından faydalanılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir.

8. Polimer beton ile imento betonunun maliyet analizlerinin yapılarak kıyaslanmasının yapılması ileride yapılabilecek çalışmalar olarak önerilebilir.



## 7. KAYNAKLAR

- ACI (1973). Polymer in Concrete. American Concrete Institute Committee Report, Detroit.
- Akkovalı G (1993). Polimer Ders Notları. ODTÜ, Ankara.
- Akkurt S (1991). Plastik Malzeme Bilgisi. İTÜ Mak.Fak.Birsen Kitabevi, 552 s, İstanbul.
- Akman MS (1987). Yapı Malzemeleri. İTÜ İnşaat Fakültesi Ders Notları, 121 s, İstanbul.
- Akman MS (1991). Beton Niteliğini Yükseltmek Amacı ile Polimerlerin Kullanılması. II.Ulusal Beton Kongresi, 312-324
- Ateş E (1994). Epoksi Polimer Betonun Makine Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Bal H (1998). Bazı Polimerlerin Harç ve Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Başçavuşoğlu E (2001). Hasarlı Yapıların Onarımında ve Güçlendirilmesinde Polimer Betonların Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bueche F (1962). Physical Properties of Polymers. W.Interscience, 354 p, ABD.
- Capuano TD (1987). Polymer Concrete:An Engineering Material with an Identity Problem. Machine Design, 59:133-135
- Demircan Sağlayan S (1999). Polimer Bağlayıcıli Prepakt Agregalı Betonların Mekaniksel ve Ekonomik Yönden İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Dikeou JT, Fowler DW (1981). Polymer Concrete Uses. Materials and Properties,ACI, Detroit.
- Fowler DW (1999). Polymers in Concrete:A Vision for the 21st Century. Cement and Concrete Research, 21:449-452
- Gönen T, Yazıcıoğlu S, Demirel B (2007). Mineral Katkıların Donma-Çözülme Sonrası Betonun Bazı Özelliklerine Etkisi. TCMB 3rd International Sempodium, 757-767, İstanbul.
- Neville AM (2000). Properties of Concrete. 4<sup>th</sup> Edition, Pearson Education, 844 p, England.
- Onaran K (1986). Malzeme Bilimi. İTÜ, Çağlayan Kitabevi, 319 s, İstanbul.
- Orak S, Karademir Ş (1997). Poliester Reçineli Betonun Sönüm Yeteneği Üzerine Bir Araştırma. Tübitak, 323-327, Eskişehir.
- Pişkin E (1987). Polimer Teknolojisine Giriş. Hacettepe Üniv.Kimya Müh.Böl., İnkılap Kitabevi Yayını, İstanbul.

Polimer (2009). Polimerler, [www.polimernedir.com/polimer-nedir-2/#gundelikpolimerler](http://www.polimernedir.com/polimer-nedir-2/#gundelikpolimerler) (Erişim Tarihi, 04.01.2009).

Poliya Poliester A.Ş. (2009). Polimerler, [www.poliya.com.tr](http://www.poliya.com.tr) (Erişim Tarihi, 07.01.2009).

Sakin R, Ay İ, Yaman R (2008). An Investigation of Bending Fatigue Behavior for Glass-Fiber Reinforced Polyester Composites Materials. *Materials and Design*, 29: 212-217.

Saylan S (1991). Takım Tezgahtı Gövdelerinin İmalinde Yeni Bir Malzeme:Polimer Beton. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

Sidney R, Young J F (1981). *Concrete*, Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs, 671 p, New Jersey.

Sun W, Zhang YM, Yan HD, Mu R and Yan A (1999). Damage and Its Restraint of Concrete with Different Strength Grades under Double Damage Factors. *Cement and Concrete Composites*, 21:439-442.

Sun W, Zhang YM, Yan HD and Mu R (1999). Damage and Damage Resistance of High Strength Concrete Under the Action of Load and Freeze-Thaw Cycles. *Cement and Concrete Research*, 29:1519-1523.

Şengül Ö, Taşdemir C, Koruç Ş, Sönmez R (2003). Agregta Türünün Betonun Donma-Çözülme Dayanıklılığına Etkisi. III. Ulusak Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 2:43-50.

Tarakçı D (1993). Polimer Katkılı Betonların Durabilite ve Ekonomik Yönden Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Yalçın F (1998). Polimer Emdirilmiş Betonun Bazı Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

Yıldırım ST, Ekinci CE (2006). Çelik, Cam ve Polipropilen Lifli Betonlarda Donma-Çözülme Etkilerinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18:359-366, Elazığ.

TS 500 (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, 81 s, Ankara.

TS 802 (1985). Beton Karışım Hesapları. Türk Standartları Enstitüsü, 19 s, Ankara.

TS 3068 (1978). Laboratuarlarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı. Türk Standartları Enstitüsü, 12 s, Ankara.

TS 3114 (1980). Beton Basınç Mukavemeti Deney Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, 7 s, Ankara.

TS 3449 (1980). Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Betonda Dayanıklılık Faktörü Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, 7 s, Ankara.

TS 11222 (2001). Beton- Hazır Beton Sınıflandırma , Özellikler , Performans, Üretim ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, 17 s, Ankara.

## ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Ankara’da doğdu. İlkokul eğitimini Polatlı Atatürk İlkokulunda, orta okul eğitimini Polatlı Anadolu Lisesinde, lise eğitimini Polatlı Lisesinde tamamladıktan sonra 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne başlayarak 2001 yılında mezun oldu. İzmir’de çeşitli firmalarda üretim sorumlusu olarak çalıştı. 2003 yılında Milli Savunma Bakanlığına devlet memuru olarak atandı. Halen Milli Savunma Bakanlığı Çorlu İnşaat Emlak Bölge Başkanlığında İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır. Evli ve 1 çocuk sahibidir. Yabancı dili İngilizcedir.

Çiğdem AKKAYA ÖZDEN