İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİMENTO ESASLI TAMİR HARÇLARININ DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimar F. Şebnem KULOĞLU

Anabilim Dalı : MİMARLIK

Programı : YAPI BİLGİSİ

HAZİRAN 2003

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇİMENTO ESASLI TAMİR HARÇLARININ DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimar F. Şebnem KULOĞLU
(502001257)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Mayıs 2003

Tez Danışmanı : **Doç.Dr. Mustafa E. KARAGÜLER**

Diğer Jüri Üyeleri : **Prof.Dr. Erol GÜRDAL (İ.T.Ü.)**

Prof.Dr. Halit Yaşa ERSOY (M.S.Ü.)

HAZİRAN 2003

ÖNSÖZ

Hazırlamış olduğum bu çalışmada, bana yol gösteren, destek ve anlayışını esirgemeyen değerli hocam Doç.Dr. Mustafa E. KARAGÜLER başta olmak üzere; yapmış oldukları tüm katkı ve yardımlardan dolayı, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Yapı Malzemesi Birimi'nden sayın hocam Prof. Dr. Erol GÜRDAL'a, Araş.Gör. Mahmut KÖSE'ye ve Teknisyen İbrahim ÖZTÜRK'e; deneysel çalışmalarım sırasında kullanmış olduğum malzemeleri temin eden DURATEK Firması'na ve tecrübelerini benimle paylaşan arkadaşım Yük.İnş.Müh.Burçak GÜVEN'e teşekkür ederim.

Ayrıca, tüm hayatım boyunca bana gösterdikleri sevgi ve destek için, annem Gönül KULOĞLU, babam Abdullah KULOĞLU, kardeşim Sibel KULOĞLU ve anneannem Kadriye HACIHAMDİOĞLU'na teşekkür ederim.

Mayıs, 2003

F. Şebnem KULOĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ **II**

İÇİNDEKİLER **III**

KISALTMALAR **VII**

TABLO LİSTESİ **VIII**

ŞEKİL LİSTESİ **X**

SEMBOL LİSTESİ **XII**

ÖZET **XIII**

SUMMARY **XIV**

1. GİRİŞ **1**

1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı 1

2. DAYANIKLILIK KAVRAMI **4**

2.1 Betonda Bozulma 4
2.1.1 Betonun Bozulma Koşulları 6
2.1.1.1 Tasarım Aşamasında Oluşabilecek Koşullar 6
2.1.1.2 Uygulama Aşamasında Oluşabilecek Koşullar 7
2.1.1.3 Kullanım Aşamasında Oluşabilecek Koşullar 9

2.2 Dayanıklılığı Etkileyen Faktörler 11
2.2.1 Fiziksel Bozulma Faktörleri 12
2.2.1.1 Su Emme 13
2.2.1.2 Geçirimlilik 13
2.2.1.3 Kapiler Su Geçirimliliği 15
2.2.1.4 Donma – Çözülme 16
2.2.1.5 Islanma – Kuruma 19
2.2.1.6 Isıl Gerilmeler 21
2.2.1.7 Hidrolik Rötre 22
2.2.1.8 Sünme 22
2.2.1.9 Şok Dalgaları 23
2.2.1.10 Aşınma 23
2.2.1.11 Erozyon ve Kavitasyon 24

2.2.1.12 Yangın 24
2.2.2 Dış Etkiler Sonucu Oluşan Kimyasal Faktörler 25
2.2.2.1 Yumuşak Su Etkisi 25
2.2.2.2 Asit Etkisi 26
2.2.2.3 Magnezyum Tuzları İle Yüklü Suların Etkisi 27
2.2.2.4 Sülfatlı Su Etkisi 29
2.2.2.5 Deniz Suyu Etkisi 30
2.2.2.6 Tuz Etkisi 30
2.2.2.7 Karbonatlaşma 31

2.2.3 Beton Bileşenlerinin Neden Olduğu Reaksiyonlara Bağlı Olarak Oluşan Kimyasal Korozyon 33
2.2.3.1 Alkali – Agrega Etkisi 33
2.2.3.2 Uygun Olmayan Çimento Kullanımı 35
2.2.3.3 Biyolojik Korozyon 35

2.2.4 Donatının Korozyonu 36
2.2.4.1 Karbonatlaşma 37
2.2.4.2 Klor Etkisi 37
2.2.4.3 Oksijen Etkisi 38
2.2.4.4 Korozyon Mekanizması 38

3. YAPIŞTIRICILAR 43

3.1 Yapışma Mekanizması 43
3.1.1 Islatma Ve Temas Açısı 45

3.2 Yapıştırıcıların Sınıflandırılması 47

3.3 Yapıştırıcı Seçimi 50
3.3.1 Yapıştırma Amacı 50
3.3.2 Malzeme Özellikleri 50
3.3.3 Bağlantı Gerilmeleri 51
3.3.4 Yapışma Ortamı 52
3.3.5 Çalışma Süresi 52
3.3.6 Çalışma Şartları 52
3.3.7 Kullanım Ömrü 53
3.3.8 Depolama 53
3.3.9 Sağlık 53

3.4 Yüzey Hazırlığı 53
3.4.1 Yüzey Hazırlama Metotları 54
3.4.1.1 Çözücü ile Silme 55
3.4.1.2 Buharla Yağ Giderme 55
3.4.1.3 Aşındırma 55
3.4.1.4 Buharla Honlama 55
3.4.1.5 Ultrasonik Temizleme 55

4. DENEYSEL ÇALIŞMA **56**

4.1 Deneysel Çalışmanın Programlanması 56

4.2 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler 56
4.2.1 Çimento 56
4.2.2 Agregalar 57
4.2.3 Tamir Harcı 58
4.2.4 Epoksi 59

4.3 Deneysel Çalışmada Kullanılan Cihazlar 59

4.4 Deneysel Çalışmada Kullanılan Örneklerin Üretilmesi 60
4.4.1 Beton Örneklerin Üretimi 60
4.4.1.1 Beton Karışım Hesapları 60
4.4.1.2 Taze Betonun Üretimi 62
4.4.2 Tamir Harcı Örneklerin Üretimi 65
4.4.2.1 Tamir Harcı Karışım Hesapları 65
4.4.2.2 Taze Tamir Harcının Üretimi 65

4.5 Deneyler 65
4.5.1 Taze Harç Deneyleri 66
4.5.1.1 Taze Beton Deneyleri 66
A. Taze Betonda Kıvam Deneyi 66
B. Taze Betonda Birim Ağırlık Tayini Deneyi 68
4.5.1.2 Taze Tamir Harcı Deneyleri 69
A. Taze Tamir Harcında Kıvam Deneyi 69
B. Taze Tamir Harcında Birim Ağırlık Tayini Deneyi 70
4.5.2 Sertleşmiş Harç Deneyleri 70
4.5.2.1 Fiziksel Deneyler 71
A. Kapiler Su Emme Tayini Deneyi 71
B. Su Emme Deneyi 75
C. Kaynar Suda Su Emme Deneyi 77
4.5.2.2 Ultrases Hızı Tayini Deneyi 78
4.5.2.3 Mekanik Deneyler 80
A. Eğilmede Çekme Deneyi 80
B. Basınç Deneyi 83
4.5.3 Onarım Uygulaması ve Deneyleri 85
4.5.3.1 Hasar Görmüş Betonun Onarılması 85
A. Hasar Görmüş Betonun Tamir Harcı İle Onarımı 85
B. Hasar Görmüş Betonun Epoksi Ve Tamir Harcı İle Onarımı 86
C. Hasar Görmüş Betonun Epoksi İle Yapıştırılması 88
4.5.3.2 Onarım Görmüş Örneklere Yapılan Deneyler 89
A. Mekanik Deneyler 89
B. Ultrases Deneyi 92
C. Durabilite Deneyleri 92

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ 102
5.1 Deneylerin Değerlendirilmesi 102
5.1.1 Fiziksel Deneylerin Değerlendirilmesi 102
5.1.2 Ultrases Geçiş Hızı Deneyinin Değerlendirilmesi 105
5.1.3 Mekanik Deneylerin Değerlendirilmesi 109
5.1.3.1 Eğilmede Çekme Deneyi 109
5.1.3.2 Basınç Deneyinin Değerlendirmesi 113
5.1.4 Durabilite Deneylerinin Ağırlık Kaybına Etkisinin Değerlendirilmesi 115
5.2 Sonuçlar 116

KAYNAKLAR 119

ÖZGEÇMİŞ 121

KISALTMALAR

m : Metre
cm : Santimetre
mm : Milimetre
in : Inch
kg : Kilogram
gr : Gram
dak : Dakika
sn : Saniye
% : Yüzde
^{0}C : Santigrad derece
V : Volt
Asr : Alkali silis reaksiyonu
N : Newton
μ : Mikron
μsn : Mikro saniye
E : Elastiste modülü

TABLO LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 2.1 Bazı malzemelerin şişme-büzülme değerleri [8] 20
Tablo 2.2 Bazı metallerin standart elektrod potansiyelleri [16] 41
Tablo 3.1 Fiziksel formuna göre yapıştırıcıların sınıflandırılması [17] 48
Tablo 3.2 Başlıca yapıştırıcıların ilişkileri [20] 48
Tablo 3.3 Sertleşme etkenine göre yapıştırıcıların sınıflandırılması [17] 49
Tablo 4.1 Kumun elek analizi sonuçları 57
Tablo 4.2 Kırma taşın Elek Analizi Sonuçları 57
Tablo 4.3 Kum ve kırma taş karışımının elek analizi sonuçları 58
Tablo 4.4 Taze betonda kıvam deneyi sonuçları 68
Tablo 4.5 Taze betonun birim ağırlıkları 69
Tablo 4.6 Taze tamir harcında kıvam deneyi sonuçları 69
Tablo 4.7 Taze tamir harcının birim ağırlıkları 70
Tablo 4.8 Beton örneklerin 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları 72
Tablo 4.9 Tamir harcı örneklerin 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları 73
Tablo 4.10 Beton örneklerin 60 günlük kılcallık deneyi sonuçları 73
Tablo 4.11 Tamir harcı örneklerin 60 günlük kılcallık deneyi sonuçları 74
Tablo 4.12 90 günlük beton örneklerin kılcallık deneyi sonuçları 74
Tablo 4.13 90 günlük tamir harcı örneklerin kılcallık deneyi sonuçları 75
Tablo 4.14 Beton örneklerin su emme deneyi sonuçları 76
Tablo 4.15 Tamir harcı örneklerin su emme deneyi sonuçları 76
Tablo 4.16 Beton örneklerin kaynar su emme deneyi sonuçları 77
Tablo 4.17 Tamir harcı örneklerin su emme deneyi sonuçları 78
Tablo 4.18 Beton örnekler üzerinde yapılan ultrases deneyi sonuçları 79
Tablo 4.19 Tamir harcı örnekler üzerinde yapılan ultrases deneyi sonuçları 80
Tablo 4.20 Beton örneklerin üzerinde yapılan eğilmede çekme deneyi sonuçları ... 82
Tablo 4.21 Tamir harcı örnekler üzerinde yapılan eğilmede çekme deneyi sonuçları 82
Tablo 4.22 Beton örnekler üzerinde yapılan basınç deneyi sonuçları 83
Tablo 4.23 Tamir harcı örnekler üzerine yapılan basınç deneyi sonuçları 84
Tablo 4.24 Yapıştırılmış örnekler üzerinde yapılan eğilmede çekme deneyi sonuçları 90
Tablo 4.25 Yapıştırılmış örnekler üzerinde yapılan ultrases deneyi sonuçları 91
Tablo 4.26 Donma-çözülme çevrimine giren örneklerin ultrases deneyi sonuçları(1-10 çevrim) 93
Tablo 4.27 Donma-çözülme çevrimine giren örneklerin ultrases deneyi sonuçları (10-25 çevrim) 94
Tablo 4.28 Donma-çözülme deneyi sonrası ağırlık kaybı hesabı 95
Tablo 4.29 Donma-çözülme çevrimine giren örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları 96
Tablo 4.30 Donma-çözülme çevrimine giren örneklerin basınç deneyi sonuçları ... 96
Tablo 4.31 Islanma-kuruma çevrimine giren örneklerin ultases deneyi sonuçları (1-10 çevrim) 98

Tablo 4.32 Islanma-kuruma çevrimine giren örneklerin ultrases deneyi sonuçları (10-25 çevrim) 99
Tablo 4.33 Islanma-kuruma çevrimine giren örneklerin ağırlık kaybı hesabı..... 100
Tablo 4.34 Islanma-kuruma çevrimine girmiş örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları..... 100
Tablo 4.35 Islanma-kuruma çevrimine girmiş örneklerin basınç deneyi sonuçları 101
Tablo 5.1 Beton ve tamir harcı örneklerin fiziksel deney sonuçları..... 102
Tablo 5.2 Beton ve tamir harcı örneklerin ultrases deneyi sonuçları 105
Tablo 5.3 Onarım görmüş örneklerin ultrases deneyi sonuçları..... 106
Tablo 5.4 Donma-çözülme çevrimine girmiş örneklerin ultrases deneyi sonuçları 107
Tablo 5.5 Islanma-kuruma çevrimine girmiş örneklerin ultrases deneyi sonuçları 108
Tablo 5.6 Beton ve tamir harcı örneklerin eğilmede çekeme dayanımı sonuçları.. 109
Tablo 5.7 Onarım görmüş örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları 110
Tablo 5.8 Durabilite deneyine tabi tutulmuş örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları..... 111
Tablo 5.9 Beton ve tamir harcı örneklerin basınç deneyi sonuçları 113
Tablo 5.10 Durabilite deneyine tabi tutulmuş örneklerin deney sonrası basınç dayanımları 114
Tablo 5.11 Durabilite deneyleri sonrasında ağırlık kaybı hesabı sonuçları..... 115

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No:
Şekil 1.1 Donatıda korozyon oluşumu 3
Şekil 2.1 Temel betonundaki yumuşak ceplerin üzerindeki betonun çatlaması 8
Şekil 2.2 Donatının etrafındaki betonda oluşan rötre, çatlaklara neden olabilir..... 9
Şekil 2.3 Betonun Dayanıklılığı ve Performansı Arasındaki İlişki 10
Şekil 2.4 Ortamın pH oranının değişimi 37
Şekil 2.5 Betonarme döşemedeki donatının korozyonu sonucu oluşan hasar 40
Şekil 2.6 Betonarme kiriş içinde donatının korozyonu 41
Şekil 2.7 Betonarme kolonda donatı korozyonu sonucu oluşan çatlaklar 42
Şekil 2.8 Betonarme kolonda donatı korozyonu sonucu oluşan çatlak ve ayrılmalar 42
Şekil 3.1 Yapışma bağlantısının prensip olarak bölündüğü katmanlar..... 44
Şekil 3.2 Katı cisim üzerindeki sıvı damlası 45
Şekil 3..3 Koheviz ve adesiv tipi bağlantı bozulması (a) ve (b) kohesiv, (c) adesiv, (d)%60 adesiv, %40 kohesiv tipi bağlantı bozulması 51
Şekil 3.4 Yapışma bağlantısında oluşan gerilmeler [23] 51
Şekil 4.1 Agrega karışımının granülometri eğrisi 58
Şekil 4.2 Beton harcının matkap yardımıyla karıştırılması 62
Şekil 2.3 Üretilen beton harcı 63
Şekil 2.4 Üretilen betonu harcının kalıplara yerleştirilmesi 63
Şekil 2.5 Kalıplara yerleştirilmiş betonun titreşim masasında vibre edilmesi..... 64
Şekil 4.6 Sertleşmiş beton örneklerin su içinde kürlenmesi 64
Şekil 4.7 Kıvam deneyi için kesik koni şeklindeki kalıba taze harcın doldurulması 66
Şekil 4.8 Kıvam deneyinde kalıp çıkarıldıktan sonra sarsma tablası üzerindeki beton harcı..... 67
Şekil 4.9 Sarsma tablasından 15 kez düşürüldükten sonra tablo üzerindeki harç 67
Şekil 4.10 Kıvam deneyinde, sarsma tablası 15 kez düşürüldükten sonra betonun çapının ölçülmesi 68
Şekil 4.11 Kılcallık deneyi..... 71
Şekil 4.12 Su emme deneyi için su içinde bekleyen örnekler..... 75
Şekil 4.13 Ultrases geçiş hızı tayini deneyinin yapılması..... 79
Şekil 4.14 Eğilmede çekme ve basınç deneylerinin yapıldığı press 81
Şekil 4.15 Eğilmede çekme deneyinin uygulanması 81
Şekil 4.16 Basınç deneyinin uygulanması 84
Şekil 5.1 Kılcallık deneyi..... 102
Şekil 5.2 Beton ve tamir harcı örneklerin kılcallık deneyi sonuçları..... 103
Şekil 5.3 Beton ve tamir harcı örneklerin kütlece kaynar su emme deneyi sonuçları 104
Şekil 5.4 Beton ve tamir harcı örneklerin hacimce kaynar su emme deneyi sonuçları 104
Şekil 5.5 Beton ve tamir harcı örneklerin ultrases deneyi sonuçları..... 105
Şekil 5.6 Onarım görmüş örneklerin ultrases deneyi sonuçları 106
Şekil 5.7 Beton, tamir harcı ve onarım görmüş örneklerin birlikte ultrases deneyi sonuçları..... 106

Şekil 5.8 Durabilite deneyine tabi tutulmuş örneklerin ultrases geçiş hızı grafiği . 107
Şekil 5.9 Islanma-kuruma deneyine girmiş örneklerin ultrases deneyi sonuçları .. 108
Şekil 5.10 Beton ve tamir harcı örneklerin eğilmede çekme dayanımı sonuçları .. 109
Şekil 5.11 Onarım görmüş örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları 110
Şekil 5.12 Beton, tamir harcı ve onarım görmüş örneklerin birlikte eğilmede çekme deneyi sonuçları 110
Şekil 5.13 Durabilite deneyine tabi tutulmuş örneklerin deney sonrası eğilmede çekme sonuçları 111
Şekil 5.14 Onarım görmüş örnekler eğilmede çekme deneyi sonrası..... 112
Şekil 5.15 Eski beton + epoksi + eski beton tipinde onarım görmüş örneklerin eğilmede çekme deneyinden sonraki kırılma örneği 112
Şekil 5.16 Eski beton + epoksi + tamir harcı tipinde onarım görmüş örneğin eğilmede çekme deneyinden sonra kırılma örneği..... 112
Şekil 5.17Beton ve tamir harcı örneklerin basınç deneyi sonuçları..... 113
Şekil 5.18Durabilite deneyine tabi tutulmuş örneklerin deney sonrası basınç dayanımları 114
Şekil 5.19 Durabilite deneyi sonrası ağırlık kaybı sonuçları 115

SEMBOL LİSTESİ

Å : Armstrong
V : Hacim
P : Porozite
K : Kompasite
S_a : Su emme yüzdesi
Δ : Birim hacim ağırlığı
δ : Özgül ağırlık
q : Debi, birim alandan birim zamanda geçen su miktarı
Q : Birim zamanda geçen su miktarı
k : Darcy geçirimlilik katsayısı
N : Kılcallık katsayısı
t : Zaman
D_k : Deney sonrası kütle kaybı
c : Karbonatlaşma derinliği
k : Sabit
T : Yıl olarak zaman
φ : Denge temas açısı
γ_{KB} : Katı/buhar noktası
γ_{KS} : Katı/sıvı noktası
γ_{SB} : Sıvı/buhar noktası
K_k : Karışımın incelik modülü
E : Beton karışım hesabında su miktarı
C : Çimento dozajı
F_c : Proje mukavemeti
F_{cc} : Çimentonun norm mukavemeti
P : Kırılma anında alınan yük
σ : Basınç dayanımı
$\sigma_{eğilme}$: Eğilme dayanımı

ÇİMENTO ESASLI TAMİR HARÇLARININ DURABİLİTE ÖZELLİKLERİ

ÖZET

Günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemesi betonarmedir.Ancak betonarme, atmosferik etkenler, yanlış tasarım, kötü malzeme kullanımı, yapılan hatalı uygulamalar, deprem vb. gibi çok. çeşitli nedenlerle kolayca hasar görmektedir.

Yapılan çalışmanın birinci bölümünde; genel anlamda, bir yapı malzemesinin, bileşeninin ya da elemanının , kendisi için öngörülen süre içinde, hiçbir aksaklık göstermeden işlevini yerine getirmesi olarak tanımlanabilen dayanıklılık kavramı irdelenmiş ve betonarme yapılarda hasara neden olan etkenler ve hasar mekanizmaları açıklanmıştır.

İkinci bölümde; hasar görmüş yapıların onarım uygulamalarında da kullanılan yapıştırıcılar, yapışma mekanizması ve yapışma olayı hakkında bilgi verilmiştir.

Literatür araştırmaları doğrultusunda yapılan deneysel çalışma, tezin üçüncü bölümünde yer almaktadır. Deneysel çalışma kapsamında öncelikle tamir harçlarının mekanik ve fiziksel özelliklerini araştırmak üzere, çimento esaslı beton tamir harçlarının ve bunları kıyaslama olanağı vermek üzere üretilen şahit beton örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerine ilişkin deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmanın ikinci kısmında beton tamir harçlarının mevcut betona olan aderansını araştırmak amacıyla, hasar görmüş betonu temsil etmek üzere üretilip, eğilmede çekme deneyi ile kırılan beton örneklerine onarım işlemleri uygulanmış, bu örneklere deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmanın son aşamasında ise beton, tamir harcı ve onarım görmüş örneklerin durabilite özelliklerinin incelenebilmesi için donma-çözülme ve ıslanma kuruma çevrimlerinden oluşan durabilite deneylerine tabi tutulmuşlardır.

Sonuç bölümünde ise deneysel çalışmadan elde edilen veriler tablolar ve grafik anlatım kullanılarak sunulmuş, elde edilen bilgiler, literatür çalışmasının da ışığında değerlendirilmiştir

THE DURABILITY PROPERTIES OF CEMENT BASED REPAIR MORTARS

SUMMARY

Although nowadays the most common building material is reinforced concrete, it can deteriorate easily due to atmospheric factors, incompatibilty design, the use of improper materials, incorrect construction practises or earquakes etc.

In the first chapter, the concept of durability is defined as maintaining the servisabilty of a building material, compound or element in a predicted time, is examined and the cause of deterioration and deterioration mechanisms are explained.

The second chapter explains about adhesives which are also used in the repair of deteriorated buildings and the mechanism of adhesion.

Experimental work is explained in the third chapter. The context of experimental work has three stages. Firstly, physical and mechanical properties of cement based repair mortars and concrete samples, produced in order to enable the comparison of repair mortars, are tested to investigate physical and mechanical properties of cement based repair mortar. Secondly, samples were produced to represent deteriorated concrete and broken in the flexural strength test, were repaired then tested to inform us of the adhesion between repair mortar and concrete. Finally, repair mortar, concrete and repaired samples were exposed to freezing and thawing and wetting and drying cycles to research their durability properties.

In the concluding chapter, data from experimental work, were evaluated in the light works of literature.

1. GİRİŞ

Betonarme, beton ve çelikle meydana getirilen ve bu iki malzemenin birbirine iyice bağlanarak dış kuvvetlere karşı ortak çalışmaları sağlanmış bulunan bir yapı malzemesidir. Beton ve çelikten meydana gelen bileşik yapı malzemesine betonarme adı verilir. Bu ad Fransızca'dan alınmış olup donatılmış çelik demektir. [1] Bu günkü şekliyle betonarmeyi ilk olarak Fransız mühendisi Hennebique 1892'de bulmuştur. Betonarmenin ünlü uygulayıcılarından August Perret 1911'de Paris'te Franklin Sokağı'nda yaptığı serbest planlı ev ile betonarmenin sivil mimaride yaygın olarak kullanılması çığırını açmıştır. 1904–1914 arası betonarmenin tam güvenle kullanıldığı dönemdir. 1950'den sonra betonarme Nervi, Torroja gibi sanatçı mühendislerin elinde büyük bir plastik değer kazanmıştır. [2]

Günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemesi olan betonarme; atmosferik etkenler, yanlış tasarım, kötü malzeme kullanımı, yapılan hatalı uygulamalar, deprem vb. gibi çok. çeşitli nedenlerle hasar görmektedir.

Betonarme yapılarda en sık rastlanan hasar türlerinden birisi de beton içindeki donatının korozyonu sonucu betonda oluşan çatlak ve parça kopmalarıdır. Korozyon hasarı, getirdiği ek maliyetten dolayı, tüm dünyada araştırmalara konu olmuş bir kavramdır. Ülkemizde meydana gelen 17 Ağustos Depremi'nden sonra yapılan çalışmalarda, hasarların büyük bir kısmına donatıda oluşan korozyonun sebep olduğu görülmüş ve donatı korozyonundan dolayı oluşan hasarı gidermek için onarım uygulamaları yapılmıştır. Bu uygulamalarda korozyondan dolayı çatlayan, kapak atan zayıf beton uzaklaştırılarak mevcut sağlam beton, yüksek mukavemetli bir tamir harcı ile kaplanmıştır. Bu kaplama sırasında eski beton ile yeni beton arasına kimyasal yapıştırıcılar uygulayarak iki farklı malzemenin birbirine olan aderansının daha iyi olması amaçlanmıştır.

1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Çalışma kapsamında önce literatür araştırması, arkasından deneysel çalışma yapılmıştır. Daha sonra deneysel çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir. Literatür

araştırmasının birinci bölümünde, dayanıklılık kavramı irdelenmiş ve betonarme yapılarda hasara neden olan etkenler açıklanmıştır. İkinci bölümde yapıştırıcılar, yapışma mekanizması ve yapışma olayı hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın deneysel kısmında öncelikle tamir harçlarının mekanik ve fiziksel özelliklerini araştırmak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, çimento esaslı beton tamir harçlarının ve bunları kıyaslama olanağı vermek üzere üretilen şahit beton örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerine ilişkin deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmanın ikinci kısmında beton tamir harçlarının mevcut betona olan aderansını araştırmak amacıyla, onarım yapılacak betonu temsil etmek üzere üretilip, eğilmede çekme deneyi ile kırılan beton örneklerine onarım işlemleri uygulanmış, bu örneklere deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmanın son aşamasında ise beton, tamir harcı ve onarım görmüş örneklerin durabilite özelliklerinin incelenebilmesi için durabilite deneylerine tabi tutulmuşlardır. Yapılan deneyler :

1. Taze harç deneyleri
   - Kıvam deneyi
   - Birim ağırlık tayini
2. Sertleşmiş harç deneyleri
   - Fiziksel deneyler
     - Kapiler su emme tayini
     - Su emme deneyi
     - Kaynar suda su emme deneyi
   - Ultrases hızı tayini deneyi
   - Mekanik deneyler
     - Eğilmede çekme deneyi
     - Basınç deneyi
3. Onarım uygulaması
   - Eski beton + epoksi + eski beton uygulaması
   - Eski beton + epoksi + tamir harcı uygulaması
   - Eski beton + tamir harcı uygulaması
4. Durabilite deneyleri
   - Donma- çözülme çevrimi
   - Islanma-kuruma çevrimi

Yapılan deney programı doğrultusunda deneyler yürütülmüştür. Onarım yapılacak betonu temsil eden betonun onarım yönteminde, mukavemeti düşük, bozuk parçaların betondan uzaklaştırılıp, belli bir taşıma gücüne sahip betonun sağlam kısmına onarım uygulandığı prensibi esas alınarak deneyler uygulandığı için, hasarlı betonun onarım yapılacak sağlam kısmını temsil eden örneklerin çimento dozajı yüksek seçilmiştir.



Şekil 1.1 Donatıda korozyon oluşumu

2. DAYANIKLILIK KAVRAMI

Betondan beklenen 3 temel özellik vardır: İşlenebilirlik, mukavemet ve dayanıklılık. Bu tezde araştırılmış olan dayanıklılık ya da yabancı dilden gelen adıyla durabilite; son yıllarda önemi daha fazla anlaşılmış ve üzerinde çalışılmaya başlanmış bir kavramdır. Eskiden betonun performansı, mukavemetiyle ölçülür, mukavemeti yüksek olan betonun aynı zamanda dayanıklı beton olacağı varsayılırdı. Ancak yapılan çalışmalarla dayanıklılığın sadece mukavemetten değil aynı zamanda farklı bir çok faktörden etkilendiği ortaya çıkmıştır. Başka bir deyişle, dayanımı yüksek olan betonun her zaman dayanıklı beton olacağı kabulü geçerliliğini yitirmiştir.

Genel anlamda dayanıklılık, bir yapı malzemesinin, bileşeninin ya da elemanının, kendisi için öngörülen süre içinde, hiçbir aksaklık göstermeden işlevini yerine getirmesi olarak tanımlanabilir. Yapı malzemesi tüm servis ömrü boyunca, taşıması planlanan yüklere ve çevre koşullarına, aşırı zarar, tahribat, aşınma ve kırılma gibi bozulmalar göstermeden direnç gösterebilmeli ve işlevini sürdürebilmelidir.

2.1 Betonda Bozulma

Genellikle bileşenler arasındaki bütünleşememeden dolayı, betonun içinde ya da yüzeyinde, mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, olumsuz yönde değişimine bozulma denir. [3] Malzeme veya bileşenin kullanım ömrünü etkileyen bozulma faktörleri şunlardır:

1. Atmosferik etkenler :
    - Işınım
        - Güneş
        - Nükleer
        - Termal
    - Sıcaklık
        - Yüksek
        - Düşük
        - Çevrim etkisi

- Su
  - Katı (kar,buz gibi)
  - Sıvı (yağmur, yoğuşma, durgun su gibi)
  - Buhar (yüksek rölatif nem gibi)
- Hava kirleticiler
  - Gazlar (azot ve kükürt oksitleri gibi)
  - Sis (aerosoller, tuzlar, asitler, alkaliler ve suda çözünmeyenler gibi)
  - Partiküller (kum, toz,toprak gibi)
- Donma-çözülme
- Rüzgar

2. Biyolojik etkenler :

- Mikro organizmalar
- Mantarlar
- Bakteriler

3. Gerilme etkenleri :

- Sürekli gerilmeler
- Periyodik gerilmeler
- Rastgele gerilmeler
  - Suyun fiziksel hareketi; yağmur, dolu, kar, sulu sepken gibi
  - Rüzgarın fiziksel hareketi
  - Su ve rüzgarın beraber fiziksel hareketi
- Aletlerin kurulması gibi faktörlerden dolayı hareket

4. Uyuşmazlık etkenleri :

- Kimyasal
- Fiziksel

5. Kullanım etkenleri :

- Sistemin tasarımı
- Uygulama, tamir ve bakım yöntemleri
- Aşınma
- Kullanıcının kötü kullanımı [3]

Bozulma kendini görsel olarak gösterebilir ya da göstermeyebilir. Betonda hasarın kendini göstermesi genelde şu 3 şekilde olur :

1. Çatlaklar
2. Parça Kopmaları
3. Ayrışmalar [4]

Bu bozulma belirtilerini görmek ve birbirinden ayırmak kolay olsa da, birbirinden çok farklı sebeplerin aynı belirtiyi göstermesinden dolayı, bozulmayı durdurmak için önlem almak oldukça zordur.

2.1.1 Betonun Bozulma Koşulları

Bilindiği gibi yapı; tasarım, uygulama ve kullanım aşamalarını içeren bir süreçtir. Bu sürecin herhangi bir aşamasında alınan yanlış bir karar ya da yapılan yanlış bir uygulama, yapıda bozulmalara neden olabilmekte, yapının tüm yaşam sürecini etkileyebilmekte ve ömrünü kısaltabilmektedir.

Betonun dayanıklılığı; betonun bozulmasını sağlayan koşulların, tasarım, uygulama ve kullanım aşamalarında alınan kararlar ve yapılan uygulamalar doğrultusunda gerçekleşip gerçekleşmemesine bağlıdır.

2.1.1.1 Tasarım Aşamasında Oluşabilecek Koşullar

Tasarım sırasında tüm detaylar çözülmüş gibi gözükse de, uygulama ya da kullanım aşamasında hiç beklenmedik sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Sonradan bu sorunları gidermek ise çok daha fazla zaman, emek ve paraya mal olmaktadır. Bu yüzden henüz tasarım aşamasında oluşabilecek bozulmalar düşünülmeli ve engellenmelidir.

1. Gerilmeler : Tasarım aşamasında yapıya gelecek tüm yükler (deprem, rüzgar, kar yükleri de dahil olmak üzere) önceden hesaplanmalı ve yapı elemanına fazla yük binmesi ve bu yüzden sehim yaparak çatlaklara neden olması önlenmelidir.
2. Atmosfer Koşulları : Öncelikle yapının yeri ve konumu iyi incelenmeli, o bölgedeki atmosfer koşulları tasarım yaparken göz ardı edilmemelidir. Betonun iç yapısı, doluluk-boşluk oranı gibi etmenler, ani ısı değişimleri, rüzgar, yağmur vb. atmosfer koşullarından birebir etkilenmekte ve bozulmanın başlıca sebeplerinden biri olmaktadır. Özellikle ilerdeki bölümlerde açıklanacak olan donma-çözülme etkisi betonun dayanımını

büyük ölçüde azaltmaktadır. Tasarım sırasında, yapının maruz kalacağı çevresel etkenler ve bunların doğurabileceği zararlı sonuçlar hakkında detaylı bilgiye sahip olunmalı ve bu etkilere dayanıklı, iyi kalitede beton üretilmelidir.

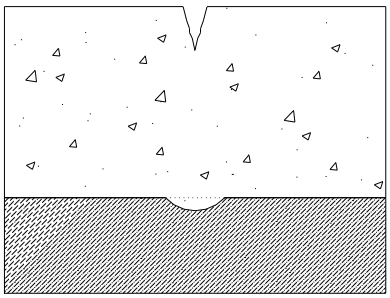
3. Uyuşmazlıklar : Malzeme özellikleri ve malzemeler arasındaki fiziksel ve kimyasal uyuşmazlıklar önceden bilinmelidir.
4. Yapı tasarımı ve detaylandırma hataları : En çok rastlanan bozulmalardan biri de hatalı tasarım ve detaylandırmadan doğan bozulmalardır. Bunları sıralamak gerekirse :
   - Köşeler ve genellikle dik açı, dar açı yapan köşeler
   - Ani kesit değişmeleri
   - Prefabrike kiriş veya döşemeler arasında rijit kırılgan derzler
   - Narin eğilme elemanlarının aşırı sehim yapmaları
   - Derzlerdeki sızıntılar, yetersiz damlalık ve yatay dereler
   - Dilatasyon derzlerinde yetersiz açıklık
   - Kolon ve kiriş payandalarında öngörülmemiş kayma gerilmeleri
   - Kesitlerin ve malzemelerin uyumsuzluğu
   - Su haznelerindeki termik gerilmeler [4]

2.1.1.2 Uygulama Aşamasında Oluşabilecek Koşullar

Uygulama aşamasında oluşabilecek en büyük sorun üretimin tasarlanan şekilde yapılamamasıdır. Bu yüzden üretim sırasında sıkı bir kontrol mekanizması kurulması şarttır. Betonun standartlara uygun ve projelendirildiği gibi üretimi ve yerine yerleştirilmesi sağlanmalıdır. Bileşenlerin birinin eksik ya da fazla olması ya da kalitesinin yetersiz, standartlara uygun olmaması ile betonun tüm özellikleri değişeceği için, bu konunun üzerinde titizlikle üzerinde durulmalıdır.

Beton üretimi yapılırken ortam koşullarının standartlara uygun olmasına dikkat edilmelidir. Çok sıcak ya da çok soğuk ortamlarda üretilen betonların dayanıklılık dahil bir çok özellikleri değişecektir.

Betonun dökületeceği zeminin düzgün olmasına dikkat edilmelidir. Temelin yerleşmiş betonunun içinde yumuşak cepler varsa temelin oturmasından dolayı çatlaklar oluşur. (şekil 2.1) [3]



Şekil 2.1 Temel betonundaki yumuşak ceplerin üzerindeki betonun çatlaması

Betonu yerine yerleştirirken yeterli sıkıştırmanın yapılmasına özen gösterilmelidir. Aksi takdirde üretilen beton çok fazla hava boşlukları içerecek ve geçirimliliği yüksek olacaktır. İleriki sayfalarda anlatılacağı üzere dayanıklılık için bir betonda aranan en önemli faktörlerden biri de geçirimliliğinin düşük olmasıdır.

Taze beton yerine yerleştikten sonra yeterli desteklenmedikleri için kalıplarda düşey oynamalar olabilir. Kalıpların yeterli desteklendiğinden emin olunmalı ve kalıpların su emmesi önlenmelidir. [4]

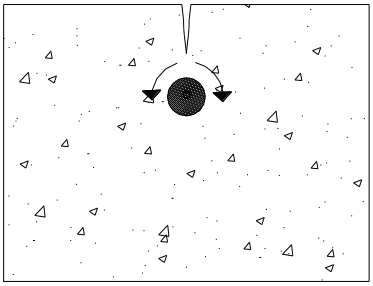
Taze beton yerine yerleştikten sonra karşılaşılabilecek bir diğer sorun yatay kalıpların sehim yapmasından dolayı bölgesel çökmelerin olabilmesidir. Bu da priz başladıktan sonra çatlaklara neden olur.

Kalıp sayısının azlığı ya da inşaatı çabuk bitirme gibi sebeplerle kalıplar zamanından önce sökülebilmektedir. Bu durumda beton henüz prizini tamamlamadan üzerine yük bineceği için çatlama yapabilir.

Beton daha prizini tamamlamadan betonun yakınında titreşimi yüksek çalışmalar, araç trafiği vb. betonda çatlaklara neden olabilir.

Betonun ilk prizini aldıktan sonra kürlemesinin yapılmaması durumunda beton yüzeyinde plastik rötre çatlağı denilen çatlakların oluşmasına sebep olunur. Bunun için betonda prizi hızlandıran çeşitli kimyasal katkılar kullanılabilir ya da beton ilk prizini aldıktan sonra yüzeyi hafifçe ıslatılarak, yüzeyin iç bölgelere göre hızlı kurumasından dolayı oluşabilecek plastik rötre çatlakları engellenebilir.

Çok yoğun donatı tabakası yerleştirilirse betonun bu tabakanın altına ulaşması zorlaşır. Bu özellikle döşemelerdeki hasır donatılarının altında oluşan bir sorundur. Donatının altında bir oturma olur ve bu da betonda ayrışmalara neden olur.



Şekil 2.2 Donatının etrafındaki betonda oluşan rötre, çatlaklara neden olabilir.

2.1.1.3 Kullanım Aşamasında Oluşabilecek Koşullar

Yapılarda kullanım aşamasında tasarlandığından fazla yükleme yapılması yapı malzemesinde hasara neden olmaktadır. Bu yüzden yapılarda fonksiyon değişiklikleri yapılması sakıncalıdır.

Yapı malzemesinde kullanım aşamasında oluşan bir diğer sorun da aşınmadır. Aşınma, aşırı yükleme ya da kötü kullanımdan doğabilen bir sorundur. Yüksek mukavemetli beton üreterek bu sorun önlenebilir.

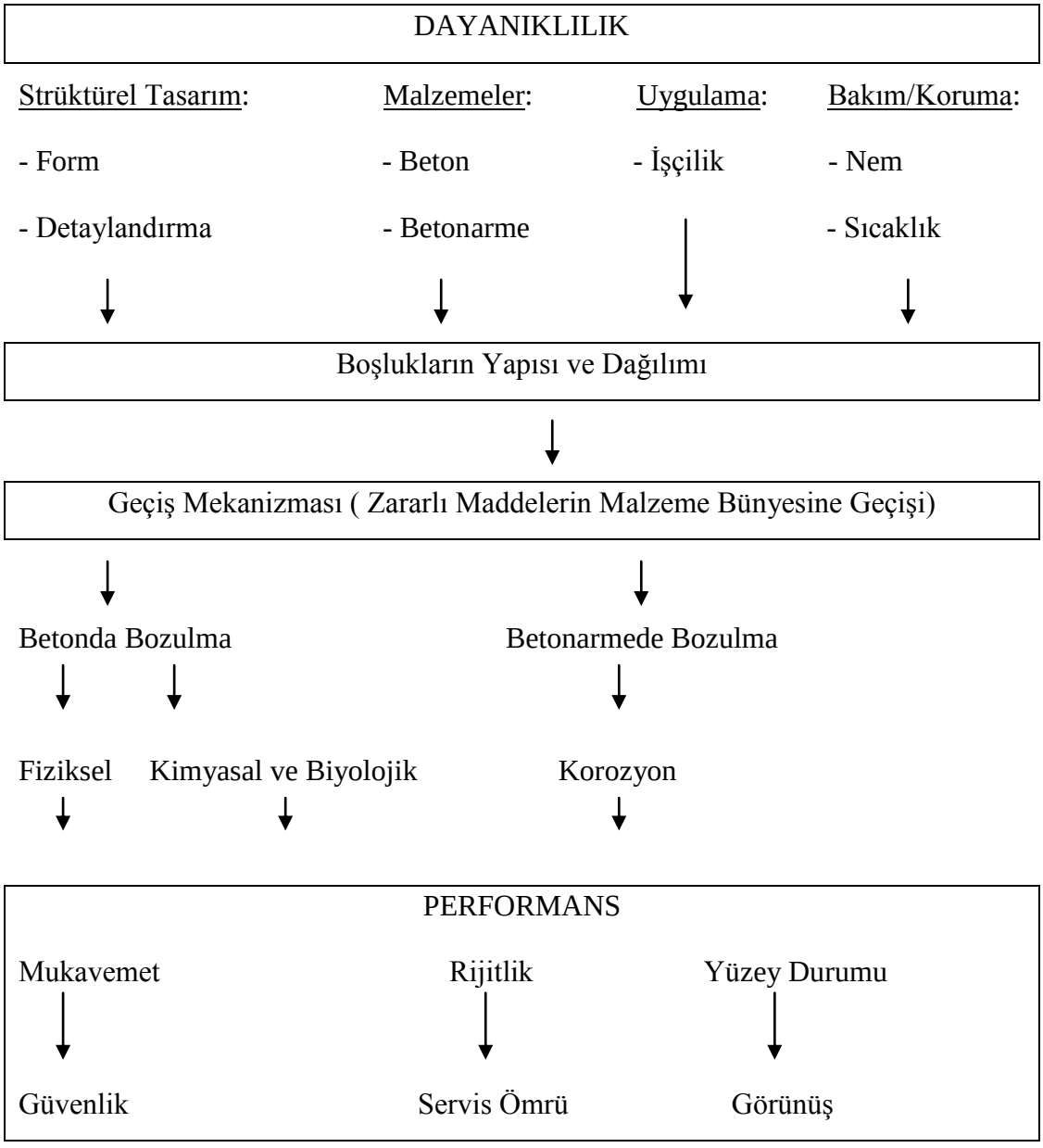
Rüzgarın etkisiyle yapının cephesinde aşınmalar olabilir. Rüzgarın beraberinde taşıdığı kum gibi granülometrisi küçük maddeler cepheye çarparak cephede aşınmalara neden olur. Özellikle uzun yıllar ayakta kalmış tarihi binalarda rüzgarın sebep olduğu aşınma etkisi büyüktür.

Yapıya zarar veren bir başka etki de yapının çatısına, pencere kenarlarına vb. çıkıntılara yerleşen tozların nemlenmesiyle oluşan yosun, liken vb. sarıcı bitkilerdir. Bu bitkilerin kökleri yapı malzemesinin ayrışmasına sebep olabilmektedir.

Islak hacimlerdeki yıkama suyu geçirimliliğin yüksek olduğu betonlarda hasara neden olmakta, bu da dayanıklılığı azaltmaktadır.

Özetlenecek olursa, 21. yüzyılda beton dayanıklılığının gelişimi; özelliklerini kontrol ve optimize ederek dikkatlice seçilmiş malzemelerle ve betonun; karıştırma, ulaşım, yerleştirme ve kürleme koşullarındaki değişkenliğin azaltılmasıyla sağlanacaktır. Geri beslenme(feedback) yöntemi aracılığıyla ulaşılan bilgi ile uyumlu uygulamaların yapılması ve bunların tahribatsız değerlendirme teknikleri ile

kontrol edilmesi, ürün ve yerleşmesi hakkında daha fazla otomasyon ve beton ile bulunduğu çevre arasındaki etkileşimin anlaşılmasında kaydedilen ilerlemeler, bu gelişmelerin başardıkları arasında olacaktır. [5]



Şekil 2.3Betonun Dayanıklılığı ve Performansı Arasındaki İlişki [6]

2.2 Dayanıklılığı Etkileyen Faktörler

Yapının tasarım, uygulama ve kullanım aşamasında oluşan koşullar bazı faktörlerin devreye girmesine ve betonun bozulmasına sebep olur. Bu faktörler:

1. Fiziksel Faktörler:
   - Su emme
   - Geçirimlilik
   - Kapiler su geçirimliliği
   - Donma-çözülme
   - Islanma- kuruma
   - Termik gerilmeler
   - Hidrolik rötre
   - Sünme
   - Şok dalgaları
   - Aşınma
   - Erozyon ve kavitasyon
   - Yangın
2. Dışarıdan Gelen Kimyasal Faktörler:
   - Yumuşak su etkisi
   - Asit etkisi
   - Magnezyum tuzları ile yüklü suların etkisi
   - Sülfatlı su etkisi
   - Deniz suyu etkisi
   - Tuz etkisi
   - Karbonatlaşma
3. Beton İçinden Gelen Kimyasal Faktörler
   - Alkali – Agrega Reaksiyonları
   - Uygun Olmayan Çimento Kullanımı
   - Biyolojik Korozyon
4. Donatının Korozyonu

2.2.1 Fiziksel Bozulma Faktörleri

Malzemede fiziksel bozulma faktörlerini incelemeden önce betonun boşluk yapısı hakkında bilgi edinmek gerekir. Metaller, sıvılar, cam ve bazı plastikler dışında hemen her malzeme bünyesinde az ya da çok boşluk içerir. Bir beton ne kadar iyi üretilirse üretilsin muhakkak bir miktar boşluk içerir. Bu boşlukların bir kısmı çimento hamurunda yer almaktadır. Bir kısım boşluklarda agrega taneleri ile çimento hamuru arasında bulunmaktadır. Bunların dışında betonun iyi üretilmemesi sonucu agrega taneleri arasında bir miktar boşluk bulunabilir. Bir de beton üretiminde kullanılan agrega tanelerinin içerdiği boşluklar vardır.

Bu boşluklardan, çimento hamurunun içinde yer alan boşluklar en küçük boyutta olanlardır:

- Boyutları $10^4 – 10^2$ Å arasında değişen kılcal boşluklar
- Boyutları $10^3 – 10^2$ Å arasında değişen mikro boşluklar
- Boyutları 10^2 Å dan küçük olan jeller [7]

Malzemede bulunan boşluk hacminin malzemenin tüm hacmine oranına boşluk (porozite), malzemenin dolu kısmının malzemenin tüm hacmine oranına ise doluluk (kompasite) denir. Bu nedenle, cismin doluluk ve boşluk hacimlerinin toplamı daima 1 değerini verecektir. [8]

$$V = V_p + V_k \tag{2.1}$$

$$p = \frac{V_p}{V} \tag{2.2}$$

$$k = \frac{V_k}{V} \tag{2.3}$$

$$p + k = 1 \tag{2.4}$$

V = Malzemenin hacmi

V_p = Malzemedeki boşluk hacmi

V_k = Malzemedeki doluluk hacmi

p = Porozite

k = Kompozite

2.2.1.1 Su Emme

Malzemede 2 çeşit boşluk (gözenek) yapısı vardır: Dışa açık gözenekler ve dışa kapalı gözenekler. Dışarıda bulunan su, malzemedeki açık gözeneklere dolarak, malzemenin bünyesine girer. Çalışmanın deneysel kısmında da uygulanmış olan su emme deneyi ile açık yapılı gözenekler hakkında bilgi edinilebilir. Bu deneyde, örnekler hava kurusu olarak, değişmez ağırlığa gelene kadar 7 gün laboratuvar ortamında bekletilirler. Ortam nemine doygun hale geldikten sonra boyutları ölçülür, ağırlıkları tartılır. Örneklerin suya doyurulması için, altı da ıslanacak şekilde cam bagetler üzerine, bir kap içine konulur, örneklerin bulunduğu kap içindeki su seviyesi, örneklerin önce 1/4'üne , sonra 1/2'sine, daha sonra 3/4'üne gelecek şekilde birer saat su içinde bekletilir, 3 saatin sonunda örneklerin üzerini 2 parmak geçecek şekilde su ile doldurulup, 48 saat boyunca laboratuvar ortamında bekletilir. Böylece suya doygun hale gelen örnekler bir arşimet terazisi yardımıyla su içinde tartılırlar. Daha sonra yüzeyindeki su hafifçe silinen örnekler tekrar tartılırlar. [9]

$$Sa = \frac{P_1 - P_0}{P_0} \times 100 \qquad (2.5)$$

$$\Delta = \frac{P_0}{a \times b \times L} \quad \text{(Geometrik yolla hacim bulunarak)} \qquad (2.6)$$

$$\delta = \frac{P_0}{P_1 - P_2} \quad \text{(Su içinde hacim bulunarak)} \qquad (2.7)$$

Sa : Su emme yüzdesi (%)

Δ : Birim hacim ağırlık (gr/cm^3)

δ: Özgül ağırlık (gr/cm^3)

P_0 : Ortam nemi ağırlığı (gr)

P_1 : 105^{0}C'ye kadar kurutulmuş örnek ağırlığı (gr)

P_2 : Su içindeki ağırlık (gr)

a , b , L : Malzemenin boyutu (cm)

2.2.1.2 Geçirimlilik

Bir basınç farkının etkisiyle suyu bir yandan öteki yana geçirme yeteneğine geçirimlilik (basınçlı su geçirimliliği) denir. Geçirimlilik, belirtilen koşullar altında birim alandan birim zamanda geçen su miktarı ile belirtilir ve geçirimlilik katsayısı

denilen bir karakteristik ile gösterilebilir. Geçirimlilik malzemenin gözenekliliği ile yakından ilgilidir. [2]

Geçirimlilik, Darcy Kanunu adı verilen bir denkleme göre hesaplanan geçirimlilik (permeabilite) katsayısı ile ölçülür.Betonda bu katsayı $10^{-6} – 10^{-9}$ mertebesindedir. [10]

$$q = \frac{Q}{A} \tag{2.8}$$

$$k = q \times \frac{\Delta x}{\Delta p} \tag{2.9}$$

q : Debi, birim alandan birim zamanda geçen su miktarı (gr/cm^2sn)

Q : Birim zamanda geçen su miktarı (gr/sn)

A : Kesit alanı (cm^2)

k : Geçirimlilik katsayısı

Δx : Numune kalınlığı (cm)

Δp : Su basıncı farkı (cm.su sütunu)

Betonların geçirimlilik olayına maruz kalması şu zararları meydana getirir :

- Çimentonun hidratasyonu sonucunda meydana gelen serbest kireç $Ca(OH)_2$, suda çözünür. Bunun sonucunda betonun zamanla porozitesi artar ve mukavemeti azalır.
- Betonların geçirimli olması ortamın zararlı kimyasal etkilerinin artmasına yol açar.
- Betonların donma olayında hasara uğraması geçirimlilik olayından kaynaklanmaktadır.
- Betonarme yapılarda betonun içine giren su donatıların korozyonuna neden olur. [7]

Beton içindeki açık yapılı gözeneklerden suyun malzeme içinde basınç farkının yardımıyla ilerlemesine geçirimlilik denir. Görüldüğü gibi betonun dayanıklılığını birebir etkileyen geçirimlilik özellikle ıslak hacimlerde dikkat edilmesi gereken bir konudur.

Dozajı yükseltmek betondaki geçirimliliği düşürmek için bir çözüm olabilir. Dozajın 350 kg/m^3 ün üstünde kalması geçirimsizlik açısından bir güvencedir. [9]

Su/Çimento oranını optimum bir değerde tutmak gereklidir. Bu oran yüksek olursa beton fazla boşluk içerir, düşük olursa işlenebilirlik düşük olduğundan beton iyi yerleşemez yine beton boşluklu olur.

Agrega seçimi de geçirimlilik için önemli bir faktördür. Agregalar granülometrisine uygun seçilmeli ve mümkünse kırmataş değil doğal agrega yani çakıl kullanılmalıdır. Böylece agregalar daha az sivri köşe içereceklerinden ve birim hacim ağırlıkları daha yüksek olduğu için daha az boşluklu bir beton elde edilecektir.

Kullanılan çimentonun karakteristiklerinin de önemi vardır. Hidratasyon hızının yüksek olmasıyla geçirimlilik değeri küçülebilir. Hidratasyonun zamanla gelişmesi geçirimliliğin zamanla azalmasına sebep olur. Eğer beton devamlı olarak sulu bir ortamda bulunuyorsa şişmenin fazla olması halinde, hidratasyonun ilerlemesi ile boşluk miktarı azalacak ve bunun sonunda da geçirimlilik büyük bir değer almayacaktır. Buna karşılık beton devamlı su içinde bulunmuyorsa rötrenin büyük olması halinde çatlakların oluşması geçirimliliği artıracaktır. [7]

2.2.1.3 Kapiler Su Geçirimliliği

Kapiler su geçirimliliğinde betonun alt yüzeyine değen su, yer çekimine rağmen, yer çekimine ters yönde malzemenin içinde yükselir. Su ile malzeme arasında ilk önce oluşan çekimden dolayı ıslatma meydana gelir. Farklı malzemeler arasındaki bu çekim kuvvetine adezyon denilir. Yüzeye değen su daha sonra malzemenin bünyesinde bulunan çok küçük çaplı kılcal boşluklarda moleküler çekim etkisiyle yükselir. Suyun kendi molekülleri arasında oluşan bu çekim kuvvetine de kohezyon denir.

Adezyon ve kohezyon kuvvetleri, suyun yüzey gerilmeleri vb. etkiler suyun ters yönde hareketine imkan verir ve su kılcal borucuklar içinde yükselir.

Malzemedeki kapiler su geçirimliliğini ölçmek için, çalışmanın deneysel kısmında da yapılmış olan kapiler su emme tayini deneyi yapılır. Kapiler (kılcal) su emme tayini, cismin alt yüzünden (tabanından) suya değdirilmesi ve kılcallık yoluyla suyun zamana bağlı olarak yükselmesi ile saptanan bir büyüklüktür. Sonuçta malzemenin ağırlık artışı ile kılcal su emme (kılcallık) katsayısı belirlenir. Birimi $cm^3/cm^2\sqrt{dak}$ veya $cm^3/cm^2\sqrt{sn}$ 'dir. [8]

Örnekler ortam koşullarında kurumaya bırakılırlar. Deney günü geldiğinde örnekler tartılır ve bir kaba örneklerin oturtulacağı bagetler yerleştirilir, örneklerin sadece alt yüzlerinden suya değecek şekilde distile su ilave edilir. Daha sonra bir kronometre yardımıyla süre tutulur ve aralıklarla tartım yapılır. Deney boyunca su seviyesi kontrol edilir, örneklerin tabanından yukarı çıkmasına izin verilmezken, su seviyesinin düşmesi durumunda su ilavesi yapılır. Böylece N kılcallık (kapilerite) katsayısı hesaplanır.

$$N = \frac{m_1 - m_0}{A\sqrt{t}} \qquad (2.10)$$

N : Kılcallık katsayısı ($cm^3/cm^2\sqrt{dak}$)

m : Örneklerin ortam nemi ağırlığı (gr)

m_0 : Örneklerin ilk ağırlıkları (gr)

m_1 : Örneklerin belli bir zaman dilimi sonunda ağırlıkları (gr)

A : Örneklerin suya değen taban alanları (cm^2)

t : Örneklerin suyla temas ettiği süre (sn)

Kapiler su geçirimliliğinde de geçirimlilik gibi agrega granülometrisine dikkat edilmeli granülometrinin standarttaki referans eğrileri arasında kalmasına özen gösterilmelidir.

Su/Çimento oranının yüksek olmasına ve çimento dozajının 300 Kg'dan düşük olmamasına özen gösterilmelidir.

2.2.1.4 Donma – Çözülme

Daha önce de söylendiği gibi üretilen betonun kalitesi çok iyi olsa bile beton bünyesinde bir miktar boşluk içerir. Bu boşluklara çeşitli sebeplerle su dolduktan sonra ortam sıcaklığının sıfırın altına düşmesiyle boşluklar içinde bulunan su donar. Suyun donması sonucunda hacminde % 8 –10 dolaylarında bir artış olur. Bu hacim artışı betonun içinde çekme gerilmelerinin artmasına neden olur. Bu sırada buz da basınç gerilmeleri oluşur. Buzda oluşan basınç gerilmeleri buzun basınç mukavemetinden düşük ise betona zarar verecektir. Eğer basınç gerilmeleri basınç mukavemetinden yüksek ise buz kırılıp su haline gelecek ve donmadan zarar görme tehlikesi ortadan kalkacaktır. Buzun basınç mukavemeti sıcaklık derecesi düştükçe artmaktadır. [4]

Bu olay beton tazeyken, yani henüz prizini almamış, sertleşmemişken olursa, hidratasyon süreci donma boyunca ertelenmiş olarak kalmış olacaktır. Çözülme olduğu zaman, karma suyunun genleşmesiyle büyük hacimde gözenekler üretmeye meyilli olmasına rağmen, dikkate değer bir mukavemet kaybı olmadan katılaşacaktır. [3]

Eğer beton ilk prizini aldıktan ama priz alma işlemini tamamen bitirmeden, başka deyişle kendisinden beklenen mukavemeti kazanmadan donma olayı gerçekleşirse, betonda giderilemez mukavemet kayıpları oluşacaktır. [3]

Yeterli mukavemeti kazanmış betonda gerçekleşecek donma olayına beton direnebilir. Ama bu hiçbir etki yapmayacağı anlamına gelmez. Donmanın betonda oluşturabileceği hasarlar şu şekilde sıralanabilir :

- Betonda oluşabilecek ayrışma, tozlaşma ve kopmalardan dolayı ağırlığında azalmalar olabilir.
- Donma olayında suyun buza dönüşmek suretiyle yaptığı hacim artışıyla meydana gelen iç gerilmeler boşluk miktarında artışlara neden olur.
- Boşluk yapısında değişiklikler olur. Kılcal boşlukların çapı artar. [4]
- Betonda porozitenin artması ve çatlakların oluşmasından dolayı basınç, eğilme dayanımı, elastiklik modülü gibi mekanik özellikler azalır.

Sayılan bu zararların gerçekleşebilmesi yani donmanın betona zarar verebilmesi için üç faktörün olması gerekir:

1. Betonun boşluklarında suyun bulunması
2. Ortam sıcaklığının sıfırın altına düşmesi
3. Donma-çözülme çevrimlerinin tekrar etmesi

Yukarıda da söylendiği gibi yeterli mukavemeti kazanmış beton donma olayına direnebilir. Ancak donma ve çözülme evrelerinin sürekli birbirini tekrar etmesi, betonda oluşan gerilmelerin sebep olduğu çatlakların sayısını arttırır, var olan çatlakları büyütür, bu olayın devam etmesi ise betondan ayrışmalara ve kopmalara neden olur. Donma-çözülme tekrarlarında en önemli etken iklimdir. Gece gündüz sıcaklık farkının çok olduğu karasal iklim bölgelerinde bu hasar çok görülür.

Betonda oluşabilecek donma-çözülme hasarlarını öğrenebilmek için, tabii don tesirine dayanıklılık deneyi yapılaır. TS 699 esas alınarak yapılan bu deneyde, beton örnekler hava kurusu olarak 7 gün laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Ortam

nemine doygun hale geldikten sonra boyutları ölçülür, ağırlıkları tartılır. Böylece örneklerin don kaybı hesabında kullanılacak ilk ağırlıkları (Go) tespit edilir. Örneklerin suya doyurulması için ; Örneklerin bulunduğu kap içindeki su seviyesi, örneklerin önce 1/4'üne, sonra 1/2'sine, daha sonra 3/4'üne gelecek şekilde birer saat su içinde bekletilir, 3 saatin sonunda örneklerin üzerini 2 parmak geçecek şekilde su ile doldurulup, 48 saat boyunca laboratuvar ortamında bekletilir. Daha sonra donma-çözülme çevrimine geçilir. Bunun için suya doygun örnekler soğutma hızı yaklaşık 4 saat içinde -20^0C' ye düşecek şekilde ayarlanmış soğuk hava dolabına konulur. Soğuk hava dolabı sıcaklığının -20^0C'ye gözlendikten sonra yaklaşık 2 saat bu sıcaklıkta bekletilen deney örnekleri bu süre sonunda soğuk odadan çıkarılarak içinde $20 \pm 5\,^{o}$C sıcaklıktaki su içine tamamen su altında kalacak şekilde daldırılmış örnekteki buzlar tamamen eridikten sonra, ki bu süre en az 2 saatir, tekrar soğuk hava dolabına konulur.

Bu şekilde donma ve çözülme işlemi 25 kez tekrarlanarak her defasında deney örneklerinde meydana gelen gözle görülür değişiklikler kaydedilir.

Her beş çevrimden sonra örneklerin ağırlıkları tartılır ve boşluk yapısında bir değişme olup olmadığını gözlemlemek amacıyla ultrases geçiş hızı deneyine tabii tutulurlar. Donma çözülme işlemlerinin sonunda deney örnekleri laboratuvar ortamında, hava kurusu olacak şekilde bekletilir. Örnekler ortam nemine doygun hale gelince örnekler tartılır, örneklerin deneyden sonraki kütleleri (G_k) bulunur.

Tabi don tesirine dayanıklılık deneyinde don tesirleri sebebiyle koparak ayrılan kısımlardan meydana gelen kütle azalması (don kaybı) aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır :

$$D_k = \frac{G_0 - G_k}{G_0} \times 100 \qquad (2.11)$$

Burada;

D_k : Deney sonrası kütle kaybı (don kaybı) (%)
G_0 : Örneğin deneyden önceki kütlesi (gr)
G_k : Örneğin deneyden sonraki kütlesi (gr)

25 çevrimin sonunda örneklere eğilmede çekme ve basınç deneyleri yapılarak mekanik mukavemetlerindeki değişim ölçülür. [9]

Donma-çözülme hasarlarını önlemek için tasarım aşamasında beton bileşenlerinin karışım hesapları yapılırken, bu faktör göz önüne alınarak kompasitesi yüksek, porozitesi düşük bir beton karışımı hazırlanmalıdır.

Betondaki boşluk miktarını azaltmak için:

- Su/Çimento oranı düşük tutulması
- Agrega granülometrisine dikkat edilmesi
- Yoğunluğu fazla olan doğal taşlar agrega olarak kullanılması
- Seçilen çimentoda yabancı madde oranı çok olmamalı
- Beton yerine iyi yerleştirilmeli, vibrasyonla boşluk kalmadığından emin olunması
- Beton uygun hava koşullarında üretilmesi

Şeklinde önlemler alınabilir. Ayrıca hava sürükleyiciler kullanılarak betondaki boşluk oranı ayarlanabilir. Betonun tamamen kompakt, dolu olması da istenilen bir durum değildir. Betonda donma etkisiyle oluşacak genleşmeler için ayrılabilecek rezerv boşlukları olması gerekir. Bu orana, doygunluk derecesi (D) denir ve $D \leq \%80$ olması istenir. Ayrılmış olan bu rezerv boşlukları ile genleşmelerin oluşturacağı gerilmelerin zararı en aza indirilebilir. Yalnız bu boşlukların kapalı gözenekli olması gerekir.

2.2.1.5 Islanma – Kuruma

Malzemenin bünyesine su girmesiyle taneleri birbirinden ayrılmaya çalışır. Yapısında hiçbir değişiklik olmaksızın malzeme şişer. Suyun buharlaşmasıyla ise taneler birbirine yaklaşır yani büzülür. Şişme olayı büzülmeden az olur. Bu da malzemenin yapısında çatlakların oluşmasına sebep olur.

Çalışmanın deneysel kısmında, ıslanma kuruma deneyi yapılmıştır. Bu deneyde, tüm örnekler hava kurusu olarak 7 gün laboratuvar ortamında bekletilir. Ortam nemine doygun hale geldikten sonra boyutları ölçülür, ağırlıkları tartılır. Böylece örneklerin ıslanma-kuruma çevrimi sonucunda bünyelerinde oluşacak ağırlık kaybını hesap ederken kullanılacak ilk ağırlıkları (G_0) tespit edilir.

Örneklerin suya doyurulması için ; Örneklerin bulunduğu kap içindeki su seviyesi, örneklerin önce 1/4'üne, sonra 1/2'sine, daha sonra 3/4'üne gelecek şekilde birer saat su içinde bekletilir, 3 saatin sonunda örneklerin üzerini 2 parmak geçecek

şekilde su ile doldurulup, 48 saat boyunca laboratuvar ortamında bekletilir. Daha sonra ıslanma-kuruma çevrimine geçilir. Bunun için suya doygun örnekler $50 \pm 5^{o}C$ sıcaklığa ayarlanan etüve yerleştirilir. Bütün gece bu sıcaklıktaki etüvde bekletilen deney örnekleri ertesi sabah etüvden çıkarılarak 1 saat laboratuvar ortamı koşullarında bekletilirler. Böylece örneklerin suya bırakılmadan önce sıcaklık dereceleri düşürülür ve ani şok tesiri altında kalmaları önlenir. 1 saat sonra örnekler $20 \pm 5^{o}C$ sıcaklıktaki su içine tamamen su altında kalacak şekilde daldırılırlar. Su içinde altı saat kaldıktan sonra tekrar etüve yerleştirilirler.

Bu şekilde ıslanma-kuruma çevrimi 25 kez tekrarlanarak her defasında deney örneklerinde meydana gelen gözle görülür değişiklikler kaydedilir. Her beş çevrimden sonra örneklerin ağırlıkları tartılır ve boşluk yapısında bir değişme olup olmadığını gözlemlemek amacıyla ultrases geçiş hızı deneyine tabii tutulurlar.

Tablo 2.1 Bazı malzemelerin şişme-büzülme değerleri [8]

Malzeme	Şişme mm/m	Büzülme mm/m
300 dozlu beton	0,14 - 0,16	0,2
180 dozlu beton	0,16 - 0,18	0,2
Çimento harcı	0,2	0,3 - 0,45
Melez sıva harcı	0,35	0,4 - 0,6
Kireç harcı sıva	0,4	0,8 - 1,1
Yapay taş	0,16 – 0,2	0,2
Kum Taşı (gre)	0,3 - 0,6	0,3 - 0,6
Bazalt	0,35	0,38
Granit	0,06 - 0,2	0,15 - 0,2
Kalker	0,09 - 0,16	0,13 - 0,4

Islanma-kuruma çevrimlerinin sonunda deney örnekleri laboratuvar ortamında, hava kurusu olacak şekilde bekletilirler. Örnekler ortam nemine doygun hale gelince tartılır, örneklerin deneyden sonraki kütleleri (G_k) bulunur.

Meydana gelen kütle azalması, donma-çözülme çevrimindekine paralel olarak, aşağıdaki formülle (2.12) hesaplanır. Daha sonra örneklerin mekanik mukavemetlerindeki değişiklikleri ölçmek için, örneklere eğilmede çekme ve basınç deneyleri uygulanır.

$$D_k = \frac{G_0 - G_k}{G_0} \times 100 \quad (2.12)$$

Burada;

D_k : Deney sonrası kütle kaybı (%)

G_o : Örneğin deneyden önceki kütlesi (gr)

G_k : Örneğin deneyden sonraki kütlesi (gr)

2.2.1.6 Isıl Gerilmeler

Islanma ve kuruma paralelinde termik genleşme ve daralma(büzülme) olayları ortaya çıkar. Bir beton yapı içinde sıcaklık değişimleri hacim farklılaşmaları ile sonuçlanır. Sıcaklığın artması malzemenin uzamasına, azalması ise malzemenin kısalmasına neden olur. Genleşme veya büzülme engellendiği zaman, oluşan çekme gerilmeleri betonun çekme gerilme kapasitesini aşar ve hasar oluşur. Yapı tasarımı yaparken genleşmeleri farklı olan malzemeleri bir araya getirirken uygun detay çözümlerine gidilmeli ya da ya da genleşme katsayısı birbirine yakın malzemeler seçilmelidir. Bu yüzden tasarım yaparken malzemelerin genleşme katsayıları göz önüne alınmalıdır.

Genleşme katsayısı ise, cisimlerin boy ve hacimlerinin sıcaklıkla artması nedeniyle yapısal tasarımı doğrudan etkileyen önemli bir konudur. Cismin sıcaklığının 1^0C artması halinde birim boydaki uzama miktarıdır. Genellikle (α) ile gösterilir. Birimi m/m^{0}C'dir. Aynı şekilde sıcaklığın 1^0C azalmasıyla birim boydaki kısalma daralmayı (büzülmeyi) verir.

$$l = l_0(1 + \alpha \times \Delta t) \quad (2.13)$$

(l_0) boyundaki bir cismin sıcaklığı (Δt) kadar arttığında ve cismin genleşme katsayısı (α) ile gösterildiğinde cismin yeni boyu (l) yukarıdaki bağıntı ile hesaplanabilir. [8]

Eğer malzemenin ısı ile genleşmesi engelleniyorsa oluşan gerilmeler şöyle hesaplanır:

$$\sigma = E \times \alpha \times \Delta t \quad (2.14)$$

σ : Gerilme (N/m^2)

E : Elastiste modülü (N/m^2)

Büzülme ve genleşme, daha önceden oluşan çatlakların açılmasına ve kopmaya sebep olur. Kış aylarında, dış ortamın soğuk olmasından dolayı, duvarların dışı daralma eğilimindedir. Dış ortamdan daha sıcak olan binanın ve/veya toprağın içinde kalan iç bölümler ise genleşme yapma eğilimindedirler. Bu ters davranışlar sonucunda, duvar dışında çekme gerilmeleri oluşur ve düşey yönde gelişen çatlaklar oluşur. Duvarla bağlantılı olan döşemede de yatay çatlaklar oluşabilir. Bu çatlaklar duvar bölgesinde geniş olurken döşemenin iç bölgesinde daralıp kaybolacaklardır. [11]

2.2.1.7 Hidrolik Rötre

Sertleşmiş beton rötresi ya da kuruma rötresi adları da verilen hidrolik rötre, sertleşmiş betonun üretiminin ilk günlerinde, bünyesindeki suyunu kaybetmesi sonucunda yaptığı hacim küçülmesi sonucu oluşan büzülmedir. Hidrolik rötre üretimin ilk gününden başlar, ilk altı haftada önemli bir bölümünü gerçekleştirir. 5-6 ay boyunca hacimdeki küçülmeler devam eder.

Rötreye neden olan jellerin başında C_2S hidrate ögelerinin jelleri gelir.Bu bakımdan C_2S oranı yüksek çimentolarda son rötre değerinin daha fazla olması beklenir. Rötre olayı çimentonun varlığına bağlıdır. Betonda agreganın bulunması hacim daralmasına karşı koyar. Agrega tanelerinin elastisite modülleri ne kadar yüksekse, çimentonun daralma yönündeki basıncı sonucu oluşacak tüm kütlenin büzülmesi o kadar fazla önlenir. [10]

Eğer rötre engellenirse, çekme gerilmeleri oluşur ve bu olay çatlamayla sonuçlanır. Engellenen rötreden dolayı oluşan çatlaklar, genellikle yapımdan sonra fark edilir, fakat kurumanın yavaş olduğu yerlerde uzun süre görülmeyebilir. Saç teli kadar incelikten, 3mm kalınlığa kadar farklılaşabilen bu çatlaklar, nem, CO_2 ve diğer zararlı tuzlar tarafından betona giriş yeri olarak kullanılırlar. [3]

2.2.1.8 Sünme

Beton sabit bir yük altında bırakılırsa, yüklenir yüklenmez ani bir deformasyon yapar; yük yeterli bir süre beton üzerinde kaldığında şekil değiştirmenin arttığı görülür. Sabit yük altında şekil değiştirmenin artması olayına sünme (fluage , creep) adı verilmektedir.Sabit yükün belirli bir değerin altında kalması durumunda sünme değerinin artışı zamanla azalarak bir maksimum şekil değiştirme sınırına ulaşır.

Tersine sabit yük belirli bir değerin üzerinde ise şekil değiştirmedeki artış betonun kırılmasıyla sonuçlanana kadar gider. Buna sabit yük altında kırılma sınırı denir. [1]

Sürekli yük altında betonda oluşan kalıcı deformasyon olan sünmenin sonuçları uzun yıllar sonra görülür. Sünmenin etkisi baskı altında betondaki gerilmede azalmaya yol açmaktadır. Yine de; strüktürel elemanların sünmesine izin vermede başarısız kalan yetersiz tasarımlar, bölme duvarlar veya kaplama panelleri gibi strüktürel olmayan elemanlara yük transferine ve bunun sonucunda çatlama ve hasarlara yol açar. [3]

2.2.1.9 Şok Dalgaları

Beton iyi bir titreşim söndürücü madde sayılmaz. Bazı durumlarda üzerine gelen şok dalgalarını yansıtarak kararlı titreşimlerin oluşmasına yol açar. Bu dalgaların oluşturduğu çekme gerilmeleri, özellikle tekrarlandığında yorulma etkisi doğurur ve kırılmalar meydana gelir. Çekme gerilmelerinin doğması sonucu hasar oluşması betonun heterojen yapısının sonucudur. [4]

Betonun bu heterojen yapısından dolayı kapak atmaya (spalling) eğilimlidir. Köşelerde ve konsollarda parça kopması şeklinde hasarlar görülür. Bu olay özellikle deniz yapılarında; dalga kıranlarda, rıhtımlarda, makine temellerinde, vb. yapılarda görülür.

Şok dalgalarının oluştuğu birkaç durum şunlardır:

- Deprem esnasında oluşan gerilmeler
- Bombalama sırasında oluşan gerilmeler
- Deniz yapılarında dalgaların oluşturduğu gerilmeler [3]

2.2.1.10 Aşınma

Aşınma, betonda tekrarlanan ovalama, yuvarlama ve sürtünme gibi olaylar sonucu betonun tahribatıdır. Döşemede ağır yüklü çelik tekerlekler, döşemeyi kazıma, eskitme, sürtme kombinasyonuna maruz bırakır. Bu da aşınmaya yol açar. [3]

Yollarda, hava meydanlarında ve genel olarak döşeme kaplamalarında kullanılan betonlar önemli derecede aşınma etkisi altında bulunmaktadır. Bu tür inşaatlarda betonun yeterli bir aşınma mukavemetine sahip olmaması halinde fazla aşınma

sonucunda beton tabakasının kalınlığı azalarak yapı elemanı işlevini göremez bir hal alır. [7]

Aşınmanın oluştuğu beton yüzeyinde agrega yüzeyleri parlaktır. Ayrıca trafik yönüne ve virajlara uyan aşınma çizgileri oluşmuştur. Aşınma sırasında betondan sökülerek oluşan tozların varlığı ve döküntü tozları bu hasarı gösteren kanıtlardır.[4]

2.2.1.11 Erozyon ve Kavitasyon

Erozyon, içinde kum ve çakıl gibi kütleler içeren suların aşındırıcı hareketleri tarafından oluşan aşınmaya denir. Kavitasyon ise yüksek akış hızındaki hava kabarcıklarının içeriye doğru şiddetlice çökmesiyle oluşan oyuk ya da kovuklardır. Pürüzsüz bir şekilde akan temiz su, çok yüksek akış hızına sahip olsa bile betonu tahrip etmez, fakat akma hızı ya da akma yönünde oluşan ani değişiklikler veya sudaki basıncı azaltacak koşullar oluşursa kavitasyondan dolayı çukurcuklar oluşur. [3]

Özellikle baraj yapılarında; eğimli su tüneli tabanları, düşüm yatağı hazneleri, dinlendirme havuzları, boşaltma kapaklarını kılavuzlayan dikme ve payandalar en çok hasara uğrayan elemanlar olmaktadır.

2.2.1.12 Yangın

Betonarme yapıların yangına dayanıklılığı yapının taşıyıcı sistemi ile, betonun yüksek sıcaklıktaki davranışına bağlıdır. Genel olarak beton kısa süren (birkaç saat) ve sıcaklık derecesi 600^0C' yi geçmeyen yangınlarda donatılardan daha iyi bir dayanıklılık gösterir. 600^0C' de beton mukavemetinin yarısını kaybedebilir. Sıcaklık derecesinin 800^0C' ye çıkması halinde, hidrate elemanların içindeki buldukları suyu kaybetmeleri sonunda mukavemetteki azalma %80' ne varabilir ki bu da yapının yıkılmasına yol açar. [7]

Beton yangın sırasında yüksek sıcaklıklara maruz kaldığı zaman, içinde yer alan suyun buharlaşması sonucu rötreye uğrar ve yükselen sıcaklıklarda kümülatif bir şekilde hasar görür. Yangının beton üzerindeki etkisinde, ulaşılan sıcaklık, çimento cinsi, su/çimento oranı, agrega cinsi, çimento içeriği, paspayı kalınlığı, sıcaklığın devam ettiği süre önemlidir. [11]

2.2.2 Dış Etkiler Sonucu Oluşan Kimyasal Faktörler

Bazı kimyasal faktörler betonun kimyasal bileşenlerini değiştirerek ayrışmasına, özelliklerini kaybetmesine sebep olur. Çoğunlukla kimyasal bozulma fiziksel bozulma ile beraber olur. Zararlı su ve havanın betonda oluşturduğu ve kimyasal sebeplere dayanan korozyon hasarı, fiziksel etkenler sonucu daha büyük boyutlara ulaşır. [12]

Hidrate olmuş portland çimentosu yumuşak su ve birçok tuz ve asit çözeltileri tarafından saldırıya uğrar. Dış çevreden betona çeşitli maddelerin girmesi, çeşitli formlardaki kimyasalların çimento hamuru ve agrega bileşenleri ile tepkimeye girerek bozulmayı artırmasına neden olabilir. Betonun kimyasal saldırılara karşı direnci, genellikle porozitesinden doğrudan etkilenmesine rağmen; betonda kullanılan çimento kompozisyonu ve sertleşirken çimento hamurunun maruz kaldığı koşullar betonun özelliklerini ve çevrede bulunan çeşitli sıvılara direnç gösterme yeteneğini belirler. Sıvıya maruz kalma şiddeti (tesadüfi saçılma, aralıklı, sürekli vb.), sıvının beton ile arayüzeyindeki hareketinin hızı, bir eğim basıncının varlığı gibi, beton ve sıvı arasındaki temas şartları da önemlidir. [3]

Saldırgan sıvı sadece dış yüzde etkin olduğunda, betonun bozulması oldukça tecridi (dereceli) ve mekanik yolla hareket ettirilemeyen bozulmuş ürünün tabakasında kalır ve çoğunlukla ileri derecede bozulmayı azaltır. Kimyasal saldırıdan dolayı oluşan en büyük problem, saldırgan sıvının penetre edilerek betonun içindeki boşluklara doğru yükselmesidir. Saldırgan sıvıların betonun içindeki boşluklara penetre edilmesi üç kuvvetin sonucudur:

1. Diffüzyon Basıncı
2. Hidrostatik Basınç
3. Kapiler Kuvvetler [3]

2.2.2.1 Yumuşak Su Etkisi

Yumuşak su, kalsiyum hidroksiti çözerek çimento bileşiklerine ayrıştırır ve sonuçta sadece şekilsiz bir hidratlaşmış silis tortu, demir oksit ve alümin bırakır. Bu tür bir reaksiyon, su beton kütlesine sürekli olarak geçmedikçe yavaş ilerler. Doğal sularda beton çözünme hızı, serbest CO_2 konsantrasyonuna bağlıdır. [3]

Yumuşak su etkisi düşük karbonat sertlikli suların beton öğelerinden bazılarını çözmesi ve yıkayarak beton kütlesinden uzaklaştırması şeklinde meydana gelir. Beton boşluklu ve suyun çözme yeteneği yüksek ise, bu korozyon iç bölgelere doğru ilerleyebilir. Puzolanlı (traslı) çimentoların bu tür korozyona daha dayanıklı olmaları, serbest kireçlerinin düşük olması nedeniyle mümkündür. [12]

2.2.2.2 Asit Etkisi

Asit etkisi, tüm portland çimentosu bileşenlerinin bozulmaya meyilli olmasına rağmen, genellikle kalsiyum hidroksitin şiddetlice etkilendiği bir reaksiyondur. Hem inorganik (sülfürik, hidroklorik, nitrik ve fosforik asitler), hem de organik (laktik, asetik, formik, tannik, propiyonik, vb.) asitler betona karşı saldırgan yapıdadırlar. Asidin cinsine bağlı olarak, saldırı sadece asit etkisi olabilir, ya da asit etkisi ve onu izleyen tuz etkisi şeklinde gelişebilir. [3]

Betona etkiyen asit, genellikle kalsiyum tuzunu, eğer suda çözünmeyen bir tuz oluşturmuş ise, tortu olarak bırakır. Örneğin sülfürik asit, çimentoda alçı taşı olarak tortulaşan kalsiyum sülfatı oluşturmak için, hidroksitle reaksiyona girer:

$$H_2SO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4.2H_2O \qquad (2.15)$$

Daha sonra; ilk çimento ürünü (örn. Kalsiyum sülfat) çimentoda kalsiyumsülfoalüminat (etrenjit) oluşturmak için alüminat fazlar ile reaksiyona girer:

Kalsiyumsülfoalüminatın sonraki kristalleşmesi betonda genleşici bozulmaya yol açar. [11]

$$3CaSO_4 + 3CaO.Al_2O_3.6H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O \qquad (2.16)$$

Asidin etki hızı ve şiddeti; asidin özelliğine, etkileme süresine ve yoğunluğuna göre değişir. Ancak bozulmada en önemli etken, kalsiyum tuzunun çözünürlüğüdür. Çözünürlük arttıkça, beton bünyesine geçen asitlerin zararlı etkileri de artmaktadır. Asit etkisinde, sertleşmiş betonda bozulma yüzeyden başlar ve zamanla bünyesinde yumuşama ve gözenekler oluşur. [6]

- Karbonik Asitli Suların Etkisi :

Atmosferdeki CO_2'nin suda çözünmesi sonucu, doğada bulunan tüm sular karbonik asit içerirler. Sudaki karbonik asit içeriği, suda bulunan CO_2 miktarı ile ölçülür. Karbonik asitli suların betona gösterdiği saldırgan etkide suyun sertlik derecesi, pH

ile ölçülen asitliği de önemli bir faktördür. pH'ı 6'dan yüksek suyun, kireçtaşını çözebilen CO_2 oranı yüksek olsa bile korozif etkisi çok zayıftır. [12]

Öncelikle suda bulunan CO_2, karbonik asite dönüşür:

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3 \quad (2.17)$$

Bu arada suyun içinde bulunan bir miktar kireç CaO ile su içinde bulunan CO_2 tepkimeye girerek $CaCO_3$'ü oluşturur. [11]

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 \quad (2.18)$$

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O \quad (2.19)$$

Karbonik asidin korozyona yol açışı, karbonat, silikat ve alüminatlarla yaptığı kimyasal reaksiyonlara dayanmaktadır. Bunların arasında en yaygın olanı karbonik asidin karbonatlarla yaptığı reaksiyondur. Bu reaksiyonla karbonik asit, suda çözülmeyen karbonatları, suda çözünen bikarbonat tuzlarına dönüştürür. [12]

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \Leftrightarrow Ca(HCO_3)_2 \quad (2.20)$$

Oluşan $Ca(HCO_3)_2$ çimentodaki $Ca(OH)_2$ ile tepkimeye girerek tekrar karbonata dönüşür.

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3 + 2H_2O \quad (2.21)$$

Suda bulunan CO_2 miktarı az ise, tepkime sonunda CO_2 kalmaz ve reaksiyon durur. Böylece önceden meydana gelen $CaCO_3$ betonun boşluklarını doldurarak cismin dış etkilere karşı daha dayanıklı hale gelmesine sebep olur. Fakat tam tersi bir durumda, CO_2 miktarı fazla ya da devamlı yenileniyorsa, serbest kalan CO_2 bi karbonat oluşturarak ayrışma sürecini devam ettirir. [11]

Dış yüzeyde toplanan $CaCO_3$ çiçeklenmeye neden olur. Çiçeklenme estetik bakımdan hoş olmamakla birlikte zararsızdır, yıkanma (çözülme) olayının süregeldiğinin bir kanıtı olarak kabul edilebilir. [12]

2.2.2.3 Magnezyum Tuzları İle Yüklü Suların Etkisi

Su içinde magnezyum katyonlarının varlığı korozyonun oluşmasında büyük etkinlik taşır. Magnezyumun (Mg^{+2}), kalsiyum (Ca^{+2}) katyonlarının yerini alma özelliği (ion exchange) , Mg tuzlarının korozif etkisinin daha zararlı boyutlarda gerçekleşmesine

yol açar. Mg tuzları genellikle sülfat, klorür, karbonat ve bikarbonatlardır. Korozyon etkinliği tuzdaki anyon türüne de bağlıdır, anyonun SO_4^{-2} olması, diğer bir deyişle tuzun sülfat olması saldırganlığı artırır.

Hidrate olmuş portland çimentolarının esas ögeleri kalsiyum silikatlar ($3CaO.2SiO_2.3H_2O$ kısaca CSH), kalsiyum alüminatlar ($3CaO:Al_2O_3.6H_2O$ kısaca C_3AH_6) ve kalsiyum hidroksit ($Ca(OH)_2$ kısaca CH), Mg^{+2} ile iyon değiştirme reaksiyonlarına girerler.

$$3MgSO_4 + 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 8H_2O \rightarrow \underset{\text{(alçıtaşı)}}{3(CaSO_4.2H_2O)} + \underset{\text{(brüsit)}}{3Mg(OH)_2} + \underset{\text{(silisjeli)}}{2SiO_2.H_2O}$$

(2.22)

$$3MgSO_4 + 3Ca.Al_2O_3.6H_2O + 6H_2O \rightarrow 3CaSO_4.2H_2O + Al(OH)_3 + 3Mg(OH)_2$$

(2.23)

$$MgSO_4 + Ca(OH)_2 + 2H_2O \rightarrow CaSO_4.2H_2O + Mg(OH)_2 \qquad (2.24)$$

Bu iyon değiştirme reaksiyonlarının ortak yanı reaksiyon ürünlerinin alçıtaşı ve amorf yapılı $Mg(OH)_2$ (brüsit) oluşudur. Hacim genleşmesi ile meydana gelen alçıtaşı, sülfat etkimesinin birinci aşamasıdır; alçıtaşı daha sonra daha büyük hacim genişlemesine yol açan etrenjite dönüşebilir. Sağlam yapılı silikatların, su içinde nispeten çözünebilir alçıtaşına dönüşmesi, çimentonun esas taşıtıcı öğelerinin bozulduğunu göstermektedir. [12]

Magnezyum hidroksit diğer adıyla brüsit korozyonda faydalı bir rol de oynar. Suda erimeyen bu madde beton yüzeyini örter ve bir bakıma zararlı sülfatların beton içine nüfüzünu önleyerek etrenjit oluşumunu kısıtlar. Ancak uzun süre sonunda brüsit, reaksiyonda açığa çıkardığı silis jeli ile birleşerek magnezyum silikata dönüşür, bu ürün maalesef kalsiyum silikat gibi değildir ve bağlayıcı nitelikten yoksundur. [12]

Magnezyum klorür, iyon değişimi sonucu, $Ca(OH)_2$'yi suda çözünebilen $CaCl_2$'ye dönüştürür ve $Mg(OH)_2$ meydana gelir. Oluşan kalsiyumklorürün zararı, fazla molekül su içeren kalsiyumkloroalüminat ($3Cao.Al_2O_3.3CaCl_2$) meydana getirmesi ile oluşabilir. Ayrıca $MgCl_2$'nin HCl asidini meydana getirerek de zararlı etkisini ortaya koyduğu bilinmektedir. Fakat diğer yandan oluşan $Mg(OH)_2$'nin, beton yüzeyini kaplayarak zararlı suların beton içinde daha derinlere girmesini engellediği de bilinmektedir. [11]

2.2.2.4 Sülfatlı Su Etkisi

Sülfatın beton üzerindeki bozucu etkisi, sülfat iyonlarının, sertleşmiş betondaki alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle reaksiyona girmesi ile gerçekleşir. Bu etki betonda genleşme yaratarak çatlaklara ve dağılmaya sebep olur. Ayrıca agrega – çimento aderansını olumsuz etkileyerek betonun dayanımının da düşmesine yol açabilir. [6]

Sülfatlı suların etkisi üç şekilde ortaya çıkar:

1. Sülfat anyonlarının, hidrate kireçle tepkimesi sonucu alçı taşı oluşur. Alçıtaşının hacim artışı nispeten az olmasına rağmen suda çözünebildiği için korozyona sebep olur. Bunun dışında, sülfat tuzunun katyon türüne bağlı olarak, alçıtaşı ile beraber oluşan reaksiyon ürünü, NaOH gibi suda çözünen veya, $Mg(OH)_2$ gibi suda çözünmeyen türde olabilir. Yan ürünün çözünebilirliğine bağlı olarak bozulma,çok daha şiddetli olacaktır.

2. Suda çözünmüş halde bulunan kalsiyum sülfatla (alçıtaşı) trikalsiyumalüminatın reaksiyona girmesiyle yüksek sülfatlı sülfoalüminat tuzu (etrenjit) ortaya çıkar. Etrenjit içerdiği kristal suyun fazlalığı nedeniyle büyük hacim artması oluşturur. [13] Kristalleşen katı haldeki tuz, betonun boşluk çeperlerine basınç yapar. Çatlamalarla başlayan hasar, zaman içinde ayrışmalara neden olur. [12]

3. Kalsiyum sülfat durumunda ise doğrudan etrenjit hasarı ortaya çıkar. [12]

4. Sülfat etkisi sonucu betonda oluşabilecek bozulma sürecinin gelişimini etkileyen en önemli etkenler şunlardır:

   - Etkilenme koşulları (SO_4^{-2} içeriği, ortam koşulları)
   - Betonun geçirimliliği (zararlı maddelerin beton bünyesine geçişi)
   - Betonun yapısı (çimentonun kimyasal yapısı)
   - Suyun varlığı

Sülfat etkisinde kalmış betonda, özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm kütleye yayılan beyaz lekelerin, çatlakların, dökülmelerin oluştuğu ve kolayca ufalanabildiği, yumuşadığı görülür. [6]

2.2.2.5 Deniz Suyu Etkisi

Deniz suyu ile temas halindeki yapılar çeşitli kimyasal ve fiziksel olaylara maruz kalırlar. Bunlara kimyasal etki, donatı çeliğinin korozyonu, donma-çözülme etkisi, tuz etkisi ve buz veya kum tarafından yapılan aşınma sayılabilir. Bu etkilerin çeşitliliği ve şiddeti betonun deniz seviyesi ile olan ilişkisine bağlıdır. [14]

Bir yüzü ıslak diğer yüzü kuru olan beton yapılarda kristalleşme olayı hasara yol açar. NaCl'nin kristalleşme sırasında, betonun boşlukları içerisinde oluşturduğu basınç 0^0C'de 554 atmosfer, 50^0C'de 654 atmosferdir. Beton boşluklarında oluşan iç basınç hasara yol açar. Su seviyesi değişen, sürekli ıslanıp kuruyan betonda hasar, sürekli su içinde kalan betona göre oldukça şiddetlidir. [12] Tamamı su içinde kalan yapılarda aşağıdaki reaksiyon gerçekleşir:

$$MgSO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4 + Mg(OH)_2 \qquad (2.25)$$

Reaksiyon sonunda oluşan brüsit ($Mg(OH)_2$) yüzeydeki gözenekleri tıkayıp başka maddelerin içeri girmesini önleyen koruyucu bir tabaka oluşturur. [14]

Deniz suyu çok büyük miktarda sülfat içerdiği için sülfat etkisi çok olması beklenir. Aslında reaksiyon oluşur, ancak reaksiyon ürünü olan etrenjit, deniz suyundaki klor iyonlarının çözünürlüğünü artırmasıyla, katı ortamda kristalleşmediklerinden zararlı bir genleşme yapmazlar.

Fakat bu esaslar, su seviyesi değişken bölgeler için pek geçerli sayılmaz. Sürekli ıslanıp kuruyan bu kısımlarda hasar oldukça şiddetlidir. Dalga hareketleri, erozyon, donma-çözülme, biyolojik korozyon ile alkali-agrega reaksiyonları, hasarı ileri düzeye vardırır. [12]

2.2.2.6 Tuz Etkisi

Beton sürekli olarak deniz suyu ile ıslanırsa, kuruma periyodu sırasında saf su buharlaşır ve genelde sülfat tuzları olan deniz suyunda çözülmemiş bazı tuzlar kristal şeklinde betonda kalır. Bu kristaller sonraki ıslanmada tekrar hidrate olarak gelişir ve sertleşmiş portland çimentosuna genleşici kuvvet uygular. Tuz etkisi olarak bilinen bu birbirini izleyen yüzey etkisi yüksek sıcaklıkta ve güneş ışınlarının kuvvetli olduğu dönemde oluşur bu da yüzeyden derinlerdeki gözeneklerde çabucak kuruma olmasını sağlar. Bu şekilde aralıklarla ıslanan, gel-gite açık ya da suya çarpan bölgelerdeki yüzeyler tahrip olur. Yatay ya da eğimli yüzeyler, tekrar tekrar

ama kısa olmayan aralıklarla ıslandıkları, böylece kurumaları zaman aldığı için tuz etkisine büyük ölçüde meyillidirler. [14]

Tuzlu su, kapiler bir olay olan absorbsiyon ile de yükselebilir. Tuz oranı yüksek zemin suyu kapiler yolla beton içinde yükselir. Yüzey seviyesinde buharlaşan tuzlu su, tekrar ıslandığında bozulmaya neden olan tuz kristallerini betona bırakır. [14,3]

Tuz etkisi sadece direk su ile oluşmaz, aynı zamanda havada taşınan tuz ile de oluşur. Çiylenme ile çözülmemiş tuzlar beton yüzeyinde depolanır, ve bunu buharlaşma izler. Bu olay kısa zaman diliminde büyük sıcaklık değişimi gösteren ve rölatif nemin geceleri çiylenme olacak kadar düştüğü çöl bölgelerinde görülür. [14]

2.2.2.7 Karbonatlaşma

Karbonatlaşma, atmosferde bulunan CO_2'nin hidrate çimento minerallari ile nemli ortamda reaksiyona girmesidir. [3] Karbonatlaşma olayı reaksiyonlar zincirinden oluşa uzun bir süreçtir:

1. Beton bünyesindeki kalsiyum oksit (CaO) su ile birleşip kalsiyum hidroksiti ($Ca(OH)_2$) oluşturur.

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 \tag{2.26}$$

2. Kalsiyum hidroksit karbondioksit (CO_2) ile tepkimeye girerek Kalsit / kalsiyum karbonat ($CaCO_3$) ve suyu (H_2O) oluşturur.

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O \tag{2.27}$$

3. Kalsiyum karbonat, su ve karbondioksit gazı ile tekrar tepkimeye girer ve kalsiyum hidrokarbon ($Ca(HCO_3)_2$) yani kalsiyum bikarbonat oluşur. Suda erimesi çok kolay olan kalsiyum bikarbonat, betonun korozyona uğramasına sebep olur.

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \Leftrightarrow Ca(HCO_3)_2 \tag{2.28}$$

4. Oluşan kalsiyum bikarbonatların tamamı beton bünyesinden ayrılmaz.Bir miktar kalsiyum bikarbonat, kalsiyum hidroksit ile yeniden tepkimeye girer ve kalsiyum karbonatı oluşturur.

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \Leftrightarrow 2CaCO_3 + H_2O \tag{2.29}$$

5. Bu reaksiyon sonucu meydana gelen kalsiyum karbonat, karbondioksit gazı ile tekrar tepkimeye girerek kalsiyum bikarbonatı oluşturur.

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \Leftrightarrow Ca(HCO_3)_2 \quad (2.30)$$

Tüm bu reaksiyonlar, karbonatlaşacak daha fazla CaO kalmadığında ya da karbonatlaşma ortamı ortadan kalktığında son bulabilir. Karbonatlaşmaya bağlı olan korozyon da karbonatlaşma gibi zamanla azalır. Porozitesi yüksek bir betonda, karbonatlaşmaya dayalı korozyon oldukça fazladır. Gözeneklerin içindeki su, havadaki CO_2 gazının betona nüfuz etmesi için gerekli ortamı fazlasıyla sağlamış olur. [11]

Karbonatlaşma oranı aşağıdaki formül ile tanımlanır :

$$c = k\sqrt{T} \quad (2.31)$$

c : in olarak karbonatlaşma derinliği

k : sabit

$\sqrt{T}$: yıl olarak zaman

Karbonatlaşma oranı yapının nem içeriğine ve yapının bulunduğu çevrenin rölatif nemine bağlıdır. Karbonatlaşma, aynı zamanda havadaki CO_2 yoğunluğuna, çimento cinsine ve karışımın su/çimento oranına bağlıdır. [3]

Karbonatlaşma doğrudan betonun bozulmasına neden olmaz ancak betonu bozabilecek iki önemli etkinin oluşmasına neden olur:

1. Karbonatlaşmış beton rötre yapar.

2. Sertleşmiş portland çimentosu hamurundaki boşluk suyunun normal pH değeri 12,6 ile 13,5 değerindeyken, $Ca(OH)_2$'ninkarbonatlaşmasıyla bu değer 8,3'e düşer. Bu da betonun bazikliğinin düşmesine ve donatı üzerindeki koruyucu tabakanın yok olarak donatının korozyona uğramasına sebep olur.

2.2.3 Beton Bileşenlerinin Neden Olduğu Reaksiyonlara Bağlı Olarak Oluşan Kimyasal Korozyon

2.2.3.1 Alkali – Agrega Etkisi

Beton bileşiminde bulunan agregalarda aranan en önemli özelliklerden biri çimento harcı ile zararlı kimyasal reaksiyona girmemesidir. Agregaların bazı türleri, belirli ortamkarda aşırı genleşme gösteren reaksiyonlara sebep olur. Bu durum kendini betonda, zamanla çatlaklar ve bozulmalar şeklinde gösterir. Bu tür reaksiyonlar alkali-agrega reaksiyonu olarak tanımlanmaktadır. İki tür alkali-agrega reaksiyonu vardır:

1. Alkali-Silis Reaksiyonu (ASR)
2. Alkali-Karbonat Reaksiyonu [6]

- Alkali – Silis Reaksiyonu :

Agreganın aktif silis bileşenleri ile betondaki alkaliler arasında oluşan reaksiyon en yaygın alkali agrega reaksiyonudur. Silisin reaktif formları; opal, kalseduvan, ve trimitdir. Volkanik tüf olan riyolit, andezit ve dasitte de reaktif silis mevcuttur. [14]

Reaksiyon aşağıdaki aşamaları izleyerek oluşur:

1. Alkalilerin ayrışması ve reaktif silisin çözülmesi
2. Alkali-silikat jelin oluşması
3. Çevredeki suyun jel tarafından çekilmesi
4. Kolloit tanelerin jel bir sıvıya dönüşmesi

Reaktif silisin çözünebilmesi için ortamın alkalinitesi yüksek olmalıdır. [12] Reaksiyon agreganın içindeki silisli minerallere, Na_2O ve K_2O gibi betondaki alkalilerden türemiş boşluk suyunda bulunan alkali hidroksiller tarafından saldırılmasıyla başlar. [14] Çözünmenin oluştuğu ilk aşama sonunda agrega tanelerinin porozitesi artmakta ve mukavemetleri düşmektedir. Silis tanelerinin küçük olması, alkalin solüsyonun daha yaygın biçimde difüzyonuna olanak sağlamaktadır. [12] Sonuç olarak agreganın içindeki boşluklarda, zayıflıkların olduğu satıhta ya da agrega parçalarının yüzeyinde jel formu oluşur.Bu da agrega ile onu çevreleyen çimento hamuru arasındaki bağa zarar verir. [14] Öte yandan genişleme, jelin su alarak şişmesine bağlıdır. Çevredeki suyun jel tarafından

çekilmesi ve kolloit tanelerin jel kıvamına gelmesini denetleyen parametreler ise reaktif silis ve alkali miktarlarıdır. Örneğin yeni jel teşekkül edemeyecek kadar alkali azsa, jel sulanarak çatlaklardan sızacaktır. [12]

Alkali-silika reaksiyonunun gerçekleşebilmesi için:

- Agregada reaktif silika formlarının bulunması
- Betonda yeterli miktarda alkali (sodyum ve potasyum)
- Betonun uzun süre nemli bir ortamda kalması

gerekir. Bu koşullardan herhangi birinin olmaması durumunda ASR nedeniyle bir genleşme gerçekleşmeyecektir. [6]

Özetlersek, alkali-silis reaksiyonunda önce Na, K, Ca silikat jeli oluşur, bu jel zamanla su emer ve böylece hacmi artar. Bu artış beton kütlesini çatlatır, olay sürerse çatlaklardan dışarı jel akışı başlar. Reaksiyonu hızlandıran faktörler; sıcaklık, nem, ortamın yüksek alkanitesi, agrega dane boylarının küçüklüğüdür. Bu defa hasar agrega danelerinde ve daha ziyade danelerin çevresinde gözlenir. Bu farklılık olayın sülfat etkisinden ayırt edilmesine imkan verir, zira sülfat etkisi çimento bazında gelişir. [4]

Reaksiyonun hasarı bir ile yirmi beş yıl arasında ortaya çıkmaktadır. Bu zaman farkı agreganın reaktivitesinin şiddetine bağlıdır. Çatlaklar yüzeyi kaplayan bir ağ şeklinde oluşmakta, daha sonra çatlaklardan dışarı doğru jel akmakta, yüzeyde kabarmalar ve parça atmalarına rastlanmaktadır. [12] Yapı elemanı yüksüzse, örneğin bir döşeme veya park yeri gibi, çatlak genişlikleri homojendir, başlangıç aşamasında yüzeyi sulayarak görmek mümkündür. Yapı elemanı kolon, perde vb. tipte basınç yükü taşıyan bir elemansa çatlaklar yüke paralel yönde gelişir. [4]

- Alkali – Karbonat Etkisi :

İçinde jeolojik zamanlardan kalma kil damarları içeren dolomitik taşlarda bu reaksiyona rastlanır. [12] Çimento hamurundan ya da diğer kaynaklardan çıkan alkaliler, karbonat agregaları ile tepkimeye girer. Agregadaki kil minerallarinin varlığı ve taşların kristal dokusunun reaksiyon oranını etkilediği söylanmektedir. Bu reaksiyonun tipik özelliği olarak, agrega danelerinin etrafında 2mm'ye varan bir tepkime alanı oluşur. Çatlaklar, bu çıkıntılar içinde hem ara yüzeye paralel hem de ışınsal olarak gelişir. Işınsal çatlaklar göreceli olarak, çimento hamurunun içine

doğru birleşerek genişler. Ağ şeklindeki çatlakların gelişmesi ile çimento hamuru ve agrega arsındaki yapışmanın kaybı betonun bozulmasına neden olacaktır. [3]

Çeşitli alkali-karbonat reaksiyonları bilinmektedir. Ancak bunların hepsi genleşici reaksiyonlar değildir. En yaygın olan reaksiyonda;

$$Ca.Mg.(CO_3)_2 + 2NaOH \rightarrow CaCO_3 + NaCO_3 + Mg(OH)_2 \qquad (2.32)$$

Dedolomizasyona eşlik eden hacim değişikliğinin, suyun girişini teşvik eden porozitenin artışı ve bunun sonucunda agregadaki kilin kabarmasının sonucu olduğu düşünülmektedir. [3,14]

2.2.3.2 Uygun Olmayan Çimento Kullanımı

Kireç, manyezi ve kalsiyum sülfatı aşırı miktarda içeren, düşük kaliteli çimento ile yapılmış beton, priz yaptıktan sonra hacim değişikliğine uğrar. Bu hacim değişikliği, serbest kireç, manyezi veya kalsiyum sülfatın ertelenmiş, ya da yavaş hidratasyonuna bağlı olarak, sertleşmiş çimentoda oluşan genleşmedir ve çatlamaya sebep veren zararlı kuvvetleri üretir. Bozuk çimento kullanmanın etkileri aylar veya yıllar sonra çıkar. [3]

2.2.3.3 Biyolojik Korozyon

Betonun korozyonuna yol açan gözle görülebilen canlılar ya da görülemeyen mikroorganizmalar vardır. Bunların bir kısmı doğrudan doğruya, bir kısmı ürettikleri kimyasal ürünlerle betonu tahrip ederler. [12]

Beton yüzeyinde deniz suyu altında veya rutubetli ortamlardaki yatay yüzeylerde yosunlar, mantarlar yetişir. Bu mikro bitkiler klorofilyen beslenme sırasında CO_2 açığa çıkararak zararlı olurlar. Ayrıca bu mikro bitkilerin çözülmesi, bozulması hümik asitleri oluşturur, böylece beton asit etkisine maruz kalır. [4]

Betona etkiyen mikro organizmalar arasında yaşamlarını oksijenli ortamda (aerobik bakteriler) veya oksijensiz ortamda (anaerobik bakteriler) sürdürenler vardır. Anaerobik bakteriler kükürtün oksijenli bileşenlerini redükleyerek H_2S'e dönüştürürler. Aerobik olanlar ise bu reaksiyonu tersine çevirerek H_2S'i H_2SO_4'e haline getirirler. Kanalizasyon boşaltma sularında, sülfatlı suların çökeltme havuzlarında bu bakterilerin gelişen etkileri görülür. Önce anaerobik bakterilerin oluşturduğu H_2S betonun $Ca(OH)_2$'sini nötürleştirir ve asit etkisi ile hasar oluşur.

Bu, genellikle kuru ortamlarda gelişir, ortam ıslanınca H_2S, H_2SO_4'e aerobik bakteriler vasıtasıyla dönüşür. Bu defa da sülfat etkisi ile betonda parça atmaları oluşur. Bir kısım bakteriler ise çıkardıkları enzimlerle etken olurlar. Bu enzimler biyokatalizördür ve bazı organik maddeleri fermante ederek organik asitlere dönüştürürler. Asit etkisi ile betonu tahrip ederler. [4]

2.2.4 Donatının Korozyonu

Halk dilinde paslanma adı verilen korozyon, çeliğin ana maddesi olan demirin, demiroksit haline dönüşmesi ve pul pul dökülmesi olayıdır. Böylece taşıyıcı çelik elemanın kesiti azalır, doğal olarak maruz kaldığı gerilme değerleri artar. Sonuçta aşırı yüklenen çelik elemanlar kırılabilir ve yapı taşıma gücünü yitirir. Özellikle yorulmaya maruz köprü kirişleri gibi elemanlarda korozyon yıkılmalara sebep olmaktadır. Beton içine gömülü olan çelik elbette havaya açık çıplak çeliğe oranla korozyondan daha iyi korunur. Ne var ki betonarme elemanların pek çoğunda çelik donatının paslandığı ve elemanın taşıyıcılık niteliğini bu yüzden yitirdiği bilinir. Donatıyı paslanmadan koruyan beton bölümüne paspayı denilmektedir. Paspayı, çepere en yakın donatının beton dış yüzüne olan mesafesidir. Buradaki betonun su ve gaza geçirimsiz, yüksek çekme dayanımına sahip olması ve çelikle mükemmel bir aderansının bulunması gerekir. Bu koşullar betonun donatı korozyonunu önlemesi için gerekli fiziksel şartlardır. Ayrıca pas payının çevrenin tahrip edici etkilerine dayanması için belirli bir kalınlıkta olması da gerekir. Örneğin, normal atmosferde 2,5 cm kalınlık yeterli iken, endüstriyel bölgelerde 3,5 cm, deniz yapılarında 7 cm kalınlık uygun olur. [4]

Beton, mikroskopik gözeneklerinde yüksek konsantrasyonlarda çözünür Ca, K ve Mg oksitleri içerir. Bu oksitler, su eklendiğinde çok bazik olan hidroksitleri oluşturur. Böylece çok bazik bir ortam meydana gelir. Bazik ortam, çelik yüzey üzerinde 'pasif" bir tabakanın oluşmasını sağlar. Pasif tabaka, kararlı, koruyucu bir oksit tabakasıdır. Pasif tabaka elektriksel direnci artırarak (n_R) ve/veya konsantrasyon polarizasyonuna (n_{kons}) yol açarak anodik akım yoğunluğunu kısaltır, korozyona karşı sigorta görevi görür. [12]

Pasif koruyucu tabakanın oluşmasını sağlayan betondaki bazik ortamda minumum 12,5 derecesinde pH değeri mevcuttur ve çelik bu pH derecesinde paslanmaz. Eğer pH değeri bazı nedenlerden dolayı düşerse, korozyon oluşabilir. Donatı çeliğinin

korozyonunda, öncelikle yüzey üzerindeki bu pasif tabakanın bozulması yani işlevini yerine getirememesi gerekir.

Bu olay 3 türlü sebeple başlar: [11]

1. Karbonatlaşma
2. Klor Etkisi
3. Oksijen Etkisi

2.2.4.1 Karbonatlaşma

$$Ca(OH)_2 + CO_2 + H_2O \rightarrow CaCO_3 + 2H_2O \quad (2.33)$$

pH=12,6 ⟶ pH=8;3

Şekil 2.4 Ortamın pH oranının değişimi

Karbondioksit hidratlaşma aşamasında betonun kireci ile etkileşerek kalsiyum karbonatı oluşturur ve reaksiyon sonucu oluşan kalsiyum karbonatın pH değeri 8,3'tür. pH değeri 8,3 < 9,5 olması nedeniyle beton, donatı çeliğini koruma etkinliğini kaybeder. Karbonatlaşma reaksiyonunun hızı ve şiddeti, beton yüzeyinin geçirimliliğine, paspayı tabakasının kalınlığına, karbondioksit konsantrasyonuna ve çevredeki havanın bağıl nemine bağlıdır. Rölatif hava neminin % 50 - % 85 olduğu durumlarda maksimum karbonatlaşma vardır. Karbonatlaşma olayı sonucu koruyucu alkali özelliğini kaybeden beton örtü tabakası altındaki donatı çeliğinde korozyon başlar ve beton yüzeyde çatlaklar oluşur. Derin olmayan bu ince çatlaklar bir ağ teşkil ederler. Taşıma gücü ve dayanıklılık açısından zararsızdırlar, ancak karbonatlaşmanın hızlı ve derin olduğu durumlarda çatlaklar önem kazanır. [6]

2.2.4.2 Klor Etkisi

Klor iyonları beton içine klorür içeren tuzlar şeklinde girmektedir. Bu kapsamda beton karışımında kullanılan tuzlu su, denizden çıkarılan ve yıkanmadan kullanılan agrega, buzlanmayı önlemek amacıyla beton yüzeylere tuz dökülmesi, beton yüzeylerde deniz suyu etkimesi, karışımda klorür içeren kimyasal katkı kullanılmaması gibi nedenler etkin olmaktadır. [15]

Çelik ve betona gömülü çelik yapı elemanlarında çeliğin korozyonu probleminde klor iyonlarının birinci derecede rol oynadıkları görülmüştür. Klorun zararlı etkilerini aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür: [12]

1. Klor, çelik donatı üzerinde teşekkül etmiş koruyucu $Fe(OH)_3$ pas tabakasını tahrip eder. Cl^- iyonları pas tabakası arasına girerek lepidokrosit adlı, kararsız ve karmaşık kimyasal formüllü bir mineral oluşturur. Koruyucu tabakanın tahribi sırasında; $Fe(OH)_2$, FeOHCl, $Fe(OH)_2$.Cl gibi başka kararsız yan ara ürünler de oluşur.
2. Klor, henüz korozyona uğramamış metal üzerine etkiyerek, anodik reaksiyonun oluşmasında da bir katalizör görevi oynar.

$$2Fe + 6Cl^- \rightarrow 2(FeCl_3)^- + 4e^- \quad (2.34)$$

$$2(FeCl_3)^- + 4OH^- \rightarrow 2Fe(OH)_2 + 6Cl^- \quad (2.35)$$

3. Klor asit karakteri nedeniyle ortamın pH değerini indirger.
4. Klor iyonları betonun eloktrolitliğini, diğer bir deyişle elektriksel iletkenliğini artırır. Bu durum katot-anot arasındaki iyon alış verişini kolaylaştırdığından, korozyon akım şiddetini dolayısı ile korozyonu artırır.

2.2.4.3 Oksijen Etkisi

Oksijen, donatı korozyonunun oluşması için temel bir faktördür. Betona doğru oksijen difüzyonu, betonun suya doymuşluk derecesinden ciddi bir biçimde etkilenir. Çelik pasivasyonu zarar görmüşse; ortam, beton yapının aralıklı olarak ıslak-kuru devirlerine maruz kalan kısımlarındaki donatı korozyonuna sebep olacaktır. Araştırmalar ayrıca, klor iyonları mevcut olsa da, beton sürekli olarak doymuşsa çelik korozyon hızının çok yavaş olacağını göstermiştir. Kısmen kuru bir betonda gaz halinde oksijen difüzyonunun daha hızlı olduğu sırada, ıslak betonda çözünmüş oksijen öncelikle çözelti içinde difüzyona girecektir. Katodik bir reaksiyon içinde tüketilen oksijen için, yine de oksijen çözünmüş durumda bulunmalıdır. Önemli olan erimiş oksijen konsantrasyonu olduğundan oksijen çözünürlüğünü etkileyen tüm faktörler bu konsantrasyonu da etkiler. [11]

2.2.4.4 Korozyon Mekanizması

Bir iletken eriyik (elektrolit) içine daldırılan metal elektron vererek iyonize olur. Elektron metalde kalır, metal iyonu eriyiğe karışır. Bir elektrolit içine değişik türde iki metal elektrod daldırılır ve bir iletken ile birleştirilirse aralarındaki potansiyel farkı nedeni ile birinden diğerine elektron akar, böylece bir elektrokimyasal pil veya

galvani pili elde edilir. Elektron veren metal anod, alan katod sayılır. Bir metalin elektron kaybetmesine oksidasyon, bunun sonucu iyona dönüşmesine anod reaksiyonu denir. Diğer taraftan bir metalin iyonunun elektron almasına redüksiyon, elektronu kullanarak iyonun atoma dönüşmesine katod reaksiyonu denir. [16]

$$M \rightarrow M^{n+} + ne^{-} \text{ (anod reaksiyonu)} \quad (2.36)$$

$$M^{n+} + ne^{-} \rightarrow M \text{ (katod reaksiyonu)} \quad (2.37)$$

Betonda donatı çeliğinin korozyonu, oksidasyonun yeraldığı bir anot, elektrokimyasal indirgenmenin oluştuğu bir katot, bir elektriksel iletken ve sulu bir ortam gerektiren elektrokimyasal bir süreçtir. Korozyon olayı, basit bir el feneri bataryasında süregelen hareketle benzerdir. [11]

Metaller, özellikle demir, bir elektrolik ortamda, sıvıya elektron e^- vererek anod durumuna geçme eğilimindedirler:

$$Fe^{0} \rightarrow Fe^{+2} + 2e^{-} \quad (2.38)$$

$$Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3} + e^{-} \quad (2.39)$$

Ortamda bulunan elektrolit oksijen bakımından zengin ise, yukarıdaki metalin elektron verme yeteneği nedeni ile reaksiyon

$$4Fe + 3O_2 + 6H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 \quad (2.40)$$

şeklinde gelişir. Reaksiyon için su ve oksijen gereklidir. Bu koşulların olmadığı oksijensiz sularda veya kuru havada demirin paslanmadığı görülür. Elektrolitte yani demir yüzüne değen suda, oksijen yanında daha önce değinilen yanma ürünü gazlar bulunması nedeniyle, H^+ iyonu yönünden zengin bir ortam oluşur ve pH derecesi düşer. Bu durumda demir atomlarından gelen e^- ile H^+ iyonları birleşerek hidrojen açığa çıkar ve reaksiyon devam ederek demir korozyona uğrar. [15]

Demiri saran ve etkiyen suyun pH derecesi 9 veya daha fazla ise, ortamda $(OH)^-$ iyonları etkin demektir. Koşulların böyle olduğu ortamda demirin verdiği elektronlar kullanılmadığı için demir katot durumuna döner ve paslanma olmaz. [15]

Yukarıda ele alınan metal çiftinde görülen reaksiyonlar dışında oluşan diğer korozyon olaylarında kaybolan malzeme çoğunlukla bileşik halinde ana metalden ayrı bir yerde birikir. Bu süreçler esas itibarıyla bir galvani pili oluşumundan kaynaklanır. Galvani pilleri genelde bir elektrolit içindeki iki değişik metal

elektrodtan oluşur. Her elektrodun belirli bir elektrod potansiyeli vardır. İki elktrod bir iletkenle birleştirilirse anodla katod arasındaki potansiyel farkı bir voltmetre ile ölçülebilir. Bir metalin elektrod potansiyeli o metalin elektron verme eğilimi ile ilgilidir. [16] Yani elektrod potansiyeli yüksek olan malzemede korozyon hızlı olur. Bunu ölçmek için metal ile hidrojen elektrodu alınır. Çünkü hidrojen bu gibi deneylerde referans elektroddur.

$$H_2 \Leftrightarrow 2H^+ + 2e^- \tag{2.41}$$

Malzemenin korozyona karşı eğilimi H elektodu ile + kutup mu, yoksa – kutup mu olacağına bağlıdır. H elektroduna göre malzeme anot ise malzemede korozyon olur, katod ise malzemede korozyon olmaz.

Galvani pilleri üç grupta incelenir:

1. Terkip Pilleri: Farklı cins metallerin bir arada bulunması sonucu oluşan korozyondur. Anot olan metal korozyona uğrar, katod olan metalde değişiklik olmaz.
2. Gerilim Pilleri: Mekanik bir zorlama ile malzeme üzerinde farklı gerilmeler ve buna bağlı farklı deformasyonlar varsa, bu noktalarda farklı enerji birikimleri vardır. Islanma durumunda bu noktalar anot, diğer kısımlarda katod olur ve bölgesel korozyon oluşur.
3. Yoğunluk Pilleri: Metalin üzerindeki sıvının derişikliği bölge bölge farklı ise, seyreltik bölge anot, diğer kısımlar katod olmaktadır, bu şekilde oluşan pillere yoğunluk pilleri denilmektedir. [15]



Şekil 2.5 Betonarme döşemedeki donatının korozyonu sonucu oluşan hasar

Tablo 2.2 Bazı metallerin standart elektrod potansiyelleri [16]

	METAL	POTANSİYEL (V)	
Kuru Havada Oksitlenenler	Li^{+}	2,96	ANOD
	K^{+}	2,92	
	Ca^{++}	2,90	
	Na_{+}	2,71	
	Mg^{+2}	2,40	
	Al^{-3}	1,70	
	Zn^{+2}	0,76	
Nemli Ortamda Oksitlenenler	Cr^{+2}	0,56	
	Fe^{+2}	0,44	
	Ni^{+2}	0,23	
	Sn^{+2}	0,14	
	Pb	0,12	
	Fe^{+3}	0,05	
	H^{+}	0,00	
	Cu^{+}	-0,34	
	Cu^{+2}	-0,47	
Oksitlen-meyen Soy Metaller	Ag^{-}	-0,80	KATOD
	Pt	-0,86	
	Au	-1,50	



Şekil 2.6 Betonarme kiriş içinde donatının korozyonu



Şekil 2.7 Betonarme kolonda donatı korozyonu sonucu oluşan çatlaklar



Şekil 2.8 Betonarme kolonda donatı korozyonu sonucu oluşan çatlak ve ayrılmalar

3. YAPIŞTIRICILAR

İki malzemeyi birleştirmek amacıyla kullanılan, malzemeler arasındaki boşlukları dolduran, her iki yüzeye de yapışan ve parçalar arasında yeterli taşıma gücü ve rijitlikte arayüz oluşturmayı başaran malzemeler, yapıştırıcılar olarak tanımlanır.

Zaten asırlardır yapıştırıcıları kullanan insanoğlu, ilk olarak doğada mevcut olan maddeleri kullanmayı öğrendi. Hayvan derisi, toynak, kemik ve kan proteinleri, ağaç zamkı, kazein veya nişastalar bunlara örnek gösterilebilir. Asrımızın başlarına kadar büyük önemi olan hayvani ve bitkisel yapıştırıcılar kağıt, kösele, deri, odun ve ahşap parçalar gibi gözenekli malzemelerin yapıştırılmasında yaygın olarak hala kullanılmaktadır. Kazein tutkalları 1. Dünya Savaşı sırasında uçakların ana ahşap gövdelerinin inşasında kullanılmıştır. Fakat bunların neme ve şekil büyümesine karşı sınırlı bir dirence sahip oldukları tespit edilmiştir. Doğal yapıştırıcılardaki bu sınırlılık 1930'lardan sonra sentetik reçinelerden ve diğer maddelerden oluşturulan yeni yapıştırıcıların doğmasına neden olmuştur. [17] Sentetik reçinelerin geliştirilmesi endüstride yapıştırıcı kullanımında hızlı bir artışa neden olmuştur. Çünkü bu tip reçinelerden elde edilen yapıştırıcıların eskisine göre sağladıkları en önemli avantajları neme, şekil büyümesine ve birçok tehlikeli çalışma şartlarına gösterdikleri mükemmel dirençleridir. Bugünün sentetik reçineleri başlıca karbon, hidrojen, oksijen ve azot atomlarından oluşmaktadır. Bu dört atom havada ve organik maddelerde hemen hemen sınırsız miktarlarda bulunmaktadır. [17]

3.1 Yapışma Mekanizması

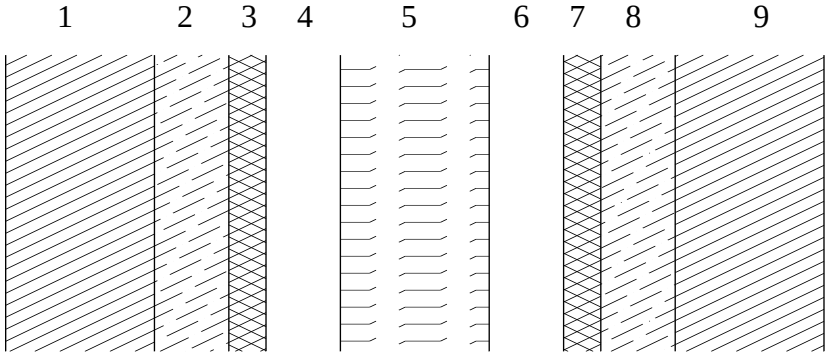
Katı malzemeleri birleştirmek için 2 yol vardır:

1. Mekanik bir araç kullanarak malzemeyi kenetleme

2. Parçalar arsındaki boşlukları dolduran, her iki yüzeye de yapışan ve parçalar arasında yeterli taşıma gücü ve rijitlikte arayüz oluşturmayı başaran yapıştırıcı bir malzeme kullanmak.

Mekanik kenet aracı için örnek vida, perçin, tıpa vb.'dir. Birleşme mekanizması kenet aracı ve cismin arasındaki birincil ve ikincil bağlara bağlı değildir. Vidaların paslanması, vida ya da telin çürümesi, vb. kimyasal reaksiyonlar ise zamanla oluşur ve birleşimin bozulmasına sebep olur. [18]

Yapıştırıcılar bilimsel araştırmaların konusu olmasına rağmen, katılara nasıl yapıştıkları hala tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Yapıştırıcının molekülleri ile yapıştırılacak parçanın yüzeyindeki atom ya da moleküllerin arasında ikincil bağlar sayesinde yapışmanın gerçekleştiği düşünülmektedir. Bu kuvvetin büyüklüğü, sonuç birleşmenin mukavemetine karar verirken önemli bir faktör olur. Mekanik tutunma da yapıştırıcının etkinliğine yardım eder. [18] Hatta geçmişte iki parçanın yapışması, yüzey çıkıntı ve gözeneklerinde mekanik tutunma olayı olarak düşünülmekteydi. Bugün anlaşılmıştır ki; gözenekli yüzeyleri yapıştırırken bile mekanik yapışma spesifik yapışmaya (fiziksel ve kimyasal olay) göre ikinci planda kalmaktadır. [17]



Şekil 3.1 Yapışma bağlantısının prensip olarak bölündüğü katmanlar

1 ve 9 : Yapıştırılacak malzemenin esas kısmı

2 ve 8 : Ara yüzeye yakın malzeme tabakası (atomik kalınlıkta)

3 ve 7 : Atomik veya moleküler kalınlıkta ara yüzey

4 ve 6 : Ara yüzeye yakın yapıştırıcı tabakası (Bu tabakanın yapısı esas yapıştırıcıdan farklıdır.)

5 : Esas yapıştırıcı tabakası

Malzemeleri bir arada tutan atomların bileşenleri arasındaki birincil, iyonik, kovalent ya da metalik bağlardır. Bir cisim kırıldığında, kırılmış olan yüzey oksijen, su ve çevredeki diğer kimyasallar tarafından kirletilir. Kohezyon güçlerine yardım eden cismin yüzey atom ya da molekülleri, kirletici atom ya da moleküllerle bağ yaparlar.

Metal ve oksijen atomları birincil bağlarla metal oksitleri, atmosferdeki su molekülleri (kağıt ve ahşapta olduğu gibi) hidrojen bağıyla yüzeyde ince bir nem katmanı oluşturur. Kırılan yüzeye, birincil ya da ikincil bağlarla yüzey kirleticilerinin yapışması, kırılan parçanın tekrar yapışmasına engel olur. [18]

Ara yüzeye yakın moleküler temasın oluşması yapışmanın kuvvetli olması için gereklidir. Bunun için yapıştırıcının(adhesive), yapıştırılacak malzemenin (adherend) yüzeyine yayılması ve yüzey üzerindeki kir ve havayı bertaraf edip yapışacak malzemeye nüfuz etmesi gerekir. Kısaca:

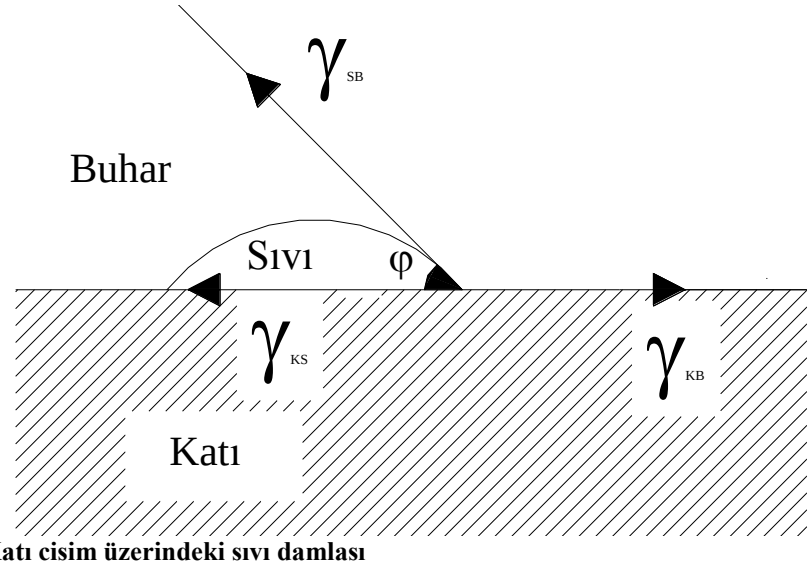
1. Yapıştırıcı sıvı olduğu zaman sıfır veya sıfıra yakın temas açısına sahip olmalıdır.
2. Uygulama kolaylığı için nispi olarak düşük viskoziteye sahip olmalıdır.
3. Esas malzeme ile mevcut havanın bertaraf edilmesi sağlanacak şekilde bir araya getirilmelidir. [17]

Yapışma mekanizmasına etki eden iki önemli kavram vardır:

3.1.1 Islatma Ve Temas Açısı

Islatma olayı katı yüzey üzerinde duran sıvı damlanın davranışı ile açıklanabilir.

φ : Denge temas açısı



Şekil 3.2 Katı cisim üzerindeki sıvı damlası

Farklı moleküller arasındaki çekim kuvveti adezyon, aynı moleküllerin birbirine uyguladığı çekim kuvveti kohezyondur. Adezyon ile kohezyon kuvvetlerinin yüzeyde meydana getirdiği bileşkesine yüzey gerilmeleri denir.

Yüzey gerilmeleri, kohezyon kuvvetlerinden dolayı, yer çekimine dik bir yüzey meydana getirir, sıvı yüzeylerin yere paralel olmasını sağlar. Ayrıca yüzey gerilmeleri minumum yüzey oluşturma eğilimi gösterirler. Su damlasının küre şeklinde olmasının sebebi minumum yüzey oluşturma eğilimidir.

Şekil 3.2'de üç fazın temas noktalarındaki gerilmeler γ_{KB} (katı/buhar noktası), γ_{KS} (katı/sıvı noktası), γ_{SB} (sıvı/buhar noktası) olarak gösterilmiştir. Yüzey gerilmeleri sıcaklıkla doğru orantılıdır. Sıcaklık yükseldikçe yüzey gerilmeleri de artar. Katı cisim ile üzerinde bulunan sıvı arasında bir sürtünme kuvveti vardır. Sıvı ne kadar akışkansa, moleküller arası sürtünme o kadar az olur. Moleküllerin birbirine olan sürtünmesine viskoziye (lüzuciyet) denir ve ıslatmanın iyi olması için viskozitenin düşük olması istenir.

Bir sıvının katı cismi ıslatması temas (ıslatma) açısı ile ölçülmektedir. Sıvı ile katı cismin moleküllerinin birbirlerini çekme kuvvetleri, sıvının içindeki moleküllerin birbirini çekme kuvvetinden daha büyük olduğu hallerde temas açısı (φ) oluşur. Temas açısı $\varphi = 0$ olduğunda, sıvının yüzey üzerinde serbestçe yayılarak, cismi tamamıyla ıslattığı kabul edilir. Young-Dupre formülüne göre temas açısı aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir.

$$\gamma_{KB} = \gamma_{KS} + \gamma_{SB}\text{Cos}\varphi \qquad (3.1)$$

Temas açısı küçüldükçe sıvı, katı cismin üzerine daha fazla yayılmakta ve cismi daha fazla ıslatmaktadır. [19] $\varphi > 0$ olduğu zamanda katı yüzeyin ıslanması ve sıvının yayılması mümkün olur ama bunun için sıvıya kuvvet veya basınç uygulamak gerekir. [17]

Yapışma mekanizması hakkında birçok teori vardır. Ancak yapışmayı tam olarak anlatabilmiş bir teori henüz geliştirilememiştir. Bu teorilerden bazıları:

1. Mekanik tutunma teorisi
2. Difüzyon teorisi
3. Elektronik teorisi
4. Absorbsiyon teorisi
5. Kemisorbsiyon teorisi
6. Yüzey enerji teorisi

3.2 Yapıştırıcıların Sınıflandırılması

Yapıştırıcılar çok çeşitli şekilde sınıflandırılmaktadırlar:

1. Yapıştırılacak malzemeler göre sınıflandırma : Yapıştırılacak malzemenin cinsine göre mesela metal-metal yapıştırıcıları, ağaç yapıştırıcıları gibi, sınıflandırır.Çok yaygın kullanımı vardır ancak Yetersiz kaldığı durumlar vardır. Çok genel ele aldığından dolayı, çelik için uygun olan bir yapıştırıcı bakır için uygun olmayabilmektedir.
2. Fiziksel formuna göre sınıflandırma :(Tablo3.1)
   - Düşük ve yüksek viskoziteli sıvılar
   - Pasta(macun, hamur) veya mastik
   - Film, şerit
   - Toz
   - Tanecik, çubuk, küp ve diğer katı formlar
3. Sertleşme olayına göre sınıflandırma : (Tablo3.3)
   - Çözücü esaslı yapıştırıcılar
   - Termoplastik yapıştırıcılar
   - Kimyasal etkenlerle sertleşen yapıştırıcılar
4. Sürekliliğe göre sınıflandırma : Ağaç işlerinde kullanılan bir sınıflandırma.
5. Yapıştırma sıcaklığına göre sınıflandırma :
   - Soğuk yapıştırıcılar : 20 ^{0}C'nin altında sertleşen yapıştırıcılar.
   - Oda sıcaklığında sertleşen yapıştırıcılar: 20 – 30 ^{0}C
   - Ara sıcaklık yapıştırıcıları : 31 – 100 ^{0}C
   - Sıcak yapıştırıcılar : 100 ^{0}C ve üzerinde sertleşen yapıştırıcılar
6. .Ana elemanın kimyasal türüne göre sınıflama :
   - Doğal ürünler (nebati ve hayvani)
   - Termoplastikler (doğal veya sentetik reçineler)
   - Termosetler (sentetik polimer esaslı)
   - Elastomerler (doğal veya sentetik orijinli kauçuğa benzer olanlar)
   - Çift polimer bileşikleri (karma malzemelerdir.)

Tablo 3.1 Fiziksel formuna göre yapıştırıcıların sınıflandırılması [17]

Fiziksel Formu	Açıklama
Düşük ve yüksek viskoziteli sıvılar	Yapıştırıcıların çoğunun bu formu mevcuttur. Viskozite kontrolünden dolayı uygulanmaları kolaydır.
Pasta(macun) veya mastik	Boşluk doldurma özelliklerinin gerektiği seri üretim uygulamalarında kullanımı yaygındır.
Film, şerit	Pürüzsüz yüzeyler için kullanılır. Hızlı, kolay uygulanabilme ve eşit yapışkan tabakası sağlama özellikleri vardır.
Toz	Sıvıyla karıştırılmalı veya ısı etkisiyle sıvı hale getirilmelidir. Genellikle tozlar uzun depolama ömürlü ekonomik yapıştırıcı formudur.
Tanecik, çubuk, küp ve diğer katı formlar	Belli uygulamalar için kolay uygulanabilirlik ve sertleşebilirliklerinden dolayı uygun formlardır. Uzun depolama ömrüne sahiptirler.

Yapıştırıcılar temelde organik ve inorganik olarak ikiye ayrılırlar. Daha sonra bunlar kendi aralarında alt gruplara bölünürler. Bunlardan bazıları yeni olmayan ürünlerdir. Mesela, doğal organik yapıştırıcıların kendini kayaya yapıştıran ilk kabuklu deniz hayvanından beri kullanıldığı söylenebilir. Antik Mısır'da mobilyaları birleştirmek için inorganik malzemelerin kullanımı da buna iyi bir kanıttır. Ancak yapıştırıcı teknolojisi Endüstri Devrimi'nden sonra talep görmüştür. Özellikle ucuz fiyata çok miktarda üretim imkanı sağlayan plastiklerin keşfi ile özellikle sentetik reçineler popüler olmuştur. [20] (tablo 3.2)

Tablo 3.2 Başlıca yapıştırıcıların ilişkileri [20]

YAPIŞTIRICI ÇEŞİTLERİ				
ORGANİK		İNORGANİK		
DOĞAL	SENTETİK	ÇİMENTO	SİLİKAT	LEHİMLEME
HAYVANSAL	AMİNO			
DEKSTRİN	AKRİLİK			
KAUÇUK	EPOKSİ			
NİŞASTA	FENOLİK			
	POLYESTER			
	KAUÇUK			
	ÜRETAN			
	VİNİL			

Tablo 3.3 Sertleşme etkenine göre yapıştırıcıların sınıflandırılması [17]

Sertleşme etkeni	Yapıştırıcı formu ve sertleşme olayı	Açıklamalar
Isı	Değişik çeşitleri oda sıcaklığından 250^{o}C'a kadar olan aralıklarda katılaşırlar ve sıvı formu çok yaygın olmakla birlikte her formu mevcuttur. Yapısal yapıştırıcılar ekseriyetle 120-75^{o}C'da sertleşirler.	Herhangi bir yapıştırıcının bağlantı mukavemeti ekseriyetle ısı etkisiyle sertleştirilerek geliştirilir.
Basınç	Sertleştirme basınçları temastan 2MPa'a kadar değişir. Sıvı ve toz başta olmak üzere bütün formları mevcuttur. Yapısal yapıştırıcılar için ekseriyetle 0.1-1.6 MPa yapışma basıncına gerek vardır.	Basınç kullanımı iyi bağ oluşmasını sağlar. Yapısal yapıştırıcılarda ince yapışkan tabakaları daha iyi mukavemet elde etmeyi mümkün kılar.
Zaman	Yapısal çeşitleri için sertleşme zamanı 30 dakikadan 24 saate kadar olabilir. Genelde ise sertleşme zamanı saniyelerden bir haftaya kadar değişebilir.	Gereken zaman uygulanan sıcaklığa ve basınca, ayrıca kabul edilir bağlantı mukavemetine bağlıdır.
Kimyasal katalizör	Elastomerik ve termoset yapıştırıcılar için birçok katalizör mevcuttur.Formları ekseriyetle sıvı ve pasta olmak üzere iki bileşenden oluşurlar. Sertleşmeyi etkilemek için ön karıştırmaya gerek duyarlar.	Katalitik aksiyon için 120^{o}C'a kadar olan ısıya ve/veya basınca gerek duyarlar.
Vulkanizasyon	Bunlar kükürt veya katalizör gibi kimyasal etkenlerin eklenmesiyle sertleşen elastomerik yapıştırıcılardır. İki bileşenli sıvı formülasyonları en yaygın olanlarıdır.	Bazı çeşitleri önce karıştırılmış malzemenin vulkanizasyonunu başlatmak için 170^{o}C'akadar ısıya gerek duyarlar.
Reaktivasyon	Çözülmek için sıcaklığa veya çözücüye gerek duyan termoplastik ve elastomerik yapıştırıcılar mevcuttur. Bu işlem kuru filmlere veya önce uygulanmış sıvı primer katlara uygulanabilir.	Su veya hava geçirmez malzemelerin kullanıldığı yerlerde maks. Bağlantı mukavemeti ısı aktivasyonuyla elde edilir.

Uygulamada ise yapıştırıcıları 3 temel gruba ayırabiliriz:

1. Erime-Donma Yapıştırıcıları (Melt-freeze adhesives)
2. Çözelti Yapıştırıcılar (Solution adhesives)
3. Reaksiyon Yapıştırıcıları (Reaksiyon adhesives)

Bunlardan erime-donma yapıştırıcıları katı formdadır, ısıtılarak sıvı hale getirilir ve yüzeye uygulanır. Daha sonra tekrar katılaşması(donması) beklenir. Tarihi korumada kullanılan balmumu, hayvansal tutkallar ya da lehimleme buna örnek olarak gösterilebilir. Çözelti yapıştırıcılar, uygun bir çözücü içinde çözünmüş olarak bulunurlar. Çözücü yüzeye uygulandıktan sonra, çözelti buharlaşır ve geride yapıştırıcı kalır. Nişasta bazlı yapıştırıcılar, alkol içinde çözünmüş şellak (shellac), su ya da tükürük içinde çözünmüş arap zamkı, kauçuk çözeltisi ve selüloznitrat buna örnek olarak sayılabilir. Reaksiyon yapıştırıcılarında iki veya daha fazla bileşen karıştırılıp yüzeye uygulanır, karıştırılan bileşenler kimyasal bir reaksiyon gerçekleştirir ve katı bir yapıştırıcı oluştururlar. Epoksi reçineleri (mesela Araldit) ve üreformaldehit reçineleri bunlara örnektir. [18]

3.3 Yapıştırıcı Seçimi

Beklenen tüm özellikleri taşıyan, her uygulama için uygun tek bir yapıştırıcı yoktur. Yapıştırıcı kullanılarak oluşturulacak bağlantıdan beklenen özellikler tespit edilmeli daha sonra buna uygun bir yapıştırıcı seçilmelidir.

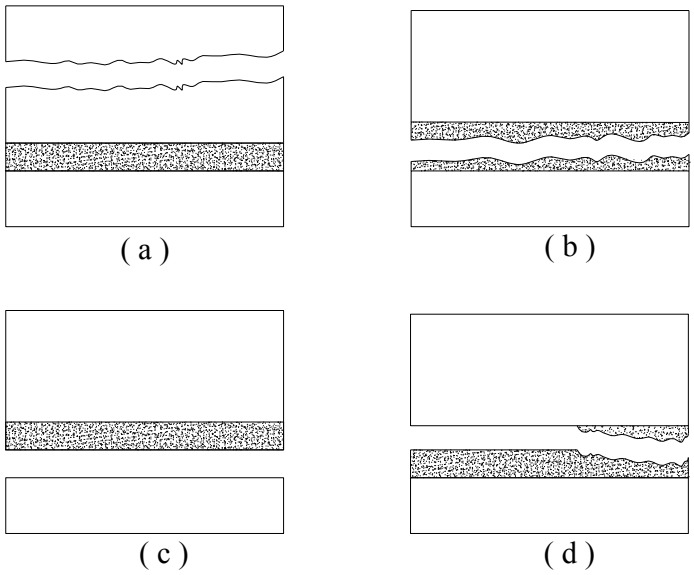
3.3.1 Yapıştırma Amacı

Uygulama alanı çok geniş olan yapıştırıcılar; uçak sanayiinden, makine parçalarını birleştirmek, neme ve kimyasallara karşı sızdırmazlık sağlamak, ısı ve/veya elektrik iletkenliği kazandırmak, titreşim ve korozyona direnç sağlamak gibi farklı sektörlerde, farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Her durumun ihtiyacı olan yapıştırıcının sağlaması gereken farklı özellikler vardır. Kimisi yüksek taşıma gücüne ihtiyaç duyarken, kimisi için düşük taşıma gücü de yeterli olabilmektedir.

3.3.2 Malzeme Özellikleri

Malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri yapıştırıcı seçiminde düşünülmesi gereken önemli faktördür. Yapışma bağlantısı test edildiğinde genel olarak amaç, yapıştırıcının ‘kohezyon tipi’ bozulmaya uğramasını sağlamaktır. Kohezyon tipi bozulma; bağlantıya kuvvet uygulandığında kopmanın, malzeme ile yapıştırıcının ara yüzeyinden değil, malzemenin kendisinden yada yapıştırıcının kendisinden olmasıdır. Aksi takdirde, yapıştırıcı cisme yapışmakta başarısız olmuş demektir ki bu da ‘adeziv tipi’ bozulmadır.

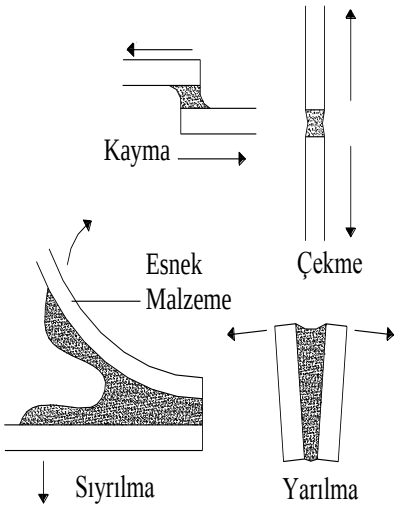
Eğer adesiv tipi bozulma olacağı belli ise kohesiv mukavemeti yüksek yapıştırıcı seçilerek yapıştırıcı malzeme sınırında olması sağlanır.Yapıştırıcıdan daha düşük mukavemete sahip malzeme içinde bağlantı bozulmaları kohezyon tipi olarak gerçekleşir. [17]



Şekil 3..3 Koheviz ve adesiv tipi bağlantı bozulması (a) ve (b) kohesiv, (c) adesiv, (d)%60 adesiv, %40 kohesiv tipi bağlantı bozulması

3.3.3 Bağlantı Gerilmeleri

Yapıştırıcı kullanmanın amacı iki malzemeyi bir arada tutmaksa, küçük ya da yüksek değerde mutlaka belli bir mukavemeti sağlamak zorundadır. Yapıştırıcıdan beklenen mukavemetin çok yüksek olduğu durumlarda yapışma bağlantısında oluşabilecek gerilmeler düşünülmelidir.



Şekil 3.4 Yapışma bağlantısında oluşan gerilmeler [23]

Yapışma bağlantısında oluşabilen gerilmeler; çekme (tension), basınç (compression), kayma (shear), sıyrılma (peel) ya da yarılma (cleavage)'dir. Yapışma birleşmeleri genel olarak, çekme, kayma ve basınç yüklerine karşı oldukça mukavemetli olmalarına rağmen, ayrılma ve yarılma yüklerine karşı oldukça zayıftır. [21]

Yarılma; kuvvetlerin birinin yapışma düzlemine dik, diğerinin paralel olduğu yükleme tipidir. Yarılma yapışmada istenmeyen bir yükleme tipidir. Ayrılma, yapışma yüzeyine kuvvetlerin yaklaşık olarak dik uygulandığı yükleme tipidir. Ayrılma da yapışmada istenmeyen bir yükleme tipidir. [22] Mukavemeti bir alana düşen kuvvet olarak tanımlarsak, yapışma alanını artırarak, gerekli bağlantı mukavemetini düşük mukavemetli yapıştırıcılarla da sağlayabiliriz. Yapışma alanını artırmak mümkün değilse, yüksek mukavemetli yapıştırıcı kullanmak kaçınılmazdır.

3.3.4 Yapışma Ortamı

Yapışmanın yapılacağı ortamın şartları da yapıştırıcı seçiminde önemlidir. Yapışmanın tam performansla çalışması için uygulama sırasında sağlanması gereken sıcaklık, nem, yapıştırma basını ve süresi vb. faktörler önceden bilinmeli ve uygulamanın yapılacağı ortama uygun yapıştırıcı seçilmelidir. Bazı yapıştırıcıların bilindiği gibi koku, tutuşma, zehirleme gibi zararlı etkileri vardır. Bu zararlı etkiler dikkate alınarak yapıştırıcı seçimi yapılmalıdır.

3.3.5 Çalışma Süresi

Yapıştırıcıların çalışma süresi, kutusundan çıkarılıp hazırlandıktan sonra kullanım için uygun olduğu süredir. Bu sürenin kısa olması uygulamayı zorlaştırır. Sık sık az miktarda karışım hazırlanmak zorunda kalınır ki bu da uygulamayı tamamlamak için gerekli süreyi uzattığı için ek maliyet getirir. [23]

3.3.6 Çalışma Şartları

Yapıştırıcı uygulandıktan sonra maruz kalacağı şartlar ile mukavemeti etkilenmemelidir. Çalışma şartlarına örnek sıcaklık, nem, sürekli ya da sürekli olmayan yüklenme, darbe etkisi vb. sayılabilir. Sertleştikten sonra maruz kaldıkları sıcaklıkla (120^0C'nin üstü) yumuşayan ve düşük fakat sürekli yükler altında bozulan termoplastik yapıştırıcılar buna örnek olarak verilebilir. Buradan yapısal uygulamalar için termoplastik yapıştırıcıların uygun olmadığı sonucu çıkartılabilir.

3.3.7 Kullanım Ömrü

Yapışma bağlantısından genellikle yapı ömrüne eşit kullanım ömrü istenir ancak bazen kısa ömürlü yapışmalar da istenebilir.

3.3.8 Depolama

Yapıştırıcıların bozulmadan kaldıkları süre, depolama ömrü (raf ömrü) olarak geçer, ticari kataloglarda da belirtilen bu süre boyunca bozulmadan kalması için aşırı sıcaktan, darbe etkisinden korunmalıdır.

3.3.9 Sağlık

Bazı yapıştırıcılar uygulama aşamasında zehirli gaz çıkarma, elektrik kıvılcımı ile tutuşma, deri iltihaplarına, ya da tahrişlere yol açma, gıda ambalajında kullanılan bazı yapıştırıcıların zehirleyici veya gıdaya etki edecek koku ve tatlara sahip olması gibi sağlık açısından sakınca yaratacak durumlar oluşabileceğinden, yapıştırıcı seçiminde bunlara dikkat edilmelidir.

3.4 Yüzey Hazırlığı

Yapıştırma bağlantısının iyi olabilmesi yapıştırılacak yüzeylerin uygun şekilde hazırlanması gerekir. Bir yapıştırma bağlantısında:

1. Adezyon Kuvvetleri
2. Yüzey Pürüzleri

Bağlantıya gelen kuvvetin iletilmesine etkili olan en önemli faktörlerdir. Esas itibarıyla yapıştırıcının yüzeye bağlanması, adezyon kuvvetleri (moleküler kuvvetler) sonucu olmaktadır. Bu kuvvetler çok defa yapıştırıcının kendi mukavemetinden daha büyüktür. İyi hazırlanmış yapıştırma bağlantılarında kopma; yapıştırıcı ile malzeme arasında değil, bizzat yapıştırıcı maddede oluşur. Moleküler kuvvetlerin etkili olabilmesi yapıştırılacak yüzeylerin temiz ve yabancı maddelerden arınmış olması ile mümkündür. Genellikle cisimlerin yüzeylerinde absorbe edilmiş gaz ve kimyevi buharların molekülleri vardır. Madenlerde ise çok defa ince bir oksit tabakası mevcuttur. Bundan başka; imalat metodu, depolama ve nakliye şartlarına bağlı olarak da yağ, kir ve benzeri maddeler yüzeylere yapışır. Bu tabakaların uygun bir metotla mümkün olduğu kadar temizlenmesi gerekir. [17]

Mekanik yapışmayı sağlayan yüzey pürüzlülüğü yapıştırma bağlantılarının mukavemetine ikincil derecede etki eder. Yüzeyi pürüzlendirmek suretiyle yapışma alanının arttığı, bunun da yapışma mukavemetini artırdığı kabul edilir. Ancak pürüzlerin mukavemete ne derecede etki ettiğini tayin etmek zordur.

Yapıştırılacak yüzeylerin yağdan ve yabancı maddeden arındırılması yeterli olur. Ancak bazı metallerde oksit tabakası ya da boya vb. olabilmektedir. İyi bir yapışma isteniyorsa yapışma öncesi bunların da temizlenmesi gerekmektedir. Yüzey hazırlama işleminin getirdiği etkiler: [24]

1. Yüzeydeki yabancı ve bozuk malzemenin uzaklaştırılması :Yapıştırılacak malzemenin yüzeyindeki kohesiv özelliği zayıf ya da yeterli mukavemete sahip olmayan katmanların, yabancı maddeler, yağlar, oksit tabakası, silikon vb. maddelerin yüzeyden uzaklaştırılarak yüzeyin temizlenmesidir. [24]

2. Yüzeyin kimyasal yapısının değiştirilmesi: Yüzeye sürülecek bazı iyileştirici kimyasallarla yüzeyin iyileştirilmesidir. Yapışma mekanizmasını açıklamaya çalışan teorilerden biri olan absorbsiyon teorisi, yapıştırılacak yüzey ve yapıştırıcının polar kuvvetleri güçlü bir kimyasalla iyileştirilmesiyle, daha güçlü bir yapışma elde edilebileceğini savunmaktadır. [24] Yapıştırıcının betona uygulanacağı durumlarda; eğer büyük agregalar açıkta değilse, yüzey katmanı yüzey altındaki betondan daha zayıftır. Yapıştırma işleminden önce beton yüzeylere düşük viskoziteli astarların uygulanması, betona moleküler çekimi nispeten daha zayıf ve daha viskoz solventsiz yapıştırıcıların aderansını arttırır. Düşük viskoziteli astarlar yüzeyle yakın temas sağladıklarından, daha iyi aderans meydana getirirler. [25]

3. Yüzeyin topografik yapısının değiştirilmesi : Yüzeye girinti-çıkıntı vererek yüzeyin pürüzlenmesini sağlamaktır. Mekanik tutunma teorisine göre pürüzlendirilmiş yüzey, düz yüzeye göre daha iyi yapışma sağlar. [24]

3.4.1 Yüzey Hazırlama Metotları

En çok kullanılan yüzey hazırlama metotları; çözücüyle silme, buharla yağ giderme, aşındırma, buharla honlama, ultrasonik temizleme, diğer kimyasal ve mekanik metotlar olarak sayılabilir.

3.4.1.1 Çözücü ile Silme

Toluen, metil etil keton, trikloroetilen ve aseton gibi çözücüleri bir bezin üzerine damlatıp, yüzeylerin silinmesidir. Başarılı sonuç veren bir yöntem değildir.

3.4.1.2 Buharla Yağ Giderme

Damıtılmış, yoğuşmuş çözücü buharla yüzeyler yıkanır. Çözücü buharın sıcaklığı kaynama noktasındadır, çoğunlukla trikloroetilen veya perkloroetilen kullanılır.

3.4.1.3 Aşındırma

Aşındırma daha önce de söylendiği gibi yapışma alnını arttırmak suretiyle, malzeme ve yapıştırıcı arasındaki kimyasal bağları artırmayı sağlamak için uygulanır. Pürüzlendirilmiş yüzeyde pürüz açısının 60^0 olması idealdir. Daha dar açılı bölgelere yapıştırıcı ulaşamayabilir. Etkili bir yüzey aşındırmasıyla hem yüzey alanı artırılır, hem de yüzeydeki yabancı maddeler uzaklaştırılır.

Kum veya zımpara kağıdıyla aşındırma; kum veya hava püskürtme; çelik yünle ovma gibi yöntemler kullanılarak aşındırma uygulaması yapılabilir. Aşındırmadan sonra yüzey basınçlı hava ile temizlenmelidir. Yüzeyler pürüzlendirildikten sonra hemen yapışma uygulanmayacaksa, yüzeyler primer ile kaplanmalıdır.

3.4.1.4 Buharla Honlama

Buhar püskürtme ya da hidro püskürtme olarak da bilinen bu yöntemde, suda asılı olan çok ince aşındırıcılar ve korozyon önleyiciler içeren bileşimler yüzeye püskürtülerek yüzey temizlenir. Yüzey, honlama sonrası su ile yıkanmalıdır.

3.4.1.5 Ultrasonik Temizleme

Sert, kırılgan malzemeleri efektif olarak temizlemek için dizayn edilen mekanik işlemdir.

Yüzey yapışmaya hazırlandıktan sonra seçilen yapıştırıcıya uygun ortam koşullarında, mala, fırça, merdane yardımıyla ya da yapıştırıcının özelliklerine göre püskürtme veya basınç uygulayarak yapışma işlemi sağlanır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmanın deneysel kısmında öncelikle, çimento esaslı beton tamir harçlarının ve şahit beton örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerine ilişkin deneyler yapılmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında beton tamir harçlarının mevcut betona olan aderansını araştırmak amacıyla, onarım yapılacak betonu temsil etmek üzere üretilip, eğilmede çekme deneyi ile kırılan beton örneklerine onarım işlemleri uygulanmış, bu örneklere deneyler yapılmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise beton, tamir harcı ve onarım görmüş örneklerin durabilite özellikleri incelenmiştir.

4.1 Deneysel Çalışmanın Programlanması

Literatür araştırması ve çalışmanın amacı doğrultusunda öncelikle yapılacak deneyler belirlenmiştir. Kaçar adet numune üretilmesi gerektiği ve deney tarihleri hesaplanıp tespit edilimiş, bu program doğrultusunda deneyler yürütülmüştür. Yapılan programa göre :

1. Mevcut malzeme ve ekipmanın kontrolünün yapılması
2. Deneysel çalışmada kullanılacak örneklerin üretilmesi
3. Belirlenen deneylerin yapılması
4. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi

4.2 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzemeler

İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda mevcut olan ve henüz tamamlanmış bir başka tez çalışmasında da kullanılmış malzemeler, deneysel çalışmada kullanılmıştır.[27] Çalışma konularının paralel olması ve aynı malzemeleri kullanarak yapılan üretimden elde edilen sonuçları karşılaştırma olanağı doğurması nedeniyle bu malzemelerin kullanılması tercih edilmiştir.

4.2.1 Çimento

Deneysel çalışma kapsamında üretilen beton örneklerinde 'Marmara Çimento' portland çimentosu PÇ 32,5 paket çimento kullanılmıştır.

4.2.2 Agregalar

Deneysel çalışma kapsamında üretilen beton karışımlarında 40 kg.lık paketlerde satılan Adapazarı Dere Kumu kullanılmıştır. Yıkanıp elenen kumun granülometri eğrisi çizilmiş ve T.S. 706'ya göre referans granülometriye uygun olması için kırmataş-2 olarak geçen malzeme laboratuvarda taş kırma makinesinde kırılarak elde edilmiş ve kullanılmıştır.

İnce agrega malzemesi olan kum ince tanece zengin olduğu için ayrışma ve toz kaybını en aza indirmek amacıyla yıkanmıştır. İri agrega malzemesi olan kırmataş (mıcır) da aynı şekilde iyice yıkanmıştır. Yıkanmış olan iri ve ince agrega tepsilere konarak, agreganın dane büyüklüğünde değişikliğe sebep olmadan kurumasını sağlayacak $(110 \pm 5)\ ^0C$ sıcaklığa sahip ayarlanabilen etüvde kurutulmuştur. [27]

Yıkanmış ve kurumuş malzeme elek analizini yapmak üzere elek takımına dökülmüştür. Eleme işlemi sonucunda kullanılan kum ve kırmataşın elek analizi sonuçları aşağıdaki gibi çıkmıştır.

Tablo 4.1 Kumun elek analizi sonuçları

Elek göz Boyutu	Her elek üstünde kalan malzeme	Elek üstünde kalan yığışımlı malzeme	Elek altına geçen yığışımlı malzeme	Elek altına geçen %
(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	
8				100
4	9,8	9,8	990,2	99,2
2	64,2	74	926	92,6
1	120,9	194,9	805,1	80,5
0,5	300,4	459,3	504,7	50,5
0,25	463,5	958,8	41,2	4,1
Toplama kabı	39,3	998,1	1,9	

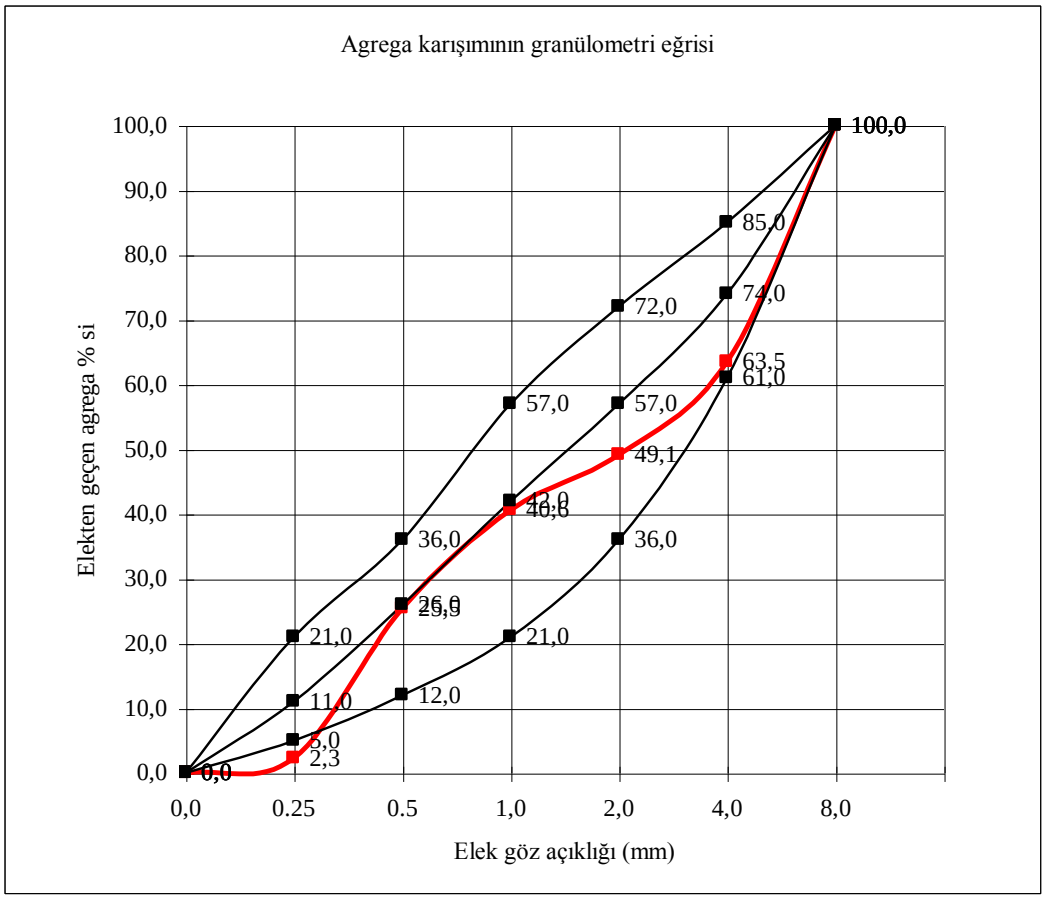
Tablo 4.2 Kırma taşın Elek Analizi Sonuçları

Elek göz Boyutu	Her elek üstünde kalan malzeme	Elek üstünde kalan yığışımlı malzeme	Elek altına geçen yığışımlı malzeme	Elek altına geçen %
(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	
8				100
4	721,2	721,2	278,8	27,8
2	22,2	943,4	56,6	5,7
1	49,6	993	7	0,7
0,5	2,6	995,6	4,4	0,4
0,25	ihmal=0			
Toplama kabı	ihmal=0			

Tablo 4.3 Kum ve kırma taş karışımının elek analizi sonuçları

Elek göz Boyutu	Her elek üstünde kalan malzeme	Elek üstünde kalan yığışımlı malzeme	Elek altına geçen yığışımlı malzeme	Elek altına geçen %
(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	
8				100
4	731	731	1269	63,5
2	286,4	1017,4	982,6	49,1
1	170,5	1187,9	812,1	40,6
0,5	303	1490,9	509,1	25,5
0,25	463,5	1954,4	45,6	2,3
Toplama kabı	39,3	1993,7	6,3	

Bu tabloların sonuçlarına göre granülometri eğrisi çizilmiş ve deneysel çalışma da kullanılacak olan agrega karışımının referans eğrilerin arasında kaldığı görülmüştür.



Şekil 4.1 Agrega karışımının granülometri eğrisi

4.2.3 Tamir Harcı

Çalışmada Duratek Firma'sının C 108 isimli tiksotropik, çekmez, sülfada dirençli harcı kullanılmıştır.

4.2.4 Epoksi

Deneysel çalışmada kimyasal malzeme olarak yine Duratek Firması'nın GSM 510 eski-yeni beton yapıştırıcı macun adıyla geçen epoksi malzemesi kullanılmıştır. GSM 510 A , B ve C olmak üzere üç bileşenli bir malzemedir. C bileşeni dolgu olup A ve B karışımına akışkanlığı ayarlamak üzere ilave edilir. [26] Yapılan bu çalışmada C bileşeni kullanılmamıştır.

4.3 Deneysel Çalışmada Kullanılan Cihazlar

Deneysel çalışmada İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda mevcut olan ve ilgili standartlara uygun araç-gereç ve cihazlar kullanılmıştır. Bunlar:

1. Teraziler
2. Deney numune kalıpları : Aşağıdaki ölçülere sahip çelik üçlü kalıplardır.
3. Uzunluk = $160 \pm 0{,}4$ mm
4. Genişlik = $40 \pm 0{,}4$ mm
5. Yükseklik = $40 \pm 0{,}4$ mm
6. Et kalınlığı = en az 10 mm
7. Açılar = $90 \pm 0{,}5$ ^{o}C
8. Titreşim masası
9. Sarsma tablası deney aleti
10. Kumpas
11. Deney Presi : Seidner firmasının 20 tonluk (200 kN) yük uygulayabilen Form Test isimli basınç presi ve 1 tonluk (10kN) eğilme uygulayabilen eğilme presi ile çalışılmıştır.
12. Ultrases hızını ölçme aleti : WTW firmasının üretmiş olduğu DİGİ EG_C2 cihazı ile ultrases hızı tayini deneyleri yapılmıştır.
13. Etüv : Deneysel çalışmada 105 ± 5 ^{o}C sıcaklığa kadar ayarlanabilen etüv kullanılmıştır.
14. Derin dondurucu
15. Kronometre

4.4 Deneysel Çalışmada Kullanılan Örneklerin Üretilmesi

Literatür araştırmasının ardından deneysel çalışmada yürütülecek deneyler tespit edilmiş ve çalışma programlanmıştır. Bu program doğrultusunda üretilecek örnek miktarı önceden hesaplanmıştır. Beton ve tamir harcı olmak üzere iki tip örnek üretilmiştir.

4.4.1 Beton Örneklerin Üretimi

Beton örnekler üretilirken daha önce de sözü edilen ilgili çalışma ile sonuçları karşılaştırabilmek amacıyla ve laboratuvarda da mevcut olan agrega ve çimento kullanılmıştır. Beton üretiminde kullanılan beton karışım hesabı aşağıdaki gibidir.

4.4.1.1 Beton Karışım Hesapları

Beton karışım hesabı, istenen kıvam, işlenebilme, dayanım, dayanıklılık, hacim sabitliği ve diğer aranan özelliklere sahip en ekonomik betonu elde edebilmek amacıyla gerekli agrega, çimento, su, hava ve gerektiğinde katkı maddesi miktarlarını tespit edebilmek için yapılan hesaptır. [27]

Bu çalışmada üretilen betonun niteliği; plastik kıvamda , %0,5 hava içeren , BS 25 beton olarak belirlenmiş ve beton karışım hesapları buna göre yapılmıştır.

1. Granülometri eğrileri esas alınarak kullanılan agregaların karışım oranları ve karışımın incelik modülü (K_k) hesaplanmıştır.

   Agregaların karışım oranları :

   kum = 0,50 m^3 , çakıl = 0,50 m^3 olarak belirlenmiştir.

$$K_k = \frac{(100-100)+(100-63,45)+(100-49,13)+(100-40,16)+(100-25,45)+(100-2,28)}{100} \quad (4.1a)$$

$$K_k = 3,19 \quad (4.1b)$$

2. İstenilen işlenebilme özelliği için gerekli su miktarı (E) hesaplanmıştır.

   $$E = \alpha\ (\ 10 - K_k\ ) \quad (4.2a)$$

   Buradaki α katsayısı ilgili tabloya bakarak (beton plastik kıvamda olacağından ve agrega karışımı dere kumu ve mıcır karışımından oluştuğundan dolayı) 37 olarak alınmıştır.

   $$E = 37\ (\ 10 - 3,9) = 251,97\ dm^3\ su \quad (4.2b)$$

3. Çimento dozajı (C) Graff formülüne göre saptanmıştır.

$$fc = \frac{fcc}{Kg} \times \left(\frac{C}{E}\right)^2 \quad (4.3)$$

fc= proje mukavemeti (BS 25 betonu için küp basınç dayanımı 30 N/mm^2'dir.)

$$fc = 30 + \Delta = 30 + 5 = 35 \text{ N/mm}^2 \quad (4.4)$$

fcc = çimentonun norm mukavemeti . Kullanılan P.Ç. 32,5 için 32,5 N/mm^2'dir.

$K_g = 4$

E = su miktarı

C = çimento dozajı

Bu verilere göre C = 519,5 kg/m^3 hesaplanmıştır.

4. Son olarak birim hacim denkleminden faydalanılarak agrega miktarı hesaplanmıştır.

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 = \frac{C}{\delta_c} + E + V_A + h \quad (4.5)$$

h = % 0,5

$\delta_c = 3,15$

$V_A = 579,1 \text{ dm}^3$

Kum : 289,5 dm^3 × 2,61 gr/dm^3 = 765,38 gr (4.6)

Çakıl : 289;5 dm^3 × 2,61 gr/dm^3 = 809,37 gr (4.7)

SONUÇ OLARAK , 1000 dm^3 betonda :

- 251 kg su ,
- 520 kg çimento ,
- 765 kg kum ,
- 809 kg çakıl bulunmalıdır.

4.4.1.2 Taze Betonun Üretimi

Beton üretimine geçilmiş ve şu adımlar takip edilmiştir :

1. Taze beton üretimi yapılırken, öncelikle yapılan programla laboratuvarda mevcut çelik kalıp sayısı kıyaslanarak dört ayrı üretim yapılması gerektiği tespit edilmiştir. Betonun içine yerleştirileceği kalıplar hazırlanmıştır.Betonun bünyesindeki suyun dışarıya sızıntı yapmaması için kullanılan kalıpların düzgün yerleştirilmesine dikkat edilmiş , ayrıca kalıptan örnekleri kolayca çıkarabilmek için kalıp yağı ile kalıplar yağlanmıştır.

2. Üretilecek beton miktarı hesaplanıp, beton üretimi için gerekli agrega, çimento ve su tedarik edilmiştir.

3. Tedarik edilen beton bileşenleri beton karışım hesaplarından çıkan sonuçlara uygun olarak tartılmışlardır. Malzemenin nemli olması ya da sıkıştırmanın farklı olması durumunda hataya sebep olabileceğinden, hacim yollu ölçüm kullanılmamıştır. Beton bileşimine giren malzemeler tartılarak gram cinsinden ölçülmüşlerdir.

4. Tartılan malzemeler beton karma kabında karıştırılmıştır. Betonun karıştırılma aşaması betonun; dayanım ve dayanıklılığını, işlenebilme özelliğini ve yapısını etkilediğinden, istenilen özelliklere sahip kaliteli bir beton elde etmek için beton karışımının homojen olması istenmiş ve bu amaçla beton karıştırma işlemi elle değil helezon mikserli matkap ile yapılmıştır. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2 Beton harcının matkap yardımıyla karıştırılması

Karıştırma işlemi yapılırken ölçülen miktarda agrega karma kabına serilmiş ve üzerine yine ölçülmüş çimento yayılmıştır. Gri bir renk alıncaya kadar bu karışım mala yardımıyla karıştırılmıştır. Daha sonra yavaş yavaş su ilave edilirken bir yandan da mikserle karışım karıştırılmıştır. bu işlem harç yumuşak ve grimsi bir hale gelinceye kadar sürmüştür. (Şekil 4.3)



Şekil 2.3 Üretilen beton harcı

5. Elde edilen beton plastik kıvama gelince daha önceden hazırlanmış kalıplara yerleştirilmeye başlanmıştır. Yerleştirme işlemi iki tabaka halinde kaşık ve küçük mala yardımıyla yapılmıştır. (Şekil 4.4)



Şekil 2.4 Üretilen betonu harcının kalıplara yerleştirilmesi

6. Betonun kalıpların içine daha iyi yerleşmesini sağlamak amacıyla, kalıplara doldurulmuş beton, titreşim masası üzerinde 15 sn vibre edilmiştir. (Şekil 4.5)



Şekil 2.5 Kalıplara yerleştirilmiş betonun titreşim masasında vibre edilmesi

7. Betonun bünyesindeki suyun buharlaşarak kaybolmasını önlemek amacıyla kalıpların üzeri naylon streç ile sarılmış ve 24 saat laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

   24 saat sonunda kalıplar sökülmüş ve her bir örnek isimlendirilmiş, boyutları ölçülmüş ve tartılmıştır. Örnekler isimlendirilirken şu kodlama sistemi kullanılmıştır : BTA1-1'de :

   - BT – beton
   - A – kalıp ismi
   - 1 – üçlü kalıptaki sırası
   - 1 – üretim sırası

8. Örnekler daha sonra kürlemeye bırakılmışlardır. 20 ± 1^{0}C musluk suyuna, bütün yüzeyleri suya değecek şekilde yerleştirilen örnekler deney günlerine kadar bu koşullarda bekletilmişlerdir. (Şekil F6)



Şekil 4.6 Sertleşmiş beton örneklerin su içinde kürlenmesi

4.4.2 Tamir Harcı Örneklerin Üretimi

Deneysel çalışmada tamir harcı örneklerinin üretimi için Duratek firmasına ait, C 108 isimli tiksotropik, çekmez, sülfada dirençli harç kullanılmıştır.

4.4.2.1 Tamir Harcı Karışım Hesapları

C 108 bünyesinde suni elyaf ve polimer içeren yüksek performanslı bir hidrolik polimer harçtır. C108 tamir harcının karışım hesapları firmanın verdiği bilgiler doğrultusunda yapılmıştır. Firma tarafından, mala ile uygulanacak olan, plastik kıvamlı bir karışım hazırlamak için; 25 kg yani bir torba tamir harcına 4-4,5 litre su konması gerektiği belirtilmiştir. [24]

Daha önce yapılan çalışmadan alınan veriler doğrultusunda 1000 gr tamir harcına 180 gr su konularak karışım yapılmıştır. [27]

4.4.2.2 Taze Tamir Harcının Üretimi

Firmanın verdiği karışım oranları dikkate alınarak karışım hazırlanmıştır. Taze betonun üretiminde izlenen adımlar izlenmiştir. Tamir harcının karıştırma işlemi de helezon mikserle yapılmıştır.Karıştırma karışım homojen hale gelinceye kadar yaklaşık 3-4 dakika sürmüştür. Tamir harcı karıştırıldıktan sonra ilk prizini alması için 10-15 dakika beklemeye bırakılmıştır. Daha sonra kalıplara, taze betona paralel şekilde iki tabaka halinde yerleştirilen tamir harcı titreşim masasına götürülmüş ancak, tamir harcı betondan daha ince taneli olduğundan dolayı ayrışmaması için, 30 sn değil 15 sn vibre edilmiştir.

Tamir harcı örnekleri de 24 saat boyunca üzeri naylon streç kaplı olarak kalıplarda kalmış daha sonra kalıplar sökülmüş ve mekanik ve/veya fiziksel deneylerinin yapılacağı güne kadar kürlenmesi için suya konulmuşlardır.

4.5 Deneyler

Yapılan deneyler dört aşamada gruplandırılmıştır:

1. Taze harç deneyleri
2. Sertleşmiş harç deneyleri
3. Onarım işlemleri
4. Durabilite (dayanıklılık) deneyleri

4.5.1 Taze Harç Deneyleri

Beton ve tamir harcı karıştırıldıktan sonra, karışımlar sertleşmeden önce yapılan deneylerdir. Bu deneylerle üretilen harcın beklenen özellikleri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmiştir. Hem beton, hem de tamir harcı için deneyler tekrar edilmiştir.

4.5.1.1 Taze Beton Deneyleri

Taze beton, bileşiminde yer alan maddelerin su ile karıştırıldıktan sertleşmeye kadar geçen süreçteki betondur. Karıştırılmış taze betonun beklenen işlenebilirlik değerini sağlayıp sağlamadığını araştırmak için taze betonda kıvam deneyi yapılmıştır. Ayrıca üretilen betonun içindeki boşluk miktarını kontrol etmek amacıyla taze betonda birim hacim ağırlığı deneyi yapılmıştır.

A. Taze Betonda Kıvam Deneyi

Betondan beklenen üç temel özellik vardır: işlenebilirlik, mukavemet(dayanım), durabilite(dayanıklılık). İşlenebilirlik özelliği betonun taze haldeki davranışı açısından önemlidir. Taze betondan, kalıplara iyi yerleşebilmesi için, işlenebilme özelliğinin yüksek olması beklenir. Betonun işlenebilme özelliğini kontrol etmek için yapılan çok sayıda deney vardır. Bunlardan en çok kullanılanları: çökme deneyi (slump test), ve-be deneyi, sarsma tablası(flow) deneyidir. Bu çalışmada taze betonun kıvamını tespit etmek için sarsma tablası deneyi yapılmıştır.

Deney yatay bir tablayı bir dişli yardımıyla belli bir yükseklikten düşürmek suretiyle yapılır. Tablanın üzerine saçtan yapılmış kesik koni kalıp, çapı küçük olan daire yüzeyi üste gelecek şekilde yerleştirilip, içi kıvamı ölçülecek taze betonla doldurulur.



Şekil 4.7 Kıvam deneyi için kesik koni şeklindeki kalıba taze harcın doldurulması

Daha sonra kalıp görevi gören kalıp şaküli olarak yukarı çekilmek suretiyle çıkartılır. (Şekil 4.8)



Şekil 4.8 Kıvam deneyinde kalıp çıkarıldıktan sonra sarsma tablası üzerindeki beton harcı

Kesik koninin yüksekliği küçük olduğu için taze beton kendi ağırlığı altında yıkılmadan koninin şeklini muhafaza eder. Dişliye bağlı olan bir kol yardımıyla tabla 12,5 mm yükseklikten 10 saniyede 15 kez düşürülür. Bu işlem sonucunda taze beton tabla üzerinde dairesel olarak yayılır. (Şekil 4.9) Yayılmış betonun çapı ölçülür ve yayılmamış betonun çapına oranlanırsa betonun işlenebilme özelliği yani kıvamı bulunur. (Şekil 4.10)

R : Yayılmış taze betonun çapı

r : Yayılmadan önceki çap

$$\text{Kıvam} = \frac{R}{r} \tag{4.8}$$



Şekil 4.9 Sarsma tablasından 15 kez düşürüldükten sonra tablo üzerindeki harç



Şekil 4.10 Kıvam deneyinde, sarsma tablası 15 kez düşürüldükten sonra betonun çapının ölçülmesi

Yapılan deneysel çalışmada her üretim için ayrı ayrı kıvam deneyi yapımıştır. Doğru sonuca ulaşmak için üç ayrı yerden okuma yapıp, bunların ortalaması alınmıştır.

Tablo 4.4 Taze betonda kıvam deneyi sonuçları

		R_1(cm)	R_2(cm)	R_3(cm)	ORTALAMA R(cm)	r(cm)	KIVAM
BETON	1.ÜRETİM	12,3	12,8	12,3	12,46	10	1,24
	2.ÜRETİM	12,8	12,4	12,4	12,53	10	1,25
	3.ÜRETİM	12,8	12,8	12,9	12,83	10	1,28
	4.ÜRETİM	12,9	13,1	12,7	12,9	10	1,29

B. Taze Betonda Birim Ağırlık Tayini Deneyi

Birim ağırlık, malzemenin boşlukları dahil ağırlığının hacmine oranıdır. Taze betonun birim ağırlığı ise belirli bir hacmin içine sıkıştırılarak yerleştirilmiş betonun birim hacmine isabet eden ağırlığının kg/dm^3 veya gr/cm^3 olarak ifade edilmesidir.

$$\Delta = \frac{P}{V} \tag{4.8}$$

Δ : Taze betonun birim ağırlığı

P : Taze betonun ağırlığı

V : Taze betonun hacmi

Çalışmada bu hesabı yapabilmek için öncelikle, kullanılan ($4 \times 4 \times 16$ cm) çelik kalıplar tartılmışlardır. Daha sonra, kalıplara taze beton daha önce anlatıldığı şekilde doldurulmuş, titreşim masasında 15 sn vibre edilmiştir. Ardından sıkıştırılmış taze beton dolu kalıpların üstü mala ile düzeltilmiş ve tekrar tartılmışlardır.

Tablo 4.5 Taze betonun birim ağırlıkları

	Kalıp ismi	Kalıbın boş ağırlığı (gr)	Beton + kalıp ağırlığı (gr)	Betonun birim ağırlığı (kg/dm^3)
1.ÜRETİM	A	10470	12320	2,41
	G	9720	11580	2,42
	I	10500	12320	2,37
	Y	9870	11680	2,36
	FD	10350	12170	2,37
2.ÜRETİM	A	10460	12300	2,40
	B	11160	13000	2,40
	C	10000	11820	2,37
	D	10060	11900	2,40
	E	9700	11540	2,40
	FD	10340	12160	2,37
3.ÜRETİM	A	10500	12340	2,40
	B	11170	13020	2,41
	C	10020	11830	2,36
	D	10090	11940	2,41
	E	9720	11500	2,32
	F	10180	12040	2,42
	G	9800	11680	2,45
	H	10120	11960	2,40
	I	10500	12360	2,42
	Y	9880	11690	2,36
4.ÜRETİM	A	10470	12330	2,42
	B	11170	13020	2,41
	C	10010	11830	2,37
	D	10080	11920	2,40
	G	9800	11700	2,47
	FD	10350	12180	2,38

4.5.1.2 Taze Tamir Harcı Deneyleri

Taze tamir harcına da taze betona uygulanan kıvam ve birim ağırlık tayini deneyleri uygulandı.

A. Taze Tamir Harcında Kıvam Deneyi

Taze tamir harcının işlenebilme özelliğinin tespiti için de sarsma tablası deneyi uygulanmıştır. Deney sonuçları tablo 4.6 ‘da verilmiştir.

Tablo 4.6 Taze tamir harcında kıvam deneyi sonuçları

		R_1(cm)	R_2(cm)	R_3(cm)	ORTALAMA R(cm)	r(cm)	KIVAM
TAMİR HARCI	1.ÜRETİM	14,5	14,5	14,5	14,5	10	1,45
	2.ÜRETİM	14,3	14,3	14,3	14,3	10	1,43
	4.ÜRETİM	13,5	13,9	13,2	13,53	10	1,35

B. Taze Tamir Harcında Birim Ağırlık Tayini Deneyi

Taze tamir harcının birim ağırlığını tayin etmek için taze betonda birim ağırlık tayini deneyinin aynısı yapılmıştır. Hacmi belirli çelik kalıplar önceden tartılmış, daha sonra harçla doldurulup titreşim masasında sıkıştırılmış, üzerindeki fazla harçlar mala ile düzeltilip tekrar tartılmıştır. İki tartım arasındaki farkı hacme $(4\times4\times16\times3)$ bölerek, birim hacme isabet eden ağırlık demek olan birim ağırlık bulunmuştur.

Tablo 4.7 Taze tamir harcının birim ağırlıkları

	Kalıp ismi	Kalıbın boş ağırlığı (gr)	Tamir harcı + kalıp ağırlığı (gr)	Tamir harcının birim ağırlığı (kg/dm^3)
1.ÜRETİM	B	11160	12800	2,14
	C	10000	11620	2,11
	D	10060	11700	2,14
	E	9700	11340	2,14
	H	10100	11780	2,19
2.ÜRETİM	F	10150	11780	2,12
	G	9800	11440	2,14
	H	10100	11740	2,14
4.ÜRETİM	E	9710	11340	2,12
	F	10160	11820	2,16
	H	10110	11780	2,17
	I	10500	12180	2,19
	Y	9870	11500	2,12

4.5.2 Sertleşmiş Harç Deneyleri

Sertleşmiş harç üzerinde yapılan deneylerdir. Taze harç kalıplarda 24 saat bekletildikten sonra kalıplar sökülür, harç prizini aldığı için sertleşmiştir. 1 günlük deneyler bu örnekler üzerinde yapılır. Diğer örnekler deney günleri gelene kadar beklemek üzere ve aynı zamanda kürleme işlemine tabii tutulmak üzere $20\pm1^{o}C$ sıcaklıkta su içine kürlenmeye bırakılırlar. Örnekler deney günü gelmeden 24 saat önce kuruması için laboratuvar ortamına alınırlar.

Sertleşmiş harç deneyleri kapsamında, sertleşmiş beton ve tamir harcı örneklere fiziksel ve mekanik deneyler uygulanmıştır.

4.5.2.1 Fiziksel Deneyler

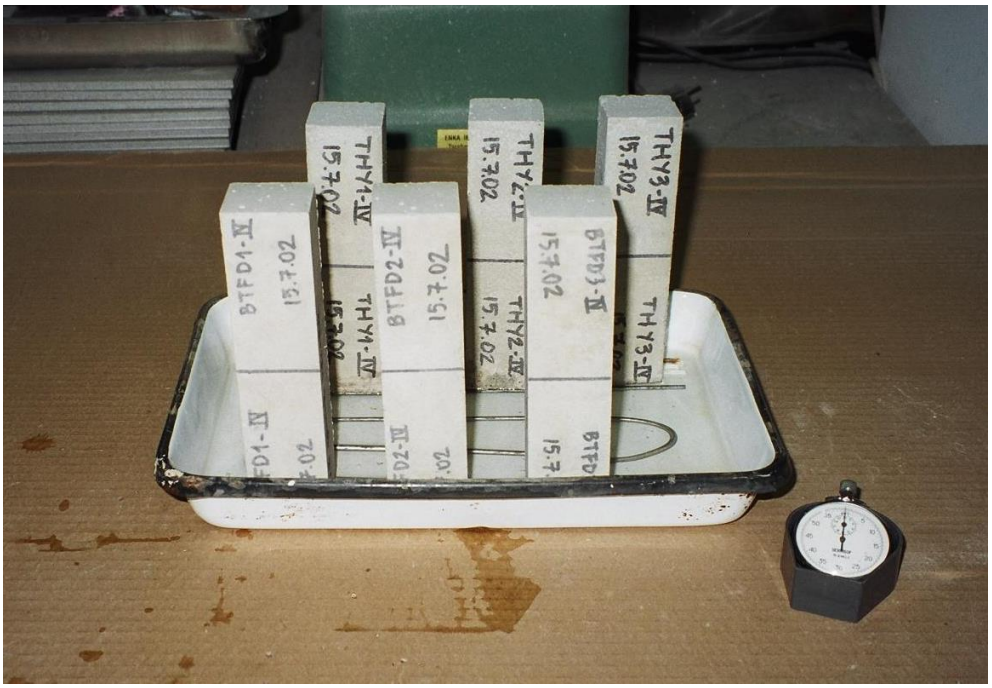
Fiziksel deneyler kapsamında; 28, 60 ve 90 günlük beton ve tamir harcı örneklere,

1. Kapiler su emme deneyi
2. Su emme deneyi
3. Kaynar su emme deneyi

yapılmıştır. Örneklerin deney gününden 7 gün önce kürleme suyundan çıkarılmış, laboratuvar ortamına alınmıştır. Örneklere öncelikle kılcal su emme deneyi yapılmış, ardından aynı örneklere su emme ve daha sonra kaynar su emme deneyleri yapılmıştır.

A. Kapiler Su Emme Tayini Deneyi

Kapiler (kılcal) su emme tayini , cismin alt yüzünden (tabanından) suya değdirilmesi ve kılcallık yoluyla suyun zamana bağlı olarak yükselmesi ile saptanan bir büyüklüktür. Sonuçta malzemenin ağırlık artışı ile kılcal su emme (kılcallık) katsayısı belirlenir. Birimi $cm^3/cm^2\sqrt{dak}$ veya $cm^3/cm^2\sqrt{sn}$ 'dir. [8]



Şekil 4.11 Kılcallık deneyi

Bu çalışmada, $4\times4\times16$ ebatlarında üretilen tamir harcı ve beton örnekleri; 28, 60 ve 90 günlük iken kapiler su emme tayini deneyleri yapılmıştır. Deney yapılırken 7 gün önceden kürleme suyundan örnekler çıkarılmış ve ortam koşullarında kurumaya bırakılmışlardır. Deney günü geldiğinde numuneler tartılmış ve bir kaba örneklerin

oturtulacağı bagetler yerleştirilmiş, örneklerin sadece alt yüzlerinden suya değecek şekilde distile su ilave edilmiştir. Daha sonra bir kronometre yardımıyla süre tutulmuş ve aralıklarla tartım yapılmıştır. Deney boyunca su seviyesi kontrol edilmiş, örneklerin tabanından yukarı çıkmasına izin verilmezken, su seviyesi düştüğünde su ilavesi yapılmıştır. (Şekil 4.11)

$$N = \frac{m_1 - m_0}{A\sqrt{t}} \tag{4.8}$$

N : Kılcallık katsayısı ($cm^3/cm^2\sqrt{dak}$)

m : Örneklerin ortam nemi ağırlığı (gr)

m_0 : Örneklerin ilk ağırlıkları (gr)

m_1 : Örneklerin belli bir zaman dilimi sonunda ağırlıkları (gr)

A : Örneklerin suya değen taban alanları

t : Örneklerin suyla temas ettiği süre

Deneyden elde edilen verilerle yapılan hesapların sonuçları aşağıdaki gibidir:

Tablo 4.8 Beton örneklerin 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları

	BETON ÖRNEKLER					
Örnek adı	BTFD1-4	N	BTFD2-4	N	BTFD3-4	N
a (cm)	4,03		4,10		4,12	
b (cm)	3,99		4,06		4,03	
L (cm)	16		16		16	
A (cm^2)	16,08		16,65		16,59	
Ortam nemi ağırlığı (gr)	585,8		599,3		595	
İlk ağırlık (gr)	586		599,4		595	
4. dak ağırlığı (gr)	586,4	0,012437	599,9	0,015015	595,6	0,018083
9. dak ağırlığı (gr)	586,5	0,010364	600	0,012012	595,7	0,014064
16. dak ağırlığı (gr)	586,6	0,009328	600,1	0,010510	595,8	0,012055
25. dak ağırlığı (gr)	586,8	0,009950	600,2	0,009609	595,9	0,010849
36. dak ağırlığı (gr)	586,9	0,009328	600,3	0,009009	595,9	0,009041
49. dak ağırlığı (gr)	587	0,008884	600,4	0,008580	596	0,008611
1 saat 04 dak ağırlığı (gr)	587,1	0,008550	600,4	0,007507	596	0,007534
1 saat 21 dak ağırlığı (gr)	587,2	0,008291	600,5	0,074074	596,1	0,007367
1 saat 40 dak ağırlığı (gr)	587,3	0,008084	600,6	0,007207	596,1	0,006630
2 saat 01 dak ağırlığı (gr)	587,4	0,007991	600,6	0,006552	596,2	0,006575
2 saat 24 dak ağırlığı (gr)	587,5	0,007773	600,7	0,006506	596,2	0,006027
2 saat 49 dak ağırlığı (gr)	587,6	0,007654	600,8	0,006468	596,2	0,005564
3 saat 16 dak ağırlığı (gr)	587,7	0,007551	600,8	0,006006	596,2	0,005166
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dak}$)		0,0089373		0,0089373		0,0090435

Tablo 4.9 Tamir harcı örneklerin 28 günlük kılcallık deneyi sonuçları

	TAMİR HARCI ÖRNEKLER					
Örnek adı	THY1-4	N	THY2-4	N	THY3-4	N
a (cm)	4,14		4,175		4,119	
b (cm)	4,021		4,027		4,06	
L (cm)	160		160		160	
A (cm^2)	16,65		16,81		16,72	
Ortam nemi ağırlığı (gr)	541,3		544,6		539,6	
İlk ağırlık (gr)	541,3		544,6		539,6	
4. dak ağırlığı (gr)	541,4	0,003003	544,7	0,002974	539,7	0,002990
9. dak ağırlığı (gr)	541,4	0,002002	544,7	0,001983	539,7	0,001993
16. dak ağırlığı (gr)	541,5	0,003003	544,8	0,002974	539,8	0,003986
25. dak ağırlığı (gr)	541,5	0,002402	544,8	0,002380	539,8	0,002392
36. dak ağırlığı (gr)	541,5	0,002002	544,9	0,002974	539,8	0,001993
49. dak ağırlığı (gr)	541,5	0,001716	544,8	0,001700	539,8	0,001708
1 saat 04 dak ağırlığı (gr)	541,6	0,002252	544,8	0,001487	539,8	0,001495
1 saat 21 dak ağırlığı (gr)	541,5	0,001334	544,8	0,001322	539,8	0,001329
1 saat 40 dak ağırlığı (gr)	541,5	0,001201	544,8	0,001190	539,8	0,001196
2 saat 01 dak ağırlığı (gr)	541,6	0,001638	544,8	0,001082	539,8	0,001087
2 saat 24 dak ağırlığı (gr)	541,6	0,001501	544,8	0,000991	539,8	0,000997
2 saat 49 dak ağırlığı (gr)	541,6	0,001386	544,8	0,000915	539,8	0,000920
3 saat 16 dak ağırlığı (gr)	541,6	0,001287	544,8	0,000850	539,8	0,000854
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dak}$)		0,0019		0,00176		0,00176

Tablo 4.10 Beton örneklerin 60 günlük kılcallık deneyi sonuçları

	BETON ÖRNEKLER					
Örnek adı	BTFD1-4	N	BTFD2-4	N	BTFD3-4	N
a (cm)	4,08		4,10		4,14	
b (cm)	4,03		4,03		3,99	
L (cm)	16,00		16,00		16,00	
A (cm^2)	16,42		16,51		16,49	
Ortam nemi ağırlığı (gr)	604,1		604,6		606,2	
İlk ağırlık (gr)	604,2		604,7		606,3	
4. dak ağırlığı (gr)	604,5	0,009136	604,9	0,006057	606,5	0,006066
9. dak ağırlığı (gr)	604,6	0,008121	605,1	0,008076	606,7	0,008088
16. dak ağırlığı (gr)	604,7	0,007614	605,2	0,007571	606,8	0,007582
25. dak ağırlığı (gr)	604,8	0,007309	605,3	0,007268	606,8	0,006066
36. dak ağırlığı (gr)	604,9	0,007106	605,3	0,006057	606,9	0,006066
49. dak ağırlığı (gr)	604,9	0,006091	605,4	0,006057	607	0,006066
1 saat 04 dak ağırlığı (gr)	605	0,006091	605,5	0,006057	607	0,005307
1 saat 21 dak ağırlığı (gr)	605,1	0,006091	605,5	0,000527	607,1	0,005392
1 saat 40 dak ağırlığı (gr)	605,2	0,006091	605,6	0,005451	607,1	0,004853
2 saat 01 dak ağırlığı (gr)	605,2	0,005537	605,7	0,005506	607,2	0,004963
2 saat 24 dak ağırlığı (gr)	605,2	0,005076	605,7	0,005047	607,3	0,005055
2 saat 49 dak ağırlığı (gr)	605,3	0,005154	605,7	0,004659	607,3	0,004666
3 saat 16 dak ağırlığı (gr)	605,3	0,004786	605,8	0,004759	607,3	0,004333
N_{ort}($cm^3/cm^2\sqrt{dak}$)		0,00648		0,00562		0,00573

Tablo 4.11 Tamir harcı örneklerin 60 günlük kılcallık deneyi sonuçları

	TAMİR HARCI ÖRNEKLER					
Örnek adı	THY1-4	N	THY2-4	N	THY3-4	N
a (cm)	4,16		4,18		4,17	
b (cm)	4,02		4,02		4,04	
L (cm)	16,1		16,1		16,1	
A (cm^2)	16,71		16,80		16,83	
Ortam nemi ağırlığı (gr)	557,8		553,5		552,4	
İlk ağırlık (gr)	557,9		553,5		552,4	
4. dak ağırlığı (gr)	557,9	0,000000	553,6	0,002977	552,6	0,005943
9. dak ağırlığı (gr)	558	0,001995	553,6	0,001985	552,6	0,003962
16. dak ağırlığı (gr)	558	0,001496	553,7	0,002977	552,7	0,004457
25. dak ağırlığı (gr)	558	0,001197	553,7	0,002382	552,7	0,003566
36. dak ağırlığı (gr)	558	0,000997	553,8	0,002977	552,7	0,002972
49. dak ağırlığı (gr)	558	0,000855	553,8	0,002552	552,8	0,003396
1 saat 04 dak ağırlığı (gr)	558	0,000748	553,8	0,002233	552,8	0,002972
1 saat 21 dak ağırlığı (gr)	558,1	0,001330	553,9	0,002646	552,9	0,003302
1 saat 40 dak ağırlığı (gr)	558,1	0,001197	553,9	0,002382	552,9	0,002972
2 saat 01 dak ağırlığı (gr)	558,1	0,001088	553,9	0,002165	552,9	0,002701
2 saat 24 dak ağırlığı (gr)	558,1	0,000997	553,9	0,001985	552,9	0,002476
2 saat 49 dak ağırlığı (gr)	558,1	0,000921	553,9	0,001832	552,9	0,002286
3 saat 16 dak ağırlığı (gr)	558,1	0,000855	553,9	0,001701	552,9	0,002123
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dak}$)		0,00105		0,00237		0,00332

Tablo 4.12 90 günlük beton örneklerin kılcallık deneyi sonuçları

	BETON ÖRNEKLER					
Örnek adı	BTB1-4	N	BTB2-4	N	BTFB3-4	N
a (cm)	4,11		4,13		4,11	
b (cm)	4,02		4,02		4,01	
L (cm)	16,00		16,00		16,00	
A (cm^2)	16,53		16,58		16,48	
Ortam nemi ağırlığı (gr)	610,5		606,3		604,5	
İlk ağırlık (gr)	610,6		606,4		604,6	
4. dak ağırlığı (gr)	610,7	0,003025	606,5	0,003015	604,7	0,003035
9. dak ağırlığı (gr)	610,7	0,002017	606,6	0,004020	604,8	0,004046
16. dak ağırlığı (gr)	610,8	0,003025	606,6	0,003015	604,8	0,003035
25. dak ağırlığı (gr)	610,8	0,002420	606,7	0,003618	604,9	0,003641
36. dak ağırlığı (gr)	610,9	0,003025	606,8	0,004020	604,9	0,003035
49. dak ağırlığı (gr)	611	0,003458	606,8	0,003446	605	0,003468
1 saat 04 dak ağırlığı (gr)	611	0,003025	606,9	0,003769	605	0,003035
1 saat 21 dak ağırlığı (gr)	611,1	0,003362	606,9	0,003350	605	0,002697
1 saat 40 dak ağırlığı (gr)	611,1	0,003025	606,9	0,003015	605,1	0,003035
2 saat 01 dak ağırlığı (gr)	611,2	0,003301	607	0,003289	605,1	0,002759
2 saat 24 dak ağırlığı (gr)	611,2	0,003025	607	0,003015	605,1	0,002529
2 saat 49 dak ağırlığı (gr)	611,2	0,002793	607	0,002783	605,2	0,002801
3 saat 16 dak ağırlığı (gr)	611,3	0,003025	607,1	0,003015	605,2	0,002601
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dak}$)		0,0029635		0,0033362		0,0030552

Tablo 4.13 90 günlük tamir harcı örneklerin kılcallık deneyi sonuçları

	TAMİR HARCI ÖRNEKLER					
Örnek adı	THI1-4	N	THI2-4	N	THI3-4	N
a (cm)	4,27		4,22		4,20	
b (cm)	4,02		4,00		4,20	
L (cm)	16,00		16,00		16,00	
A (cm^2)	17,14		16,86		17,67	
Ortam nemi ağırlığı (gr)	558,4		557,8		554,6	
İlk ağırlık (gr)	558,4		557,9		554,6	
4. dak ağırlığı (gr)	558,4	0,000000	557,9	0,000000	554,7	0,002829
9. dak ağırlığı (gr)	558,5	0,001945	558	0,001978	554,7	0,001886
16. dak ağırlığı (gr)	558,5	0,001459	558	0,001483	554,7	0,001415
25. dak ağırlığı (gr)	558,5	0,001167	558	0,001187	554,8	0,002263
36. dak ağırlığı (gr)	558,5	0,000972	558	0,000989	554,8	0,001886
49. dak ağırlığı (gr)	558,6	0,001667	558	0,000848	554,8	0,001617
1 saat 04 dak ağırlığı (gr)	558,5	0,000729	558	0,000742	554,8	0,001415
1 saat 21 dak ağırlığı (gr)	558,6	0,001297	558,1	0,001318	554,8	0,001257
1 saat 40 dak ağırlığı (gr)	558,6	0,001167	558,1	0,001187	554,9	0,001697
2 saat 01 dak ağırlığı (gr)	558,6	0,001061	558,1	0,001079	554,9	0,001543
2 saat 24 dak ağırlığı (gr)	558,6	0,000972	558,1	0,000989	554,9	0,001415
2 saat 49 dak ağırlığı (gr)	558,6	0,000898	558,1	0,000913	554,9	0,001306
3 saat 16 dak ağırlığı (gr)	558,7	0,001250	558,1	0,000848	554,9	0,001212
N_{ort} ($cm^3/cm^2\sqrt{dak}$)		0,0029635		0,0033362		0,0030552

B. Su Emme Deneyi

Kılcallık deneyi yapıldıktan sonra beton ve tamir harcı örneklere su emme deneyi uygulanmıştır. 3 saat 16 dakikalık kılcallık deneyinden çıkan örnekler 20 ^{0}C $\pm 5^0$C su bulunan bir kapta tüm yüzeyi suyla temas edecek şekilde 48 saat bekletilmişlerdir.



Şekil 0.12 Su emme deneyi için su içinde bekleyen örnekler

Böylece suya doygun hale gelen örnekler bir arşimet terazisi yardımıyla su içinde tartılmışlardır. Daha sonra yüzeyindeki su hafifçe silinen örnekler tekrar tartılmışlardır.

Tablo 4.14 Beton örneklerin su emme deneyi sonuçları

	28 GÜNLÜK			60 GÜNLÜK			90 GÜNLÜK		
Örnek Adı	BTFD1-4	BTFD2-4	BTFD3-4	BTFD1-4	BTFD2-4	BTFD3-4	BTB1-4	BTB2-4	BTFB3-4
a (cm)	4,03	4,10	4,12	4,08	4,10	4,14	4,11	4,13	4,11
b (cm)	3,99	4,06	4,03	4,03	4,03	3,99	4,02	4,02	4,01
L (cm)	16	16	16	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
Ortam nem ağırlığı (P_0 , gr)	585,8	599,3	595	604,1	604,6	606,2	610,5	606,3	604,5
Suya doymuş ağırlık (P_1 , gr)	597,9	610,5	606,5	614,4	614,7	616,3	616,9	612,9	610,7
Su içindeki ağırlık (P_2 ,gr)	341,4	350,4	347,3	352,5	352,5	353,9	353,9	351	350,8
Su emme yüzdesi (Sa)	2,07	1,87	1,93	1,71	1,67	1,67	1,05	1,09	1,03
Birim hacim ağırlık (Δ ,gr/cm^3)	2,28	2,25	2,24	2,30	2,29	2,30	2,31	2,29	2,29
Özgül ağırlık (δ ,gr/cm^3)	2,28	2,30	2,30	2,31	2,31	2,31	2,32	2,32	2,33

Tablo 4.15 Tamir harcı örneklerin su emme deneyi sonuçları

	28 GÜNLÜK			60 GÜNLÜK			90 GÜNLÜK		
Örnek Adı	THY1-4	THY2-4	THY3-4	THY1-4	THY2-4	THY3-4	THI1-4	THI2-4	THI3-4
a (cm)	4,14	4,175	4,119	4,16	4,18	4,17	4,27	4,22	4,20
b (cm)	4,021	4,027	4,06	4,02	4,02	4,04	4,02	4,00	4,20
L (cm)	16	16	16	16,1	16,1	16,1	16,00	16,00	16,00
Ortam nem ağırlığı (P_0 , gr)	541,3	544,6	539,6	557,8	553,5	552,4	558,4	557,8	554,6
Suya doymuş ağırlık (P_1 , gr)	547,3	551,4	546,1	563,7	560	559,7	561,5	560,9	557,6
Su içindeki ağırlık (P_2 ,gr)	287,4	289	286,4	296,9	293,6	293,6	295,3	295,6	294,3
Su emme yüzdesi (Sa , %)	1,11	1,25	1,20	1,06	1,17	1,32	0,56	0,56	0,54
Birim hacim ağırlık (Δ,gr/cm^3)	2,03	2,02	2,02	2,07	2,05	2,04	2,04	2,07	1,96
Özgül ağırlık (δ,gr/cm^3)	2,08	2,08	2,08	2,09	2,08	2,08	2,10	2,10	2,11

Su emme deneyinden elde edilen verilerle aşağıdaki formüller kullanılarak yapılan hesaplardan çıkarılan sonuçlar tablo 4.14 ve 4tablo 4.15'da verilmiştir.

$$S_a = \frac{P_1 - P_0}{P_0} \times 100 \quad (4.9)$$

$$\Delta = \frac{P_0}{a \times b \times L} \quad (4.10)$$

$$\delta = \frac{P_0}{P_1 - P_2} \quad (4.11)$$

S_a : Su emme yüzdesi (%)

D_1 : Birim hacim ağırlık (gr/cm^3)

D_2 : Özgül ağırlık (gr/cm^3)

P_0 : Ortam nemi ağırlığı (gr)

P_1 : Suya doymuş ağırlık (gr)

P_2 : Su içindeki ağırlık (gr)

C. Kaynar Suda Su Emme Deneyi

Su emme deneyinden sonra örnekler kaynar suda su emme deneyine tabii tutulmuşlardır. Bu deney için tamamen suya doygun haldeki örnekler, tüm yüzeyleri suya değecek şekilde bir kaba yerleştirilmişlerdir. Kap örneklerin üstünü tamamen örtecek şekilde su ile doldurulmuş ve daha sonra ısıtılmaya başlanmıştır. Kabın içindeki su kaynadıktan sonra süre tutulmuş ve iki saat sonra ısıtıcı kapatılmıştır. Kabın içinde su seviyesi azaldıkça su ilave edilmiştir. Kaynatmanın sonunda deney örnekleri kabından çıkarılmadan oda sıcaklığında soğumaya bırakılır.

Tablo 4.16 Beton örneklerin kaynar su emme deneyi sonuçları

	BETON ÖRNEKLER								
	28 GÜNLÜK			60 GÜNLÜK			90 GÜNLÜK		
Örnek Adı	BTFD1-4	BTFD2-4	BTFD3-4	BTFD1-4	BTFD2-4	BTFD3-4	BTB1-4	BTB2-4	BTFB3-4
a (cm)	4,03	4,10	4,12	4,08	4,10	4,14	4,11	4,13	4,11
b (cm)	3,99	4,06	4,03	4,03	4,03	3,99	4,02	4,02	4,01
L (cm)	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00	16,00
Gk (gr)	585,80	599,30	595,00	604,10	604,60	606,20	610,50	606,30	604,50
Gd (gr)	598,60	610,80	606,10	614,60	615,30	616,50	617,70	614,00	611,90
Gds (gr)	342,50	351,40	348,60	353,00	353,30	354,70	354,90	351,70	351,20
Skk	2,19	1,92	1,87	1,74	1,77	1,70	1,18	1,27	1,22
Skh	5,00	4,43	4,31	4,01	4,08	3,93	2,74	2,94	2,84

Tablo 4.17 Tamir harcı örneklerin su emme deneyi sonuçları

	TAMİR HARCI ÖRNEKLER								
	28 GÜNLÜK			60 GÜNLÜK			90 GÜNLÜK		
Örnek Adı	THY1-4	THY2-4	THY3-4	THY1-4	THY2-4	THY3-4	THI1-4	THI2-4	THI3-4
a (cm)	4,14	4,18	4,12	4,16	4,18	4,17	4,27	4,22	4,20
b (cm)	4,02	4,03	4,06	4,02	4,02	4,04	4,02	4,00	4,20
L (cm)	16,00	16,00	16,00	16,10	16,10	16,10	16,00	16,00	16,00
G_k (gr)	541,30	544,60	539,60	557,80	553,50	552,40	558,40	557,80	554,60
G_d(gr)	547,80	551,80	546,60	564,80	560,40	560,30	562,70	561,90	558,40
G_{ds}(gr)	288,90	290,70	288,10	297,40	294,10	294,10	295,70	295,90	294,30
S_{kk} (%)	1,20	1,32	1,30	1,25	1,25	1,43	0,77	0,74	0,69
S_{kh} (%)	2,51	2,76	2,71	2,62	2,59	2,97	1,61	1,54	1,44

Daha sonra, sudan çıkarılan deney örneklerinin üzerindeki su damlaları silinerek giderilmiştir ve örnekler terazide tartılmışlardır. Vakit kaybetmeden bir arşimet terazisi yardımıyla su içinde de tartılmışlardır. Bu veriler ışığında beton ve tamir harcı örneklerin kaynar suda kütlece su emme oranı ve kaynar suda hacimce su emme oranı hesaplanmıştır. (Tablo 4.16, 4.17)

$$S_{kk} = \frac{G_d - G_k}{G_k} \text{ x } 100 \qquad (4.12)$$

$$S_{kh} = \frac{G_d - Gk_k}{G_d - G_{ds}} \text{ x } 100 \qquad (4.13)$$

S_{kk} : Kaynar suda kütlece su emme oranı (m/m %)

S_{kh} : Kaynar suda hacimce su emme oranı (v/v %)

G_d : Kaynar suda doygun hale getirilmiş örneklerin havadaki kütlesi (gr)

G_k : Ortam nemi ile kurumuş örneklerin kütlesi (gr)

G_{ds} : Kaynar suda doygun hale getirilmiş taşın su içindeki kütlesi (gr)

4.5.2.2 Ultrases Hızı Tayini Deneyi

Üretilen tamir harcı ve beton örneklere, kürlemenin, 1, 3, 7, 14, 28, 60, 90. günlerinde ultrases hızı tayini deneyi uygulanmıştır. Ultrases hızı tayini deneyi tahribatsız bir deney metodu olduğu için bu deneyden çıkan örneklere daha sonra mekanik deneyler olan eğilmede çekme ve basınç deneyleri yapılmıştır.

Titreşim frekansı 20 Khz'den büyük olan ses dalgalarına ultrases denilmektedir. Deneyi yapmak için, üretilen prizmatik numunenin bir ucuna ultrases oluşturan bir verici, diğer ucuna da ses dalgalarını alan bir alıcı yerleştirilmiştir. Sesin alıcıya ulaşma süresi tespit edilerek, sesin örnek içindeki yayılma hızı bulunmuştur. (Şekil 4.12) (Tablo : 4.18)



Şekil 4.13 Ultrases geçiş hızı tayini deneyinin yapılması

Bulunan hız değeri betonun boşluk yapısı hakkında bilgi verir. Beton boşluklu ise, ses dalgası boşlukların etrafında dolanacağından, ultrases geçiş süresi artar, ultrases geçiş hızı azalır. Bu da betondaki porozitenin yüksek, kompasitenin düşük olduğunu gösterir. Ultrases geçiş hızı değeri 3 km/sn'den küçük olursa beton çok boşluklu olacağı için mukavemeti de düşük olur.

Tablo 4.18 Beton örnekler üzerinde yapılan ultrases deneyi sonuçları

Süresi	Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık	Ultrases		
						geçiş süresi	geçiş hızı	Ortalama hız
		(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(µsn)	(km/sn)	(km/sn)
1 gün	BTFD1-1	42,14	40,18	160	598,7	62	2,58	2,58
	BTFD2-1	40,65	40,15	160	592,02	63	2,54	
	BTFD3-1	41,48	40,26	160	604,51	61	2,62	
3 gün	BTY1-1	41,33	40,22	160	598,24	52	3,08	3,08
	BTY2-1	41,06	40,08	160	599,2	52	3,08	
	BTY3-1	41,16	40,06	160	593,9	52	3,08	
7 gün	BTI1-1	40,1	40,78	160	597,84	51	3,14	3,16
	BTI2-1	40,3	41,42	160	603,77	50	3,20	
	BTI3-1	40,11	40,67	160	597,28	51	3,14	
14 gün	BTG1-1	42,58	40,6	160	611,83	50	3,20	3,18
	BTG2-1	41,12	40,19	160	611,18	51	3,14	
	BTG3-1	41,32	40,24	160	611,13	50	3,20	
28 gün	BTA1-1	41,31	40,37	160	611	51	3,14	3,16
	BTA2-1	41,03	40,77	160	613,22	51	3,14	
	BTA3-1	41,51	39,97	160	601,2	50	3,20	
60 gün	BTE1-2	41,2	40,44	160	608,25	50	3,20	3,18
	BTE2-2	40,64	40,36	160	601,89	51	3,14	
	BTE3-2	41,22	40,18	160	608,25	50	3,20	
90 gün	BTFD1-2	40,69	40,21	160	600,03	44	3,64	3,61
	BTFD2-2	41,83	40,02	160	606,85	44	3,64	
	BTFD3-2	40,88	40,33	160	605,7	45	3,56	

Tablo 4.19 Tamir harcı örnekler üzerinde yapılan ultrases deneyi sonuçları

Kür Süresi	Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık	Ultrases		
						geçiş süresi	geçiş hızı	Ortalama hız
		(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(μsn)	(km/sn)	(km/sn)
1 gün	THH1-1	43,07	40,13	160	549,63	60	2,67	2,68
	THH2-1	41,78	40,4	160	539,76	59	2,71	
	THH3-1	42,85	40,62	160	543,58	60	2,67	
3 gün	THB1-1	42,61	40,1	160	538,54	53	3,02	3,02
	THB2-1	42,62	40,2	160	538,49	53	3,02	
	THB3-1	42,5	40,26	160	541,16	53	3,02	
7 gün	THC1-1	41,74	40,24	161	544,84	51	3,16	3,16
	THC2-1	42,18	40,31	161	547,4	51	3,16	
	THC3-1	41,67	40,45	161	543,64	51	3,16	
14 gün	THD1-1	42,58	40,6	160	555,33	50	3,20	3,18
	THD2-1	42,32	40,73	160	551,92	51	3,14	
	THD3-1	42,51	40,81	160	553,38	50	3,20	
28 gün	THE1-1	42,18	40,18	160	549,43	51	3,14	3,14
	THE2-1	42,26	40,28	160	554,13	51	3,14	
	THE3-1	42,26	40,42	160	556,6	51	3,14	
60 gün	THF1-2	41,44	40,22	160	546,89	51	3,14	3,14
	THF2-2	41,53	40,34	160	550,88	51	3,14	
	THF3-2	41,19	40,36	160	548,93	51	3,14	
90 gün	THG1-2	42,29	40,32	160	551,69	46	3,48	3,45
	THG2-2	41,88	40,21	160	554,46	46	3,48	
	THG3-2	42,27	40,28	160	552,82	47	3,40	

4.5.2.3 Mekanik Deneyler

Yapı malzemelerinin yük taşıma özellikleri mekanik özelliklerine göre belirlenir. Yapılan çalışmada tamir harcı ve beton örneklerin mekanik özelliklerini ölçmek üzere eğilmede çekme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler, kürlemenin, 1, 3, 7, 14, 28, 60, 90. günlerinde uygulanmıştır. Su içinde kürlenmekte olan örnekler, deneyin yapılmasından 24 saat önce sudan çıkarılmış ve kuruması için normal ortam koşullarında bırakılmıştır.

A. Eğilmede Çekme Deneyi

Üretilen tamir harcı ve beton örneklerin eğilmede çekme dayanımını saptamak için orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu ile eğilmede çekme tayini deneyi uygulanmıştır.

Deney, basınç dayanımı deneyinin de yapıldığı bir preste yapılmıştır. Üst yükleme başlığı ve yükleme tablası eğilmede çekme deneyini yapmak üzere değiştirilmiştir. Yükleme tablası üzerinde örneklerin oturduğu mesnet mesafesi ayarlanabilmektedir.

Bu çalışmada mesnetler arası mesafe 100 mm alınmıştır. 4x4x16 cm boyutlarındaki, prizmatik deney örneği mesnetler üzerine tam ortalanacak şekilde yerleştirilmiştir. Yüklemenin yapıldığı yön ile örneğin yükü aldığı üst yüzeyin tam 90^0 açı yapmasına dikkat edilmiştir. Yükleme örneğin tam orta noktasına yapılmıştır ve örnek kırılana kadar devam etmiştir. Kırılmanın olduğu andaki P yükü presin göstergesinden okunmuştur. (Şekil 4.14)



Şekil 4.14 Eğilmede çekme ve basınç deneylerinin yapıldığı press

$$\sigma_{\text{eğilme}} = \frac{3}{2} \times \left(\frac{P \times l}{b \times h^2} \right) \qquad (4.14)$$

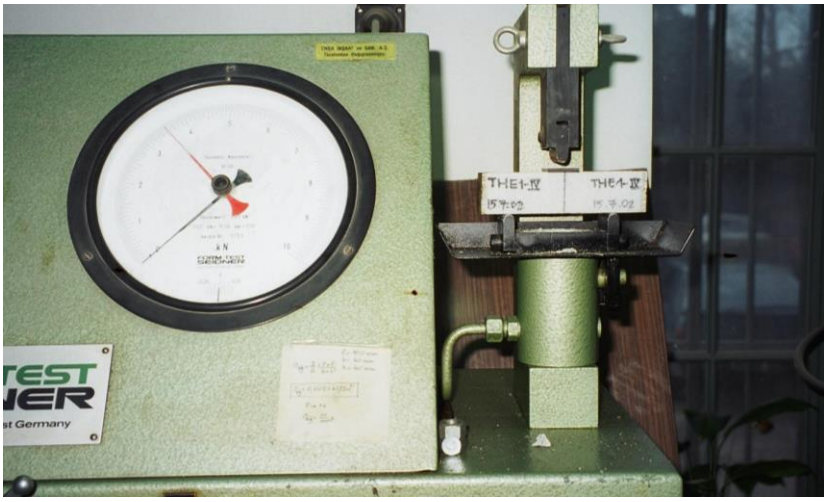
$\sigma_{\text{eğilme}}$: Eğilme dayanımı (N/mm^2)

P : Deney presinden okunan kırılma anındaki yük (N)

l : Yükleme tablası mesnetleri arası açıklık (mm)

b : Kırılma kesitinin genişliği (mm)

h : Kırılma kesitinin yüksekliği (mm)



Şekil 4.15 Eğilmede çekme deneyinin uygulanması

Tablo 4.20 Beton örneklerin üzerinde yapılan eğilmede çekme deneyi sonuçları

Kür Süresi	Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık	Kuvvet	Eğilme Dayanımı	Ortalama E. D.
		(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(N)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
1 gün	BTFD1-1	42,14	40,18	160	598,7	650	2,29	2,48
	BTFD2-1	40,65	40,15	160	592,02	725	2,66	
	BTFD3-1	41,48	40,26	160	604,51	700	2,50	
3 gün	BTY1-1	41,33	40,22	160	598,24	1650	5,92	5,67
	BTY2-1	41,06	40,08	160	599,2	1400	5,09	
	BTY3-1	41,16	40,06	160	593,9	1650	6,00	
7 gün	BTI1-1	40,1	40,78	160	597,84	2300	8,28	7,90
	BTI2-1	40,3	41,42	160	603,77	2150	7,46	
	BTI3-1	40,11	40,67	160	597,28	2200	7,96	
14 gün	BTG1-1	42,58	40,6	160	611,83	2850	9,75	10,03
	BTG2-1	41,12	40,19	160	611,18	2700	9,76	
	BTG3-1	41,32	40,24	160	611,13	2950	10,58	
28 gün	BTA1-1	41,31	40,37	160	611	2300	8,20	9,96
	BTA2-1	41,03	40,77	160	613,22	2700	9,50	
	BTA3-1	41,51	39,97	160	601,2	2650	9,59	
60 gün	BTE1-2	41,2	40,44	160	608,25	3900	13,89	11,38
	BTE2-2	40,64	40,36	160	601,89	2800	10,15	
	BTE3-2	41,22	40,18	160	608,25	2800	10,10	
90 gün	BTFD1-2	40,69	40,21	160	600,03	2100	7,66	8,61
	BTFD2-2	41,83	40,02	160	606,85	2250	8,06	
	BTFD3-2	40,88	40,33	160	605,7	2800	10,11	

Tablo 4.21 Tamir harcı örnekler üzerinde yapılan eğilmede çekme deneyi sonuçları

Kür Süresi	Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık	Kuvvet	Eğilme Dayanımı	Ortalama E. D.
		(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(N)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
1 gün	THH1-1	43,07	40,13	160	549,63	1900	6,57	6,74
	THH2-1	41,78	40,4	160	539,76	1900	6,69	
	THH3-1	42,85	40,62	160	543,58	2050	6,96	
3 gün	THB1-1	42,61	40,1	160	538,54	2400	8,41	8,2
	THB2-1	42,62	40,2	160	538,49	2250	7,84	
	THB3-1	42,5	40,26	160	541,16	2400	8,36	
7 gün	THC1-1	41,74	40,24	161	544,84	2400	8,58	8,33
	THC2-1	42,18	40,31	161	547,4	2300	8,10	
	THC3-1	41,67	40,45	161	543,64	2350	8,32	
14 gün	THD1-1	42,58	40,6	160	555,33	2500	8,55	8,81
	THD2-1	42,32	40,73	160	551,92	2850	9,74	
	THD3-1	42,51	40,81	160	553,38	2400	8,14	
28 gün	THE1-1	42,18	40,18	160	549,43	1700	5,99	6,68
	THE2-1	42,26	40,28	160	554,13	1850	6,48	
	THE3-1	42,26	40,42	160	556,6	2300	7,99	
60 gün	THF1-2	41,44	40,22	160	546,89	2200	7,88	7,73
	THF2-2	41,53	40,34	160	550,88	2100	7,46	
	THF3-2	41,19	40,36	160	548,93	2200	7,87	
90 gün	THG1-2	42,29	40,32	160	551,69	2000	6,98	7,26
	THG2-2	41,88	40,21	160	554,46	2200	7,80	
	THG3-2	42,27	40,28	160	552,82	2000	7,00	

B. Basınç Deneyi

Eğilmede çekme deneyi uygulanıp, ikiye bölünen beton ve tamir harcı örnekleri basınç dayanımı tayini deneyinde de kullanılmışlardır. Her bir yarım örnek deney presinin yükleme başlıkları arasına yerleştirilerek yük uygulanır. Yüklemeye sabit bir hızla ve darbe etkisi yapmayacak şekilde örnek kırılıncaya kadar devem edilir. Kırılmanın olduğu anda deney presinin gösterdiği en büyük yük kaydedilir, bu basınç kuvvetini verir. Aşağıdaki formüle göre hesaplama yapılarak, deneyi yapılan örneğin dayanabildiği maksimum basınç mukavemeti bulunur. İsimlendirilmiş her örnekten iki adet olduğundan bu iki örneğin ortalaması alınarak basınç kuvveti değeri yazılmıştır. (Tablo : 4.22, 4.23)

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

(4.15)

σ : Basınç dayanımı (N/mm^2)

P : Kırılma yükü (N)

A : Yüklemenin yapıldığı kesit alanı (mm^2)

Tablo 4.22 Beton örnekler üzerinde yapılan basınç deneyi sonuçları

Kür Süresi	Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık	Kuvvet	Basınç Dayanımı	Ortalama B. D.
		(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(N)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
1 gün	BTFD1-1	42,14	40,18	160	598,7	9250	5,46	5,61
	BTFD2-1	40,65	40,15	160	592,02	9500	5,82	
	BTFD3-1	41,48	40,26	160	604,51	9250	5,54	
3 gün	BTY1-1	41,33	40,22	160	598,24	24500	14,74	14,68
	BTY2-1	41,06	40,08	160	599,2	23000	13,98	
	BTY3-1	41,16	40,06	160	593,9	25250	15,31	
7 gün	BTI1-1	40,1	40,78	160	597,84	37000	22,63	22,80
	BTI2-1	40,3	41,42	160	603,77	37500	22,47	
	BTI3-1	40,11	40,67	160	597,28	38000	23,29	
14 gün	BTG1-1	42,58	40,6	160	611,83	52000	30,08	30,79
	BTG2-1	41,12	40,19	160	611,18	50500	30,56	
	BTG3-1	41,32	40,24	160	611,13	52750	31,73	
28 gün	BTA1-1	41,31	40,37	160	611	69500	41,67	41,51
	BTA2-1	41,03	40,77	160	613,22	67500	40,35	
	BTA3-1	41,51	39,97	160	601,2	70500	42,49	
60 gün	BTE1-2	41,2	40,44	160	608,25	80500	48,32	49,07
	BTE2-2	40,64	40,36	160	601,89	83500	50,91	
	BTE3-2	41,22	40,18	160	608,25	79500	48,00	
90 gün	BTFD1-2	40,69	40,21	160	600,03	86500	52,87	51,14
	BTFD2-2	41,83	40,02	160	606,85	82000	48,98	
	BTFD3-2	40,88	40,33	160	605,7	85000	51,56	

Tablo 4.23 Tamir harcı örnekler üzerine yapılan basınç deneyi sonuçları

Kür Süresi	Örnek Adı	a (mm)	b (mm)	L (mm)	Ağırlık (gr)	Kuvvet (N)	Basınç Dayanımı (N/mm^2)	Ortalama B. D. (N/mm^2)
	THH1-1	43,07	40,13	160	549,63	23750	13,74	
	THH2-1	41,78	40,4	160	539,76	23000	13,63	
1 gün	THH3-1	42,85	40,62	160	543,58	23000	13,21	13,53
	THB1-1	42,61	40,1	160	538,54	43250	25,31	
	THB2-1	42,62	40,2	160	538,49	42000	24,51	
3 gün	THB3-1	42,5	40,26	160	541,16	42000	24,55	24,79
	THC1-1	41,74	40,24	161	544,84	60750	36,17	
	THC2-1	42,18	40,31	161	547,4	59500	34,99	
7 gün	THC3-1	41,67	40,45	161	543,64	60750	36,04	35,73
	THD1-1	42,58	40,6	160	555,33	70500	40,78	
	THD2-1	42,32	40,73	160	551,92	73000	42,35	
14 gün	THD3-1	42,51	40,81	160	553,38	49750	28,68	37,27
	THE1-1	42,18	40,18	160	549,43	71500	42,19	
	THE2-1	42,26	40,28	160	554,13	74000	43,47	
28 gün	THE3-1	42,26	40,42	160	556,6	76750	44,93	43,53
	THF1-2	41,44	40,22	160	546,89	74000	44,40	
	THF2-2	41,53	40,34	160	550,88	73500	43,87	
60 gün	THF3-2	41,19	40,36	160	548,93	73000	43,91	44,06
	THG1-2	42,29	40,32	160	551,69	81500	47,80	
	THG2-2	41,88	40,21	160	554,46	83500	49,58	
90 gün	THG3-2	42,27	40,28	160	552,82	85000	49,92	49,10



Şekil 4.16 Basınç deneyinin uygulanması

4.5.3 Onarım Uygulaması ve Deneyleri

Deneysel çalışmanın bu kısmında, çeşitli sebeplerle donatıda meydana gelen korozyon sonucu betonda oluşan kopma ve çatlak gibi hasarların giderilmesi, onarım yöntemleri ve bunların dayanıklılığı araştırılmıştır.

4.5.3.1 Hasar Görmüş Betonun Onarılması

Bu uygulamayı yapabilmek için 4x4x16 cm ebatlarında ve daha önce bahsedilen koşullarda üretilen betonlar su içinde kürlenmeye bırakılmışlar, 27. gün kurutmak üzere sudan çıkarılıp laboratuvar ortamına alınmışlardır. Üretiminin 28. günü orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metoduyla eğilmede çekme deneyine tabii tutulmuşlar ve böylece hasar görmüş betonu temsil etmek üzere iki parçaya ayrılmışlardır. Bu örnekler iç kesitlerinin kuruması için 1-2 gün ortam koşullarında bekletilmiş, daha sonra onarım işlemine geçilmiştir.

Hasar görmüş betonu temsil eden prizmatik parça üç şekilde onarılmıştır :

1. Eğilmede çekme deneyi ile ikiye ayrılmış olan beton parçaya tamir harcı ile onarım yapılmıştır: Eski beton + tamir harcı.

2. Eğilmede çekme deneyi ile ikiye ayrılmış olan beton parçanın onarım göreceği yüzeye kimyasal yapıştırıcı epoksi uygulanmış daha sonra tamir harcı ile onarım yapılmıştır: Eski beton + epoksi + tamir harcı.

3. Eğilmede çekme deneyi ile ikiye ayrılmış olan beton parçalar birbirine epoksi ile yapıştırılmıştır: Eski beton + epoksi + eski beton.

A. Hasar Görmüş Betonun Tamir Harcı İle Onarımı

Yukarıda anlatıldığı gibi eğilmede çekme deneyi ile hasar görmüş betonu temsil edecek örnekler elde edilmiştir. İç kesitlerin kuruması için 1-2 gün beklendikten sonra taze tamir harcı ile onarımı işlemine geçilmiştir.

Önceden temizlenmiş ve yeni harcın dökületeceği tarafı yağlanmış olan kalıplara eski beton parçaları yerleştirilmiştir. Onarımın yapılacağı yüzey toz ve pislikten arındırılmış ve harcın daha iyi yapışmasını sağlamak için bir pamuk yardımıyla hafifçe nemlendirilmiştir. (Şekil 4.17)



Şekil 4.17 Onarım işlemleri için kalıpların hazırlanması

Daha sonra gereken miktarda taze tamir harcı önceden bahsedilmiş olan yöntemle üretilmiştir. Üretilen taze tamir harcı bir kaşık ya da mala yardımıyla iki tabaka halinde eski betonun yerleştirildiği kalıplara doldurulmuştur. Kalıpların içindeki taze tamir harcının daha iyi yerleşmesini sağlamak için titreşim masasında 15 saniye vibre edilmiştir. Kalıpların üstü mala ile düzeltilmiş ve bünyesindeki suyu kaybetmemesi için üzeri naylon streç ile kaplanıp 24 saat bekletilmiştir. (Şekil 4.18) Taze tamir harcının kürlenmesi için nemli bezlere sarılıp kapaklı kaplarda kırılacakları güne kadar muhafaza edilmişlerdir.

B. Hasar Görmüş Betonun Epoksi Ve Tamir Harcı İle Onarımı

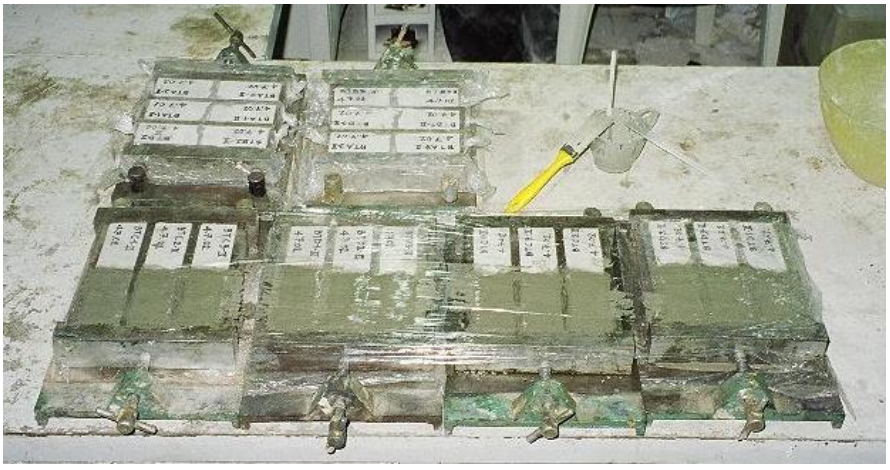
Bu onarım şeklinde hasar görmüş beton ile taze tamir harcının birbirine daha iyi yapışmasını sağlamak üzere beton ile tamir harcının ara kesitine epoksi uygulaması yapılmıştır. Bu uygulama yapılırken :

1. Kalıpların hazırlanması : Kalıplar yine temizlenmek suretiyle hazırlanmıştır ancak bir önceki uygulamadan farklı olarak epoksinin kalıba yapışmasını önlemek amacıyla kalıp naylon streç film ile kaplanmıştır, ayrıca epoksinin yapısını bozabileceği için kalıp yağlanmamıştır. Bu işlemlerden sonra onarılacak olan eski betonlar kalıba yerleştirilmiştir. (Şekil 4.17)
2. Epoksinin Hazırlanması : Duratek firmasına ait ‘GSM 510 eski – yeni beton yapıştırıcı macun’ isimli epoksi kullanılmıştır. Bu ürün A, B ve C olmak üzere üç bileşenlidir. Bileşenlerden A reçine, B ise sertleştiricidir. İstenirse A ve B karışımının akışkanlığını ayarlamak üzere dolgu maddesi olan C bileşeni ilave edilir. Bu çalışmada C bileşeni kullanılmamıştır. Karıştırma

işleminden önce, viskozite çok kalınlaştığı durumlarda A ve B bileşenlerinin bulunduğu kutular su banyosunda 35^0C'ye kadar ısıtılarak akışkan hale getirilmişlerdir. A ve B bileşeni %50 oranında karıştırılarak uygulama yapılmıştır. Kimyasal reaksiyon sırasında her A bileşeni ile bir B bileşeni tepkimeye gireceği için bileşenlerin eşit miktarda karıştırılmasına dikkat edilmiştir. Karışım hazırlanırken önce A bileşeni tartılmış sonra üstüne B bileşeni ilave edilmiştir.

Karıştırılacak epoksi miktarı ; malzemenin kataloğundaki 'tek katta 1 mm. kalınlık elde etmek için, asgari 2000 g/m^2 kullanılmalıdır' ibaresi dikkate alınarak, 1mm. Kalınlıkta 1cm^2 yüzey için 0,2 gr epoksi kullanılacağı düşünülmüş ve ona göre hesaplanmıştır.

3. Epoksinin uygulanması ve tamir harcının yerleştirilmesi : Karıştırılmış olan epoksi biraz viskoz duruma gelmesi için 3-5 dakika kadar bekledikten sonra kalıplara yerleştirilmiş ve onrarım yapılacak olan kesit alanı tozdan arındırılmış beton örneklerine ince uçlu bir fırça yardımıyla sürülmüştür. Epoksi reçinesi sürülürken beton yüzeyin yapıştırıcıyı iyice emmesine özen gösterilmiştir. Epoksi beton yüze sürüldükten sonra da hemen tamir harcı dökülmemiş, reçinenin kıvamının koyulaşması, macuncu kıvama gelmesi beklenmiştir. Daha sonra üretilen tamir harcı kalıplara yerleştirilmiş, titreşim masasında 15 saniye vibre edilmiştir. Mala ile düzeltildikten sonra kalıpların üzeri naylon streç film ile kaplanmıştır. (Şekil 4.18) 24 saat sonra kalıplardan çıkarılan örneklerin boyutları ölçülüp tartılmış ve kürlemelerini yapmaları için nemli bezlere sarılıp kapaklı kutularda bekletilmişlerdir.



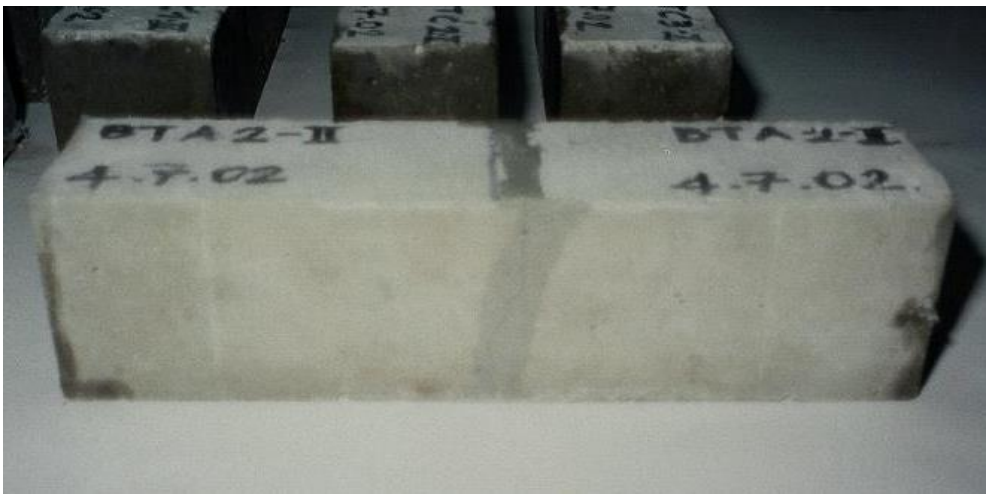
Şekil 4.18 Onarım sonrası örnekler

C. Hasar Görmüş Betonun Epoksi İle Yapıştırılması

Üçüncü onarım yöntemi olarak eğilmede çekme deneyi ile ikiye bölünmüş beton örnekleri epoksi ile birbirine yapıştırılmışlardır. Daha önce bahsedilen kurallara uygun olarak hazırlanan epoksi , ince bir fırça yardımıyla yedirilerek her iki kesit yüzeyine de sürülmüştür. Macunumsu kıvama gelmesi beklenmiş daha sonra iki parça birbirine yapıştırılmıştır. Daha sonra gevşememesi için kalıp demirleri ile sıkıştırılmıştır. 24 saat sonra kalıptan çıkarılmışlardır. (Şekil 4.20, 4.21)



Şekil 4.19 Eski beton + epoksi + eski beton tipinde onarım görmüş, yapıştırıcı sertleşinceye kadar kalıplarda bekletilen örnekler



Şekil 4.20 Eski beton + epoksi + eski beton tipinde onarım görmüş örneklerin yandan görünüşü

Deney sonuçlarını tablolarken daha pratik olması için, yapıştırma uygulamalarının tipleri numaralandırılmıştır. Numaralandırma aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

1. Eski beton + tamir harcı
2. Eski beton + epoksi + tamir harcı
3. Eski Beton + epoksi + tamir harcı, uygulamasını simgelemektedir.

4.5.3.2 Onarım Görmüş Örneklere Yapılan Deneyler

Onarım görmüş örneklere üç ayrı tip deney uygulanmıştır :

1. Mekanik Deneyler: Yapıştırılmış örneklerin mekanik özelliklerini ölçmek üzere 1, 3, 7, 14, 28 günlük örneklere eğilmede çekme deneyi uygulanmıştır.
2. Ultrases Deneyi: 1, 3, 7, 14, 28 günlük yapıştırılmış örneklere ultrases deneyi uygulanmıştır.
3. Durabilite Deneyleri: Eski betonu temsil etmek üzere kırılmış ve tamir harcı ve/veya epoksi ile onarım görmüş ve kürlemerini tamamlamak üzere 28 gün nemli ortamda bekletilmiş örneklerin, tamir harcının ve betonun durabilitesini ölçmek üzere iki çeşit durabilite deneyi yapılmıştır:
   - Donma-çözülme çevrimi
   - Islanma-kuruma çevrimi

A. Mekanik Deneyler

Onarım görmüş örneklerin mekanik özelliklerini ölçmek üzere 1, 3, 7, 14, 28 günlük örneklere eğilmede çekme deneyi uygulanmıştır. (Şekil 4.22, 4.23, 4.24) Aşağıda sonuçları verilmiştir (Tablo 4.24).



Şekil 4.21 Onarım görmüş örneklere eğilmede çekme deneyi uygulanması

Tablo 4.24 Yapıştırılmış örnekler üzerinde yapılan eğilmede çekme deneyi sonuçları

Kür Süresi	Tamir şekli	Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık	Kuvvet	Eğilme Dayanımı	Ortalama E.D.
			(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(N)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
1 gün	3	BTA1-2	41,08	40,61	160	605,23	2800	9,92	10,35
		BTA2-2	41,32	40,69	160	603,81	3100	10,88	
		BTA3-2	41,44	40,12	160	603,27	2850	10,25	
	2	BTD'1-2	41,67	41,08	160	585,95	1000	3,41	4,00
		BTD'2-2	41,67	40,15	160	585,17	1150	4,11	
		BTD'3-2	41,38	40,25	160	575	1250	4,48	
	1	BTC'1-2	41,31	40,24	160	577,54	550	1,97	2,34
		BTC'2-2	41,54	40,02	160	577,72	750	2,71	
		BTC'3-2	41,25	40,26	160	575,42	650	2,33	
3 gün	3	BTA1-3	41,36	40,58	160	597,35	2850	10,04	9,92
		BTA2-3	41,33	41,18	160	605,99	2500	8,56	
		BTA3-3	41,6	40,35	160	606,73	3150	11,16	
	2	BTD'1-3	42,21	40,57	160	578,5	1650	5,70	5,07
		BTD'2-3	42,49	40,8	160	574,6	1250	4,24	
		BTD'3-3	41,47	40,55	160	574,37	1500	5,28	
	1	BTD1-3	42,03	40,37	160	577,72	1050	3,68	4,19
		BTD2-3	41,49	40,75	160	577,06	1400	4,88	
		BTD3-3	41,42	40,76	160	577,05	1150	4,01	
7 gün	3	BTB1-3	40,9	40,57	160	593,95	3250	11,59	9,83
		BTB2-3	41,05	40,6	160	597,64	2700	9,58	
		BTB3-3	40,91	40,69	160	596,24	2350	8,33	
	2	BTF'1-3	42,23	40,17	160	578,02	1500	5,28	4,95
		BTF'2-3	41,38	40,55	160	575,74	1450	5,11	
		BTF'3-3	41,35	40,32	160	578,62	1250	4,46	
	1	BTF1-3	41,05	40,27	160	578,04	1400	5,05	4,16
		BTF2-3	41,34	40,23	160	580,14	950	3,41	
		BTF3-3	41,94	40,48	160	577,57	1150	4,02	
14 gün	3	BTB1-2	40,88	40,6	160	597,02	2700	9,62	10,34
		BTB2-2	41,01	40,21	160	597,98	3200	11,58	
		BTB3-2	41,32	40,68	160	603,73	2800	9,83	
	2	BTD1-2	41,9	40,57	160	579,5	1600	5,57	5,01
		BTD2-2	41,87	40,63	160	583,72	1350	4,69	
		BTD3-2	41,38	40,51	160	577,84	1350	4,77	
	1	BTC1-2	42,1	40,49	160	579,96	950	3,30	4,25
		BTC2-2	41,5	40,86	160	588,84	1450	5,02	
		BTC3-2	41,42	41,22	160	579,22	1300	4,43	
28 gün	3	BTC1-3	40,61	40,37	160	590,74	3650	13,24	13,48
		BTC2-3	40,48	40,59	160	588,53	3700	13,31	
		BTC3-3	40,68	40,44	160	589,16	3850	13,89	
	2	BTE'1-3	40,6	40,14	160	564,94	1600	5,87	5,77
		BTE'2-3	40,92	40,07	160	565,88	1600	5,84	
		BTE'3-3	40,76	40,34	160	574,73	1550	5,61	
	1	BTE1-3	40,62	40,23	160	568,2	1550	5,66	5,81
		BTE2-3	40,58	40,29	160	576,63	1700	6,19	
		BTE3-3	40,8	40,43	160	583,03	1550	5,58	

Tablo 4.25 Yapıştırılmış örnekler üzerinde yapılan ultrases deneyi sonuçları

Kür Süresi	Tamir şekli	Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık	Ultrases		
							geçiş süresi	geçiş hızı	Ortalama V
			(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(µsn)	(km/sn)	(km/sn)
1 gün	3	BTA1-2	41,08	40,61	160	605,23	49	3,27	3,20
		BTA2-2	41,32	40,69	160	603,81	50	3,20	
		BTA3-2	41,44	40,12	160	603,27	51	3,14	
	2	BTD'1-2	41,67	41,08	160	585,95	51	3,14	3,14
		BTD'2-2	41,67	40,15	160	585,17	51	3,14	
		BTD'3-2	41,38	40,25	160	575	51	3,14	
	1	BTC'1-2	41,31	40,24	160	577,54	50	3,20	3,16
		BTC'2-2	41,54	40,02	160	577,72	51	3,14	
		BTC'3-2	41,25	40,26	160	575,42	51	3,14	
3 gün	3	BTA1-3	41,36	40,58	160	597,35	51	3,14	3,16
		BTA2-3	41,33	41,18	160	605,99	51	3,14	
		BTA3-3	41,6	40,35	160	606,73	50	3,20	
	2	BTD'1-3	42,21	40,57	160	578,5	51	3,14	3,12
		BTD'2-3	42,49	40,8	160	574,6	51	3,14	
		BTD'3-3	41,47	40,55	160	574,37	52	3,08	
	1	BTD1-3	42,03	40,37	160	577,72	51	3,14	3,14
		BTD2-3	41,49	40,75	160	577,06	51	3,14	
		BTD3-3	41,42	40,76	160	577,05	51	3,14	
7 gün	3	BTB1-3	40,9	40,57	160	593,95	50	3,20	3,18
		BTB2-3	41,05	40,6	160	597,64	50	3,20	
		BTB3-3	40,91	40,69	160	596,24	51	3,14	
	2	BTF'1-3	42,23	40,17	160	578,02	51	3,14	3,14
		BTF'2-3	41,38	40,55	160	575,74	51	3,14	
		BTF'3-3	41,35	40,32	160	578,62	51	3,14	
	1	BTF1-3	41,05	40,27	160	578,04	50	3,20	3,18
		BTF2-3	41,34	40,23	160	580,14	50	3,20	
		BTF3-3	41,94	40,48	160	577,57	51	3,14	
14 gün	3	BTB1-2	40,88	40,6	160	597,02	51	3,14	3,14
		BTB2-2	41,01	40,21	160	597,98	51	3,14	
		BTB3-2	41,32	40,68	160	603,73	51	3,14	
	2	BTD1-2	41,9	40,57	160	579,5	51	3,14	3,10
		BTD2-2	41,87	40,63	160	583,72	52	3,08	
		BTD3-2	41,38	40,51	160	577,84	52	3,08	
	1	BTC1-2	42,1	40,49	160	579,96	50	3,20	3,12
		BTC2-2	41,5	40,86	160	588,84	52	3,08	
		BTC3-2	41,42	41,22	160	579,22	52	3,08	
28 gün	3	BTC1-3	40,61	40,37	160	590,74	51	3,14	3,12
		BTC2-3	40,48	40,59	160	588,53	51	3,14	
		BTC3-3	40,68	40,44	160	589,16	52	3,08	
	2	BTE'1-3	40,6	40,14	160	564,94	51	3,14	3,14
		BTE'2-3	40,92	40,07	160	565,88	51	3,14	
		BTE'3-3	40,76	40,34	160	574,73	51	3,14	
	1	BTE1-3	40,62	40,23	160	568,2	51	3,14	3,12
		BTE2-3	40,58	40,29	160	576,63	51	3,14	
		BTE3-3	40,8	40,43	160	583,03	52	3,08	

B. Ultrases Deneyi

Onarım görmüş 1, 3, 7, 14, 28 günlük örneklere ultrases deneyi uygulanmıştır. Yukarıda sonuçları verilmiştir. (Tablo 4.24, 4.25)

C. Durabilite Deneyleri

28 günlük kürlemede kalmış yapıştırılmış örneklere, tamir harcının ve betonun durabilitesini ölçmek amacıyla iki çeşit durabilite deneyi yapılmıştır.

- Donma Tesirlerine Dayanıklılık Deneyi :

TS 699 esas alınarak yapılan bu deneyde, yapıştırılmış olan örnekler, tamir harcı örnekleri ve beton örneklerinin her birinden üçer adet kullanılmıştır. Tüm örnekler hava kurusu olarak 7 gün laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Ortam nemine doygun hale geldikten sonra boyutları ölçülmüş, ağırlıkları tartılmıştır. Böylece örneklerin don kaybı hesabında kullanılacak ilk ağırlıkları (G_0) tespit edilmiştir. Örneklerin suya doyurulması için; Örneklerin bulunduğu kap içindeki su seviyesi, örneklerin önce 1/4'üne, sonra 1/2'sine, daha sonra 3/4'üne gelecek şekilde birer saat su içinde bekletilmiş, 3 saatin sonunda örneklerin üzerini 2 parmak geçecek şekilde su ile doldurulup, 48 saat boyunca laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Daha sonra donma-çözülme çevrimine geçilmiştir. Bunun için suya doygun örnekler soğutma hızı yaklaşık 4 saat içinde -20^0C'ye düşecek şekilde ayarlanmış soğuk hava dolabına konulmuştur. Soğuk hava dolabı sıcaklığının -20^0C'ye gözlendikten sonra yaklaşık 2 saat bu sıcaklıkta bekletilen deney örnekleri bu süre sonunda soğuk odadan çıkarılarak içinde 20 ± 5^oC sıcaklıktaki su içine tamamen su altında kalacak şekilde daldırılmış örnekteki buzlar tamamen eridikten sonra , ki bu süre en az 2 saatir, tekrar soğuk hava dolabına konulmuşlardır.

Bu şekilde donma ve çözülme işlemi 25 kez tekrarlanarak her defasında deney örneklerinde meydana gelen gözle görülür değişiklikler kaydedilmiştir.

Her 5 çevrimden sonra örneklerin ağırlıkları tartılmış ve boşluk yapısında bir değişme olup olmadığını gözlemlemek amacıyla ultrases geçiş hızı deneyine tabii tutulmuşlardır. Bu deneye ilişkin sonuçlar aşağıdaki tablo 4.26 ve 4.27'de verilmiştir.

Tablo 4.26 Donma-çözülme çevrimine giren örneklerin ultrases deneyi sonuçları(1-10 çevrim)

Çevrim sayısı			Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık	Ultrases		
								geçiş süresi	geçiş hızı	Ortalama hız
				(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(µsn)	(km/sn)	(km/sn)
başlangıç (suya doygun)	beton		BTD1-4	40,89	40,44	160	613,5	51	3,14	
			BTD2-4	41,21	40,42	160	612,5	50	3,20	3,16
			BTD3-4	40,96	40,47	160	610,1	51	3,14	
	tamir harcı		THF1-4	42,63	40,25	160	562	52	3,08	
			THF2-4	41,22	40,33	160	551,7	52	3,08	3,06
			THF3-4	42,15	40,1	160	560	53	3,02	
	tamir şekli	3	BTG1-3	41,49	40,31	160	617,6	51	3,14	
			BTG2-3	41,12	40,54	160	614	52	3,08	3,08
			BTG3-3	41,05	40,46	160	614,6	53	3,02	
		2	BTH'1-3	41,44	40,27	160	584,8	52	3,08	
			BTH'2-3	40,96	39,91	160	582,2	53	3,02	3,06
			BTH'3-3	41,19	40,14	160	588,8	52	3,08	
		1	BTH1-3	41,14	40,29	160	575,5	52	3,08	
			BTH2-3	41,32	40,46	160	579,8	51	3,14	3,08
			BTH3-3	41,12	40,45	160	576,2	53	3,02	
5. çevrim	Beton		BTD1-4	40,89	40,44	160	615	50	3,20	
			BTD2-4	41,21	40,42	160	613,9	51	3,14	3,16
			BTD3-4	40,96	40,47	160	611,8	51	3,14	
	tamir harcı		THF1-4	42,63	40,25	160	563,9	52	3,08	
			THF2-4	41,22	40,33	160	553,5	53	3,02	3,06
			THF3-4	42,15	40,1	160	562	52	3,08	
	tamir şekli	3	BTG1-3	41,49	40,31	160	614,4	52	3,08	
			BTG2-3	41,12	40,54	160	613,1	53	3,02	3,08
			BTG3-3	41,05	40,46	160	611,8	51	3,14	
		2	BTH'1-3	41,44	40,27	160	585,8	53	3,02	
			BTH'2-3	40,96	39,91	160	583,2	52	3,08	3,06
			BTH'3-3	41,19	40,14	160	589,9	52	3,08	
		1	BTH1-3	41,14	40,29	160	576,6	51	3,14	
			BTH2-3	41,32	40,46	160	580,9	53	3,02	3,08
			BTH3-3	41,12	40,45	160	577,3	52	3,08	
10. Çevrim	Beton		BTD1-4	40,89	40,44	160	615,7	42	3,81	
			BTD2-4	41,21	40,42	160	614,7	43	3,72	3,78
			BTD3-4	40,96	40,47	160	612,8	42	3,81	
	tamir harcı		THF1-4	42,63	40,25	160	564,7	45	3,56	
			THF2-4	41,22	40,33	160	554,4	47	3,40	3,45
			THF3-4	42,15	40,1	160	562,9	47	3,40	
	tamir şekli	3	BTG1-3	41,49	40,31	160	620	43	3,72	
			BTG2-3	41,12	40,54	160	616,4	43	3,72	3,69
			BTG3-3	41,05	40,46	160	617,1	44	3,64	
		2	BTH'1-3	41,44	40,27	160	586,3	43	3,72	
			BTH'2-3	40,96	39,91	160	583,7	44	3,64	3,66
			BTH'3-3	41,19	40,14	160	590,3	44	3,64	
		1	BTH1-3	41,14	40,29	160	577	44	3,64	
			BTH2-3	41,32	40,46	160	581,4	44	3,64	3,64
			BTH3-3	41,12	40,45	160	578	44	3,64	

Tablo 4.27 Donma-çözülme çevrimine giren örneklerin ultrases deneyi sonuçları (10-25 çevrim)

Çevrim sayısı			Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık	Ultrases		
								geçiş süresi	geçiş hızı	Ortalama hız
				(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(µsn)	(km/sn)	(km/sn)
15. Çevrim	beton		BTD1-4	40,89	40,44	160	615,6	42	3,81	
			BTD2-4	41,21	40,42	160	615,1	43	3,72	3,75
			BTD3-4	40,96	40,47	160	613	43	3,72	
	tamir harcı		THF1-4	42,63	40,25	160	564,3	45	3,56	
			THF2-4	41,22	40,33	160	554,7	45	3,56	3,53
			THF3-4	42,15	40,1	160	563,2	46	3,48	
	tamir şekli	3	BTG1-3	41,49	40,31	160	619,9	43	3,72	
			BTG2-3	41,12	40,54	160	616,3	43	3,72	3,72
			BTG3-3	41,05	40,46	160	617	43	3,72	
		2	BTH'1-3	41,44	40,27	160	585,8	45	3,56	
			BTH'2-3	40,96	39,91	160	583,4	44	3,64	3,58
			BTH'3-3	41,19	40,14	160	590,2	45	3,56	
		1	BTH1-3	41,14	40,29	160	576,6	44	3,64	
			BTH2-3	41,32	40,46	160	581,3	45	3,56	3,58
			BTH3-3	41,12	40,45	160	578,1	45	3,56	
20. Çevrim	beton		BTD1-4	40,89	40,44	160	615,2	42	3,81	
			BTD2-4	41,21	40,42	160	614,6	43	3,72	3,75
			BTD3-4	40,96	40,47	160	612,7	43	3,72	
	tamir harcı		THF1-4	42,63	40,25	160	564,3	47	3,40	
			THF2-4	41,22	40,33	160	554,3	47	3,40	3,43
			THF3-4	42,15	40,1	160	562,9	46	3,48	
	tamir şekli	3	BTG1-3	41,49	40,31	160	619,5	43	3,72	
			BTG2-3	41,12	40,54	160	616	42	3,81	3,70
			BTG3-3	41,05	40,46	160	616,9	45	3,56	
		2	BTH'1-3	41,44	40,27	160	585,5	44	3,64	
			BTH'2-3	40,96	39,91	160	583,3	44	3,64	3,58
			BTH'3-3	41,19	40,14	160	590,1	46	3,48	
		1	BTH1-3	41,14	40,29	160	576,5	44	3,64	
			BTH2-3	41,32	40,46	160	581,1	44	3,64	3,64
			BTH3-3	41,12	40,45	160	577,7	44	3,64	
25. çevrim	beton		BTD1-4	40,89	40,44	160	616	42	3,81	
			BTD2-4	41,21	40,42	160	615,5	43	3,72	3,75
			BTD3-4	40,96	40,47	160	613,5	43	3,72	
	tamir harcı		THF1-4	42,63	40,25	160	565,1	45	3,56	
			THF2-4	41,22	40,33	160	555,5	46	3,48	3,50
			THF3-4	42,15	40,1	160	564	46	3,48	
	tamir şekli	3	BTG1-3	41,49	40,31	160	620,4	44	3,64	
			BTG2-3	41,12	40,54	160	616,8	43	3,72	3,66
			BTG3-3	41,05	40,46	160	617,8	44	3,64	
		2	BTH'1-3	41,44	40,27	160	586,2	44	3,64	
			BTH'2-3	40,96	39,91	160	584,1	45	3,56	3,61
			BTH'3-3	41,19	40,14	160	591	44	3,64	
		1	BTH1-3	41,14	40,29	160	577,2	44	3,64	
			BTH2-3	41,32	40,46	160	581,8	44	3,64	3,66
			BTH3-3	41,12	40,45	160	578,6	43	3,72	

Donma çözülme işlemlerinin sonunda deney örnekleri laboratuvar ortamında, hava kurusu olacak şekilde bekletilmiştir. Örnekler ortam nemine doygun hale gelince örnekler tartılmış, örneklerin deneyden sonraki kütleleri (G_k) bulunmuştur

Tabi don tesirine dayanıklılık deneyinde don tesirleri sebebiyle koparak ayrılan kısımlardan meydana gelen kütle azalması (don kaybı) aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır :

$$D_k = \frac{G_0 - G_k}{G_0} \times 100 \qquad (4.15)$$

Burada;

D_k : Don kaybı (%)

G_0 : Örneğin deneyden önceki kütlesi (gr)

G_k : Örneğin deneyden sonraki kütlesi (gr)

Tablo 4.28 Donma-çözülme deneyi sonrası ağırlık kaybı hesabı

		Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık		D_k	
						İlk (G_0)	Son (G_k)		
			(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(gr)	%	ORT:
beton		BTD1-4	40,89	40,44	160	600,3	597,74	0,43	
		BTD2-4	41,21	40,42	160	598,12	596,01	0,35	0,38
		BTD3-4	40,96	40,47	160	596,55	594,48	0,35	
tamir harcı		THF1-4	42,63	40,25	160	551,98	550,45	0,28	
		THF2-4	41,22	40,33	160	542,16	542,22	-0,01	0,14
		THF3-4	42,15	40,1	160	550,32	549,42	0,16	
tamir şekli	3	BTG1-3	41,49	40,31	160	602,51	600,79	0,29	
		BTG2-3	41,12	40,54	160	600,17	598,21	0,33	0,31
		BTG3-3	41,05	40,46	160	600,21	598,3	0,32	
	2	BTH'1-3	41,44	40,27	160	578,99	569,39	1,66	
		BTH'2-3	40,96	39,91	160	576,8	567,94	1,54	1,64
		BTH'3-3	41,19	40,14	160	583,23	573,12	1,73	
	1	BTH1-3	41,14	40,29	160	569,77	562,05	1,35	
		BTH2-3	41,32	40,46	160	574,35	567,15	1,25	1,34
		BTH3-3	41,12	40,45	160	569,92	561,88	1,41	

Donma-çözülme çevrimi 25 kez gerçekleştikten sonra örneklere eğilmede çekme deneyi uygulanmıştır. Eğilmede çekme deneyi sonuçları aşağıda Tablo 4.29'da verilmiştir.

Tablo 4.29 Donma-çözülme çevrimine giren örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları

		Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık	Kuvvet	Eğilme Dayanımı	Ortalama E.D.
			(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(N)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
beton		BTD1-4	40,89	40,44	160	600,3	3700	13,28	13,77
		BTD2-4	41,21	40,42	160	598,12	3950	14,08	
		BTD3-4	40,96	40,47	160	596,55	3900	13,95	
tamir harcı		THF1-4	42,63	40,25	160	551,98	1800	6,26	8,73
		THF2-4	41,22	40,33	160	542,16	2900	10,38	
		THF3-4	42,15	40,1	160	550,32	2700	9,56	
tamir şekli	3	BTG1-3	41,49	40,31	160	602,51	3000	10,68	11,45
		BTG2-3	41,12	40,54	160	600,17	3300	11,72	
		BTG3-3	41,05	40,46	160	600,21	3350	11,96	
	2	BTH'1-3	41,44	40,27	160	578,99	2050	7,32	6,08
		BTH'2-3	40,96	39,91	160	576,8	1250	4,60	
		BTH'3-3	41,19	40,14	160	583,23	1750	6,33	
	1	BTH1-3	41,14	40,29	160	569,77	1200	4,31	5,59
		BTH2-3	41,32	40,46	160	574,35	1350	4,79	
		BTH3-3	41,12	40,45	160	569,92	2150	7,67	

25 kez donma-çözülme çevrimine girdikten sonra eğilmede çekme deneyi ile kırılan beton ve tamir harcı örneklerine basınç deneyi yapıldı. Bu deneyi ile ilgili sonuçlar Tablo 4.30'de verilmiştir.

Tablo 4.30 Donma-çözülme çevrimine giren örneklerin basınç deneyi sonuçları

	Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık	Kuvvet	Basınç Dayanımı	Ortalama B.D.
		(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(N)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
beton	BTD1-4	40,89	40,44	160	600,3	110000	66,52	64,90
	BTD2-4	41,21	40,42	160	598,12	106000	63,64	
	BTD3-4	40,96	40,47	160	596,55	107000	64,55	
tamir harcı	THF1-4	42,63	40,25	160	551,98	94500	55,07	57,13
	THF2-4	41,22	40,33	160	542,16	95000	57,15	
	THF3-4	42,15	40,1	160	550,32	100000	59,16	

- Islanma - Kuruma Çevrimi :

Bu deneyde, donma-çözülme çevriminde olduğu gibi, yapıştırılmış olan örnekler, tamir harcı örnekleri ve beton örneklerinin her birinden üçer adet kullanılmıştır. Tüm örnekler hava kurusu olarak 7 gün laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Ortam nemine doygun hale geldikten sonra boyutları ölçülmüş, ağırlıkları tartılmıştır. Böylece örneklerin ıslanma-kuruma çevrimi sonucunda bünyelerinde oluşacak ağırlık kaybını hesap ederken kullanılacak ilk ağırlıkları (G_0) tespit edilmiştir. Örneklerin suya doyurulması için; Örneklerin bulunduğu kap içindeki su seviyesi,

örneklerin önce 1/4'üne, sonra 1/2'sine, daha sonra 3/4'üne gelecek şekilde birer saat su içinde bekletilmiş, 3 saatin sonunda örneklerin üzerini 2 parmak geçecek şekilde su ile doldurulup, 48 saat boyunca laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Daha sonra etüv-su çevrimine geçilmiştir. Bunun için suya doygun örnekler $50 \pm 5^{o}C$ sıcaklığa ayarlanan etüve yerleştirilmiştir. Bütün gece bu sıcaklıktaki etüvde bekletilen deney örnekleri ertesi sabah etüvden çıkarılarak 1 saat laboratuvar ortamı koşullarında bekletilmişlerdir. Böylece örneklerin suya bırakılmadan önce sıcaklık dereceleri düşürülmüş ve ani şok tesiri altında kalmaları önlenmiştir. 1 saat sonra örnekler $20 \pm 5^{o}C$ sıcaklıktaki su içine tamamen su altında kalacak şekilde daldırılmışlardır. Su içinde altı saat kaldıktan sonra tekrar etüve yerleştirilmişlerdir.

Bu şekilde ıslanma-kuruma çevrimi 25 kez tekrarlanarak her defasında deney örneklerinde meydana gelen gözle görülür değişiklikler kaydedilmiştir.

Her 5 çevrimden sonra örneklerin ağırlıkları tartılmış ve boşluk yapısında bir değişme olup olmadığını gözlemlemek amacıyla ultrases geçiş hızı deneyine tabii tutulmuşlardır. Bu deneye ilişkin sonuçlar aşağıdaki Tablo 4.31 ve 4.32'de verilmiştir.

Etüv-su çevrimlerinin sonunda deney örnekleri laboratuvar ortamında, hava kurusu olacak şekilde bekletilmiştir. Örnekler ortam nemine doygun hale gelince örnekler tartılmış, örneklerin deneyden sonraki kütleleri (G_k) bulunmuştur

Meydana gelen kütle azalması, donma-çözülme çevrimindekine pararlel olarak, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır ve çıkan sonuçlar Tablo 4.33'de verilmiştir.

$$D_k = \frac{G_0 - G_K}{G_0} \times 100 \qquad (4.16)$$

Burada;

D_k : Deney sonrası kütle kaybı (%)

G_0 : Örneğin deneyden önceki kütlesi (gr)

G_k : Örneğin deneyden sonraki kütlesi (gr)

Tablo 4.31 Islanma-kuruma çevrimine giren örneklerin ultases deneyi sonuçları (1-10 çevrim)

Çevrim sayısı			Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık	Ultrases		
								geçiş süresi	geçiş hızı	Ortalama hız
				(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(µsn)	(km/sn)	(km/sn)
başlangıç	beton		BTC1-4	40,71	40,22	160	589,08	44	3,64	3,61
			BTC2-4	40,86	40,17	160	589,8	44	3,64	
			BTC3-4	41,04	40,03	160	592,2	45	3,56	
	tamir harcı		THE1-4	41,78	40,22	160	534,24	48	3,33	3,38
			THE2-4	41,59	40,15	160	533,19	47	3,40	
			THE3-4	41,58	40,23	160	539,56	47	3,40	
	tamir şekli	3	BTY1-3	40,45	40,15	160	534,24	45	3,56	3,56
			BTY2-3	40,74	40,23	160	533,19	45	3,56	
			BTY3-3	40,39	40,36	160	539,56	45	3,56	
		2	BTI'1-3	41,11	40,25	160	577,11	44	3,64	3,58
			BTI'2-3	41,27	40,08	160	578,74	45	3,56	
			BTI'3-3	41,1	40,09	160	575,98	45	3,56	
		1	BTI1-3	40,91	40,09	160	577,79	45	3,56	3,61
			BTI2-3	41,38	40,52	160	579,62	44	3,64	
			BTI3-3	41,39	40,13	160	579,66	44	3,64	
5. çevrim	beton		BTC1-4	40,71	40,22	160	591,9	43	3,72	3,61
			BTC2-4	40,86	40,17	160	592,8	45	3,56	
			BTC3-4	41,04	40,03	160	595,2	45	3,56	
	tamir harcı		THE1-4	41,78	40,22	160	535,8	48	3,33	3,38
			THE2-4	41,59	40,15	160	534,6	47	3,40	
			THE3-4	41,58	40,23	160	540,2	47	3,40	
	tamir şekli	3	BTY1-3	40,45	40,15	160	588,2	46	3,48	3,45
			BTY2-3	40,74	40,23	160	589,1	47	3,40	
			BTY3-3	40,39	40,36	160	590	46	3,48	
		2	BTI'1-3	41,11	40,25	160	570,5	46	3,48	3,43
			BTI'2-3	41,27	40,08	160	572,5	47	3,40	
			BTI'3-3	41,1	40,09	160	569,9	47	3,40	
		1	BTI1-3	40,91	40,09	160	571,2	45	3,56	3,48
			BTI2-3	41,38	40,52	160	573	47	3,40	
			BTI3-3	41,39	40,13	160	573,8	46	3,48	
10. Çevrim	beton		BTC1-4	40,71	40,22	160	594,9	43	3,72	3,61
			BTC2-4	40,86	40,17	160	595,7	45	3,56	
			BTC3-4	41,04	40,03	160	597,9	45	3,56	
	tamir harcı		THE1-4	41,78	40,22	160	537,5	47	3,40	3,40
			THE2-4	41,59	40,15	160	536,3	47	3,40	
			THE3-4	41,58	40,23	160	543,1	47	3,40	
	tamir şekli	3	BTY1-3	40,45	40,15	160	590,4	46	3,48	3,50
			BTY2-3	40,74	40,23	160	591,4	46	3,48	
			BTY3-3	40,39	40,36	160	591,8	45	3,56	
		2	BTI'1-3	41,11	40,25	160	572,3	47	3,40	3,43
			BTI'2-3	41,27	40,08	160	573,5	46	3,48	
			BTI'3-3	41,1	40,09	160	570,9	47	3,40	
		1	BTI1-3	40,91	40,09	160	573,4	47	3,40	3,45
			BTI2-3	41,38	40,52	160	575,1	46	3,48	
			BTI3-3	41,39	40,13	160	575,9	46	3,48	

Tablo 4.32 Islanma-kuruma çevrimine giren örneklerin ultrases deneyi sonuçları (10-25 çevrim)

Çevrim sayısı			Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık	Ultrases		
								geçiş süresi	geçiş hızı	Ortalama
				(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(µsn)	(km/sn)	(km/sn)
15. Çevrim	beton		BTC1-4	40,71	40,22	160	593,15	44	3,64	
			BTC2-4	40,86	40,17	160	594,63	45	3,56	3,58
			BTC3-4	41,04	40,03	160	596,73	45	3,56	
	tamir harcı		THE1-4	41,78	40,22	160	536,37	47	3,40	
			THE2-4	41,59	40,15	160	534,68	49	3,27	3,36
			THE3-4	41,58	40,23	160	541,27	47	3,40	
	tamir şekli	3	BTY1-3	40,45	40,15	160	589,2	46	3,48	
			BTY2-3	40,74	40,23	160	590,34	45	3,56	3,48
			BTY3-3	40,39	40,36	160	590,92	47	3,40	
		2	BTI'1-3	41,11	40,25	160	570,84	46	3,48	
			BTI'2-3	41,27	40,08	160	572,65	47	3,40	3,43
			BTI'3-3	41,1	40,09	160	570,57	47	3,40	
		1	BTI1-3	40,91	40,09	160	571,77	46	3,48	
			BTI2-3	41,38	40,52	160	573,76	48	3,33	3,43
			BTI3-3	41,39	40,13	160	574,67	46	3,48	
20. Çevrim	beton		BTC1-4	40,71	40,22	160	593,21	43	3,72	
			BTC2-4	40,86	40,17	160	594,56	45	3,56	3,61
			BTC3-4	41,04	40,03	160	596,85	45	3,56	
	tamir harcı		THE1-4	41,78	40,22	160	536,44	48	3,33	
			THE2-4	41,59	40,15	160	534,91	46	3,48	3,38
			THE3-4	41,58	40,23	160	541,13	48	3,33	
	tamir şekli	3	BTY1-3	40,45	40,15	160	589,22	46	3,48	
			BTY2-3	40,74	40,23	160	590,22	47	3,40	3,45
			BTY3-3	40,39	40,36	160	590,92	46	3,48	
		2	BTI'1-3	41,11	40,25	160	571,27	46	3,48	
			BTI'2-3	41,27	40,08	160	572,73	47	3,40	3,41
			BTI'3-3	41,1	40,09	160	570,33	48	3,33	
		1	BTI1-3	40,91	40,09	160	572,05	46	3,48	
			BTI2-3	41,38	40,52	160	574,21	46	3,48	3,48
			BTI3-3	41,39	40,13	160	574,49	46	3,48	
25. çevrim	beton		BTC1-4	40,71	40,22	160	583,00	43	3,72	
			BTC2-4	40,86	40,17	160	583,91	43	3,72	3,69
			BTC3-4	41,04	40,03	160	586,40	44	3,64	
	tamir harcı		THE1-4	41,78	40,22	160	521,67	45	3,56	
			THE2-4	41,59	40,15	160	521,04	45	3,56	3,53
			THE3-4	41,58	40,23	160	526,79	46	3,48	
	tamir şekli	3	BTY1-3	40,45	40,15	160	579,33	45	3,56	
			BTY2-3	40,74	40,23	160	580,30	45	3,56	3,58
			BTY3-3	40,39	40,36	160	581,02	44	3,64	
		2	BTI'1-3	41,11	40,25	160	558,76	45	3,56	
			BTI'2-3	41,27	40,08	160	560,61	45	3,56	3,58
			BTI'3-3	41,1	40,09	160	558,07	44	3,64	
		1	BTI1-3	40,91	40,09	160	560,07	43	3,72	
			BTI2-3	41,38	40,52	160	561,57	45	3,56	3,64
			BTI3-3	41,39	40,13	160	562,04	44	3,64	

Tablo 4.33 Islanma-kuruma çevrimine giren örneklerin ağırlık kaybı hesabı

		Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık		D_k	
						İlk (G_o)	Son (G_k)		
			(mm)	(mm)	(mm)	(gr)		%	ORT:
beton		BTC1-4	40,71	40,22	160	589,08	583,00	1,03	1,00
		BTC2-4	40,86	40,17	160	589,8	583,91	1,00	
		BTC3-4	41,04	40,03	160	592,2	586,40	0,98	
tamir harcı		THE1-4	41,78	40,22	160	534,24	521,67	2,35	2,33
		THE2-4	41,59	40,15	160	533,19	521,04	2,28	
		THE3-4	41,58	40,23	160	539,56	526,79	2,37	
tamir şekli	3	BTY1-3	40,45	40,15	160	585,1	579,33	0,99	1,02
		BTY2-3	40,74	40,23	160	586,52	580,30	1,06	
		BTY3-3	40,39	40,36	160	586,98	581,02	1,02	
	2	BTI'1-3	41,11	40,25	160	577,11	558,76	3,18	3,14
		BTI'2-3	41,27	40,08	160	578,74	560,61	3,13	
		BTI'3-3	41,1	40,09	160	575,98	558,07	3,11	
	1	BTI1-3	40,91	40,09	160	577,79	560,07	3,07	3,07
		BTI2-3	41,38	40,52	160	579,62	561,57	3,11	
		BTI3-3	41,39	40,13	160	579,66	562,04	3,04	

Islanma-kuruma çevrimi 25 kez gerçekleştikten sonra örneklere eğilmede çekme deneyi uygulanmıştır. Eğilmede çekme deneyi sonuçları aşağıda Tablo 4.34'de verilmiştir.

Tablo 4.34 Islanma-kuruma çevrimine girmiş örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları

		Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık	Kuvvet	Eğilme Dayanımı	Ort E.D.
			(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(N)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
beton		BTC1-4	40,47	40,23	160	583	3800	13,92	13,47
		BTC2-4	40,86	40,08	160	583,91	3750	13,71	
		BTC3-4	41,58	40,06	160	586,4	3550	12,77	
tamir harcı		THE1-4	41,48	40,19	160	521,67	3700	13,25	12,86
		THE2-4	41,62	40,01	160	521,04	3600	12,97	
		THE3-4	41,56	40,16	160	526,79	3450	12,35	
tamir şekli	3	BTY1-3	40,93	40,17	160	579,33	2700	9,81	8,85
		BTY2-3	40,74	40,33	160	580,3	2150	7,79	
		BTY3-3	40,65	40,22	160	581,02	2450	8,94	
	2	BTI'1-3	41,51	40,11	160	558,76	1200	4,31	4,61
		BTI'2-3	40,9	40,11	160	560,61	1150	4,19	
		BTI'3-3	41,38	40,47	160	558,07	1500	5,31	
	1	BTI1-3	41,09	40,28	160	560,07	1150	4,14	3,41
		BTI2-3	41,4	40,38	160	561,57	1000	3,56	
		BTI3-3	41,31	40,08	160	562,04	700	2,53	

25 kez ıslanma-kuruma çevrimine girdikten sonra eğilmede çekme deneyi ile kırılan beton ve tamir harcı örneklerine basınç deneyi yapıldı. Bu deneyi ile ilgili sonuçlar Tablo 4.35'de verilmiştir.

Tablo 4.35 Islanma-kuruma çevrimine girmiş örneklerin basınç deneyi sonuçları

	Örnek Adı	a	b	L	Ağırlık	Kuvvet	Basınç Dayanımı	Ortalama B.D.
		(mm)	(mm)	(mm)	(gr)	(N)	(N/mm^2)	(N/mm^2)
beton	BTC1-4	40,47	40,23	160	583	100500	61,73	61,64
	BTC2-4	40,86	40,08	160	583,91	100000	61,06	
	BTC3-4	41,58	40,06	160	586,4	103500	62,14	
tamir harcı	THE1-4	41,48	40,19	160	521,67	98500	59,09	58,88
	THE2-4	41,62	40,01	160	521,04	95000	57,05	
	THE3-4	41,56	40,16	160	526,79	101000	60,51	

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ

Yapılan deneysel çalışmanın sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmek üzere tablolar haline getirilmiş ve gerekli görülen yerlerde grafik anlatım kullanılmıştır.

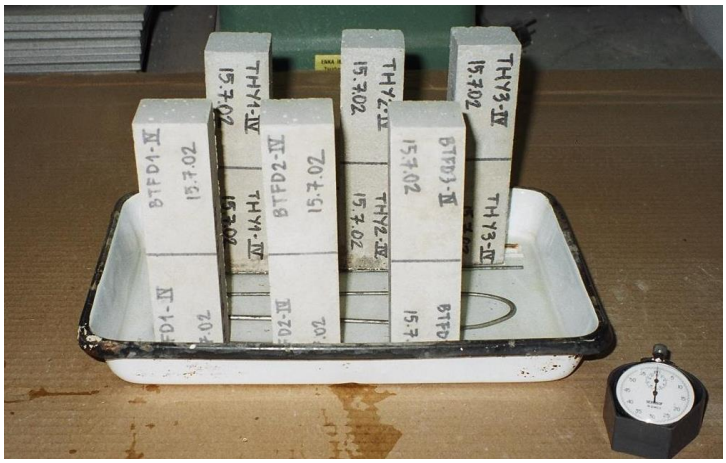
5.1 Deneylerin Değerlendirilmesi

5.1.1 Fiziksel Deneylerin Değerlendirilmesi

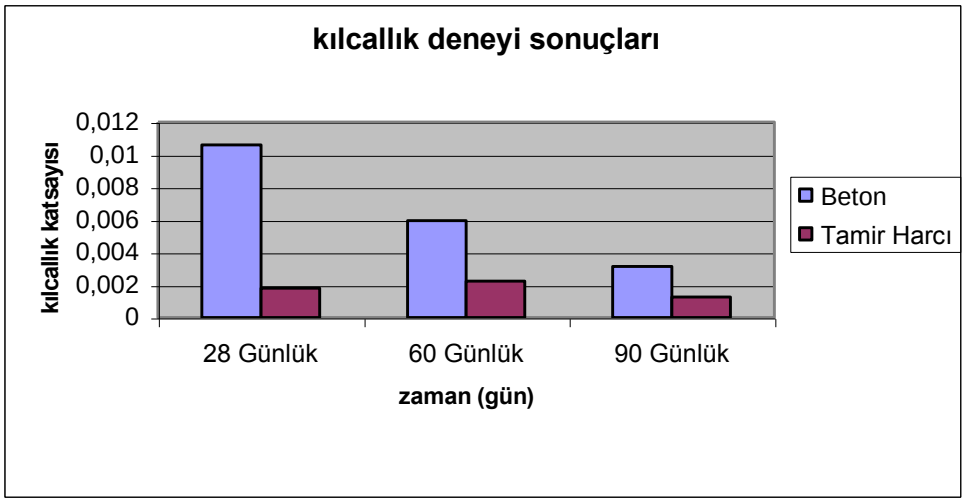
Fiziksel deneyler kapsamında yapılan kapiler su emme tayini, su emme ve kaynar suda su emme deneylerinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Tablo 5.1 Beton ve tamir harcı örneklerin fiziksel deney sonuçları

			28 Günlük	60 Günlük	90 Günlük
Kapilarite ($cm^3 / cm^2\sqrt{dak}$)		Beton	0,010585	0,005944	0,003118
		Tamir Harcı	0,001807	0,002246	0,001279
Su Emme Yüzdesi % (kütlece)		Beton	1,957	2,297	2,297
		Tamir Harcı	1,187	1,184	0,554
Kaynarsu emme Yüzdesi	Kütlece	Beton	1,994	1,737	1,224
		Tamir Harcı	1,274	1,31	0,74
	Hacimce	Beton	4,58	4,007	2,84
		Tamir Harcı	2,66	2,727	1,53

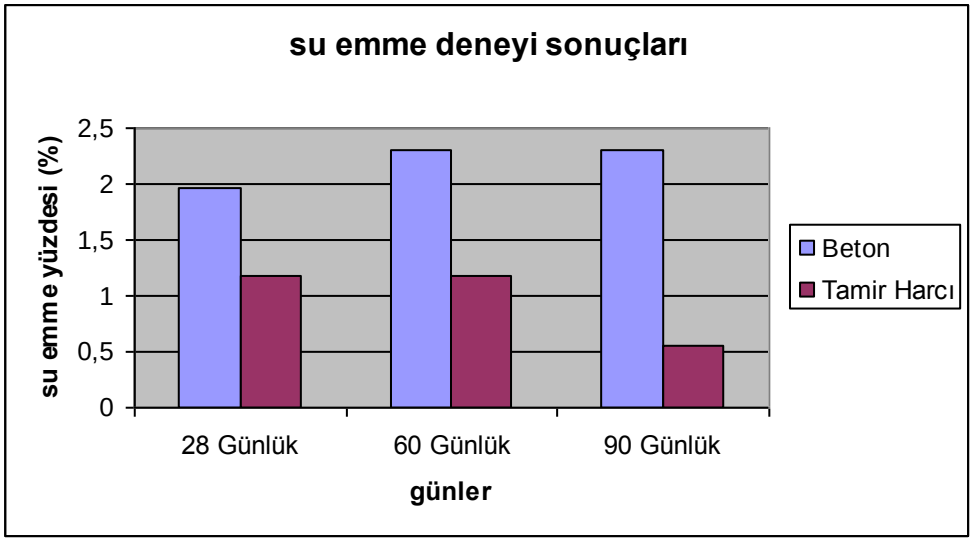


Şekil 5.1 Kılcallık deneyi

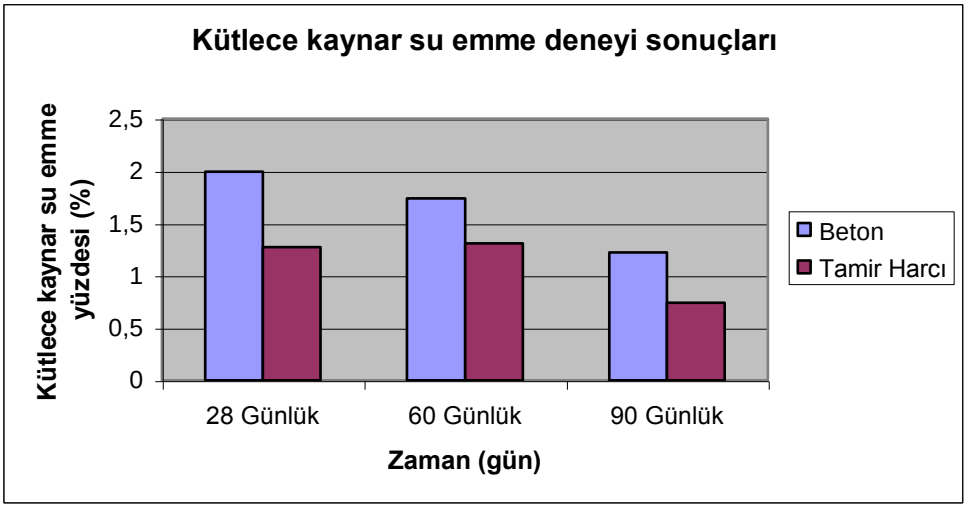


Şekil 5.2 Beton ve tamir harcı örneklerin kılcallık deneyi sonuçları

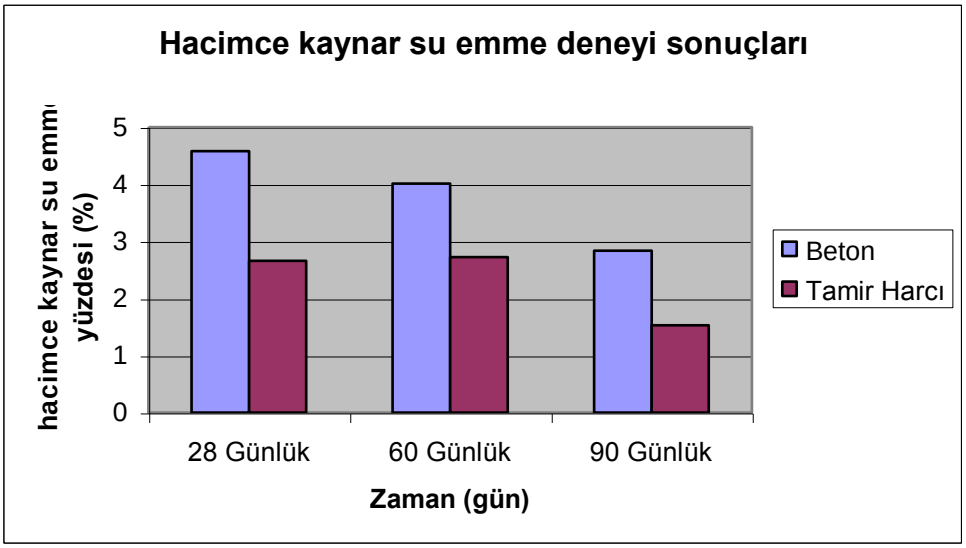
- Kılcallık deneyi sonucunda, beton örneklerinin kılcallık katsayısı, kürleme süresine bağlı olarak azalırken; tamir harcı örneklerinin kılcallık katsayısı süreye bağlı kalmaksızın hemen hemen aynı seviyede kalmış ve 90 günlük beton örneklerinden bile düşük çıkmıştır. Buradan da tamir harcı örneklerin son dayanımlarına daha çabuk ulaştıkları sonucu çıkarılmaktadır.



- Su emme deneyinde beton örneklerin su emme yüzdeleri kürleme süresinin artmasıyla artmıştır. Tamir harcı örneklerin ise 28 ve 60 günlüklerde farklılaşmazken, 90 günlüklerde düşüş olmuştur.



Şekil 5.3 Beton ve tamir harcı örneklerin kütlece kaynar su emme deneyi sonuçları



Şekil 5.4 Beton ve tamir harcı örneklerin hacimce kaynar su emme deneyi sonuçları

- Kaynar su emme deneyinde beton örneklerin hem kütlece hem hacimce kaynar su emme yüzdesi zamanla ters orantılı olarak azalmıştır. Tamir harcı örneklerin ise 28 ve 60 günlüklerde farklılaşmazken, 90 günlüklerde düşüş olmuştur.

- Betonun; kılcallık, su emme ve kaynar su emme deneylerinde elde edilen değerleri tamir harcından daha yüksek çıkmıştır. Bu da tamir harcı örneklerin kompasitelerinin betondan yüksek olduğu sonucunu vermektedir.

- 28 ve 60 günlük kürlemeden sonra fiziksel deneyleri yapılan tamir harcı örneklerinin fiziksel özelliklerinde belirgin bir farklılık gözlenmezken, 90 günlük kürlemeden sonra fiziksel deneyleri yapılan tamir harcı örneklerinin, fiziksel özelliklerinde değişikliler gözlenmiştir.

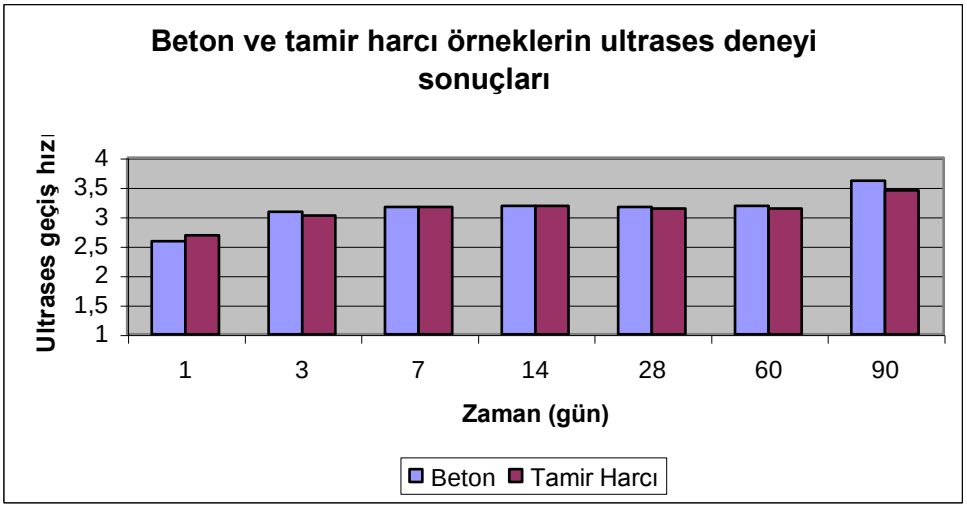
5.1.2 Ultrases Geçiş Hızı Deneyinin Değerlendirilmesi

Betonun boşluk yapısı hakkında bilgi veren ultrases hızının ölçülmesi deneyi deneysel çalışmada üç farklı aşamada uygulanmıştır. Bunlar:

- Beton ve tamir harçlarına 1, 3, 7, 14, 28, 60, 90 günlük örneklere,
- Onarım görmüş örneklerde onarım tarihinden itibaren 1, 3, 7, 14, 28 günlük örneklere,
- Durabilite deneylerine tabii tutulmuş örneklere, deney başlangıcında, deneyin 5, 10, 15, 20 ve 25. günlerinde ultrases deneyi uygulanmıştır.

Tablo 5.2 Beton ve tamir harcı örneklerin ultrases deneyi sonuçları

Gün	1	3	7	14	28	60	90	
Beton	2,58	3,08	3,16	3,18	3,16	3,18	3,61	Ses geçiş hızı (km/sn)
Tamir Harcı	2,68	3,02	3,16	3,18	3,14	3,14	3,45	

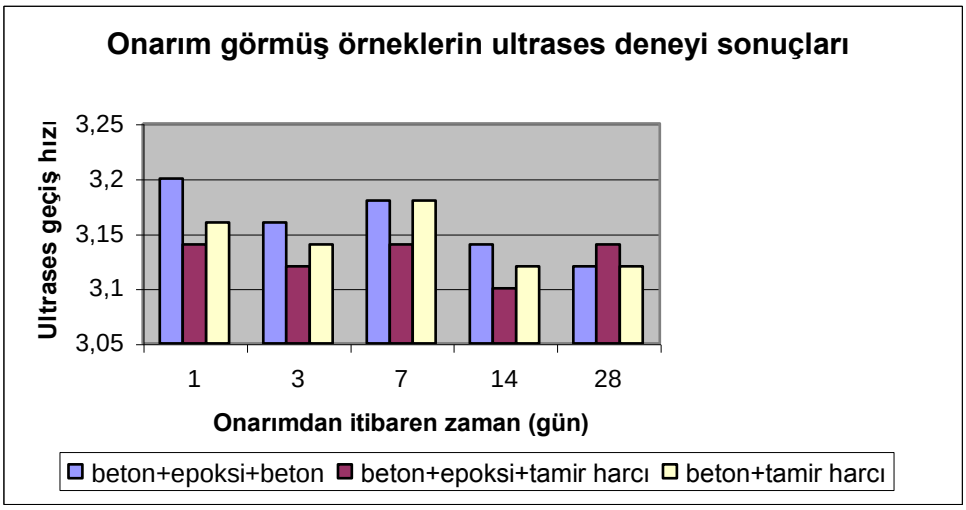


Şekil 5.5 Beton ve tamir harcı örneklerin ultrases deneyi sonuçları

- Ultrases geçiş hızının erken yaşlarda düşük olduğu, sonra bir süre sabit kaldığı, ileri yaşlarda tekrar yükseldiği görülmektedir.
- İlk 14 günde tamir harcı örneklerinin ultrases geçiş hızının beton örneklerinden daha yüksektir. Ancak daha sonraki yaşlarda betonun ultrases geçiş hızının tamir harcını geçtiği gözlenmektedir.

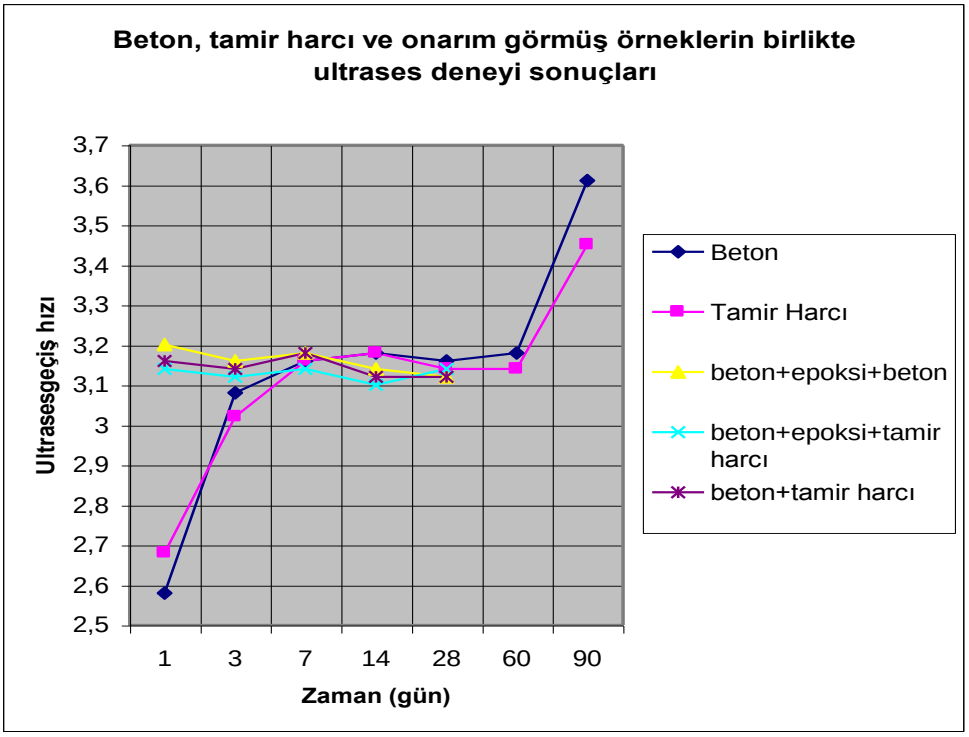
Tablo 5.3 Onarım görmüş örneklerin ultrases deneyi sonuçları

Gün	1	3	7	14	28	
beton+epoksi+beton	3,2	3,16	3,18	3,14	3,12	Ses geçiş hızı (km/sn)
beton+epoksi+tamir harcı	3,14	3,12	3,14	3,1	3,14	
beton+tamir harcı	3,16	3,14	3,18	3,12	3,12	



Şekil 5.6 Onarım görmüş örneklerin ultrases deneyi sonuçları

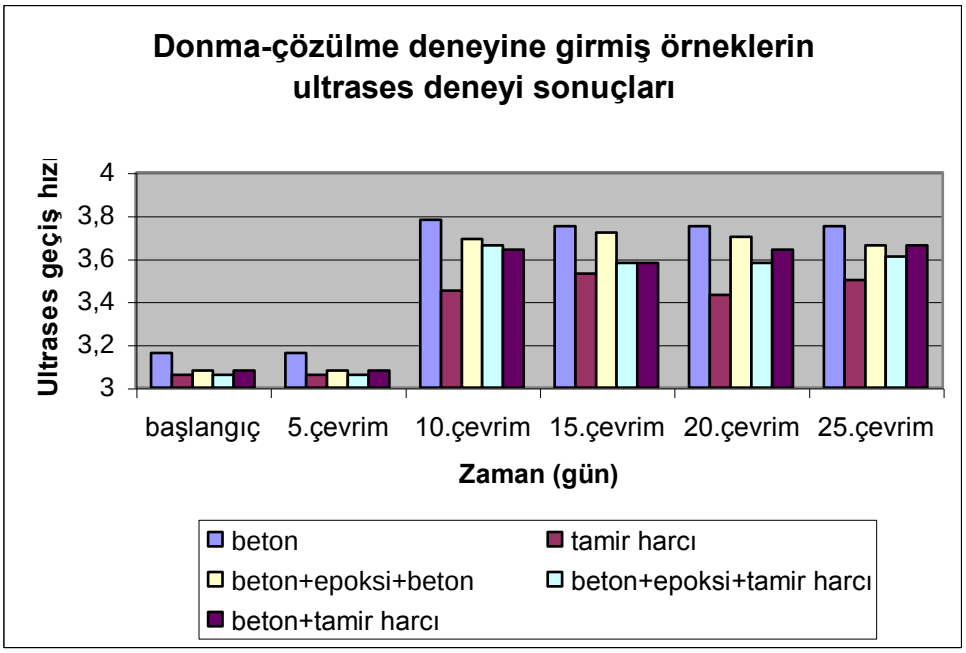
* Onarım görmüş örnekler 27. gün kürlemeden çıkarılmış ve 28. gün orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metoduyla eğilmede çekme deneyi iki parçaya ayrılmışlardır. Bu örnekler iç kesitlerinin kuruması için 1-2 gün ortam koşullarında bekletilmiş, daha sonra onarım işlemi uygulanmıştır. Deney gününe kadar nemli bezlere sarılı olarak kapaklı kaplarda bekletilmişlerdir.



Şekil 5.7 Beton, tamir harcı ve onarım görmüş örneklerin birlikte ultrases deneyi sonuçları

Tablo 5.4 Donma-çözülme çevrimine girmiş örneklerin ultrases deneyi sonuçları

	başlangıç	5	10	15	20	25	
beton	3,16	3,16	3,78	3,75	3,75	3,75	Ses
tamir harcı	3,06	3,06	3,45	3,53	3,43	3,5	Geçiş
beton+epoksi+beton	3,08	3,08	3,69	3,72	3,7	3,66	Hızı
beton+epoksi+tamir harcı	3,06	3,06	3,66	3,58	3,58	3,61	(km/sn)
beton+tamir harcı	3,08	3,08	3,64	3,58	3,64	3,66	

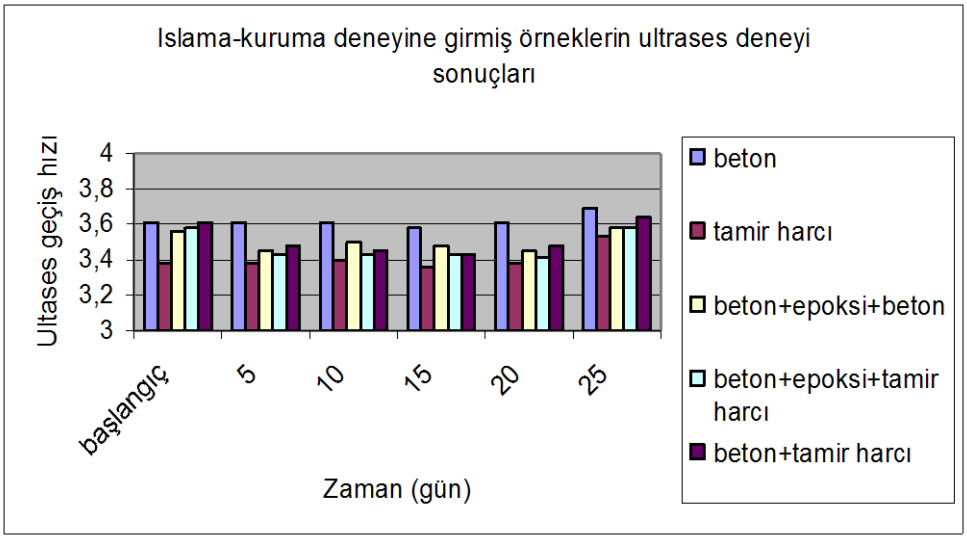


Şekil 5.8 Durabilite deneyine tabi tutulmuş örneklerin ultrases geçiş hızı grafiği

- Donma-çözülme çevrimine giren örneklerin ultrases geçiş hızı deneyi sonuçlarında, 10. çevrimden itibaren tüm örneklerde ultrases geçiş hızının hızlı bir şekilde yükseldiği ve 25 çevrim sonuna kadar hemen hemen aynı seviyelerde gittiği gözlenmiştir.

Tablo 5.5 Islanma-kuruma çevrimine girmiş örneklerin ultrases deneyi sonuçları

	başlangıç	5	10	15	20	25	
beton	3,61	3,61	3,61	3,58	3,61	3,69	Ses
tamir harcı	3,38	3,38	3,4	3,36	3,38	3,53	Geçiş
beton+epoksi+beton	3,56	3,45	3,5	3,48	3,45	3,58	Hızı
beton+epoksi+tamir harcı	3,58	3,43	3,43	3,43	3,41	3,58	(km/sn)
beton+tamir harcı	3,61	3,48	3,45	3,43	3,48	3,64	



Şekil 5.9 Islanma-kuruma deneyine girmiş örneklerin ultrases deneyi sonuçları

- Islanma-kuruma çevrimine giren örneklerin ultrases geçiş hızı deneyi sonuçlarında ise ilk çevrimden son çevrime kadar belirgin bir değişim gözlenmemiştir.

5.1.3 Mekanik Deneylerin Değerlendirilmesi

Mekanik deneyler kapsamında eğilmede çekme ve basınç deneyleri yapılmıştır.

5.1.3.1 Eğilmede Çekme Deneyi

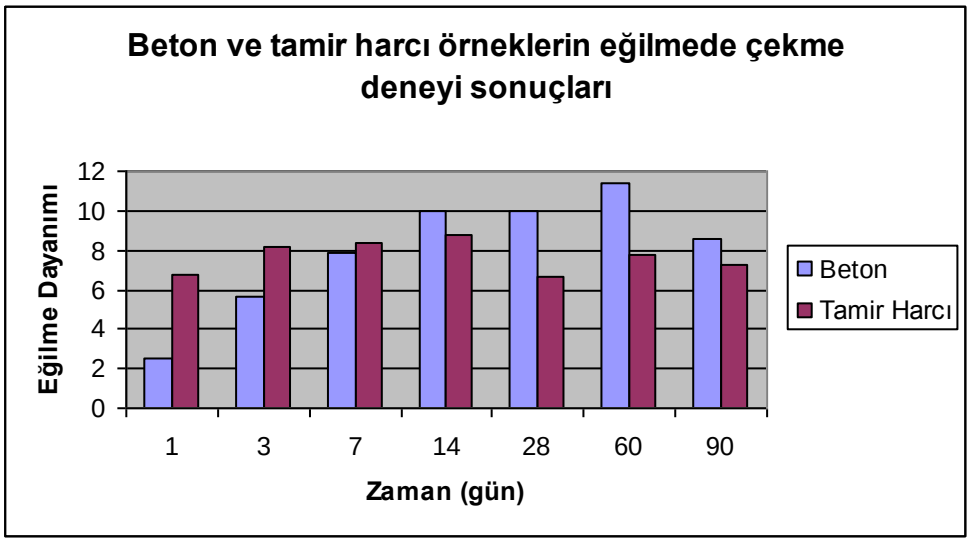
Deneysel çalışmada eğilmede çekme deneyi de üç aşamada uygulanmıştır:

- Beton ve tamir harcı örneklere kürlemenin 1, 3, 7, 14, 28, 60, 90. günlerinde uygulanmıştır.
- Onarım görmüş örneklerde onarım tarihinden itibaren 1, 3, 7, 14 ve 28. günlerinde uygulanmıştır.
- Donma çözülme ve ıslanma kuruma çevrimine girmiş örneklere 25. çevrim sonrasında eğilmede çekme deneyi uygulanmıştır.

Deney sonuçları aşağıda tabloda verilmiştir:

Tablo 5.6 Beton ve tamir harcı örneklerin eğilmede çekeme dayanımı sonuçları

Eğilme Dayanımı (N/mm^2)	Günler	1	3	7	14	28	60	90
	Beton	2,48	5,67	7,9	10,03	9,96	11,38	8,61
	Tamir Harcı	6,74	8,2	8,33	8,81	6,68	7,73	7,26



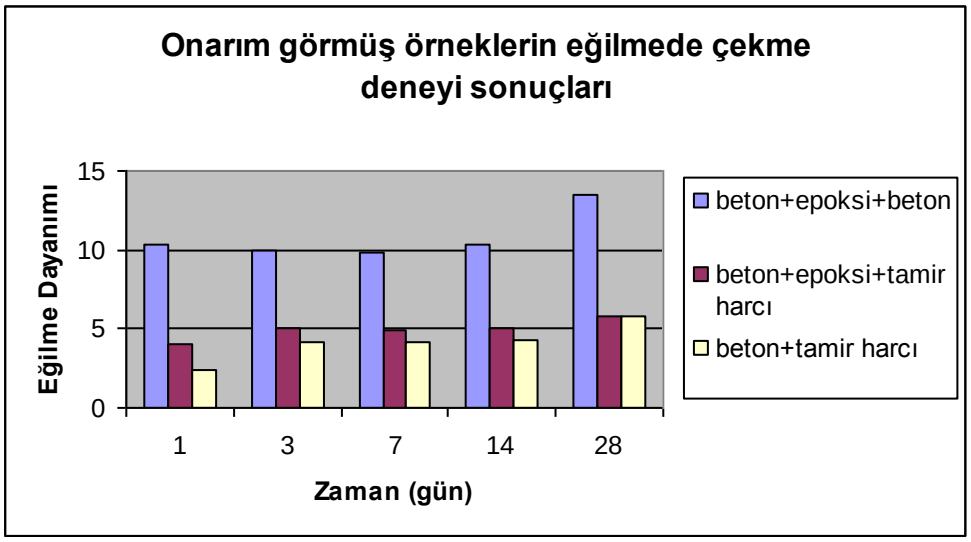
Şekil 5.10 Beton ve tamir harcı örneklerin eğilmede çekme dayanımı sonuçları

- Eğilmede çekme deneyinde 1, 3, 7 günlüklerde tamir harcı yüksek değer verirken 14, 28, 60 ve 90 günlüklerde beton daha yüksek değerlere kadar çıkmıştır.

Tablo 5.7 Onarım görmüş örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları

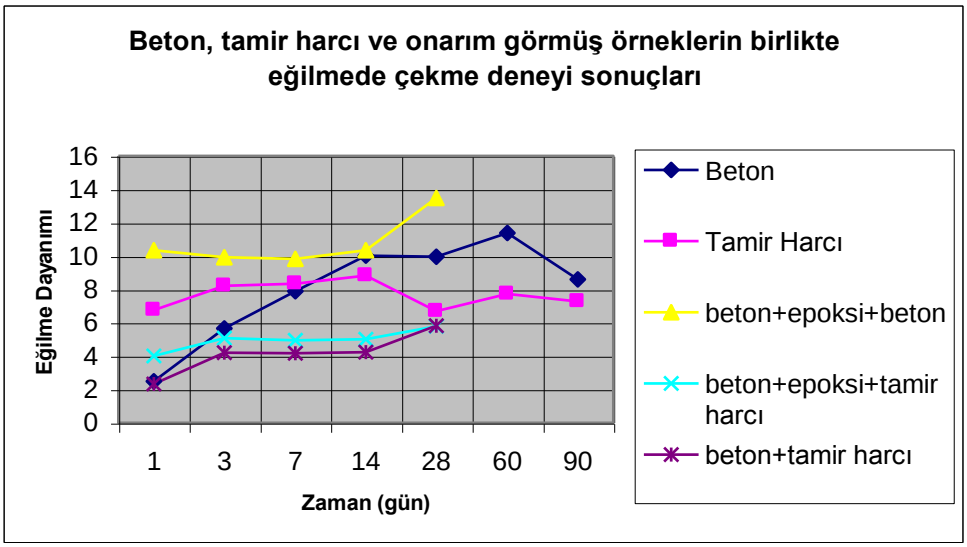
	Günler	1	3	7	14	28
Eğilme Dayanımı (N/mm^2)	beton+epoksi+beton	10,35	9,92	9,83	10,34	13,48
	beton+epoksi+tamir harcı	4	5,07	4,95	5,01	5,77
	beton+tamir harcı	2,34	4,19	4,16	4,25	5,81

* Onarım görmüş örnekler 27. gün kürlemeden çıkarılmış ve 28. gün orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metoduyla eğilmede çekme deneyi iki parçaya ayrılmışlardır. Bu örnekler iç kesitlerinin kuruması için 1-2 gün ortam koşullarında bekletilmiş, daha sonra onarım işlemi uygulanmıştır. Deney gününe kadar nemli bezlere sarılı olarak kapaklı kaplarda bekletilmişlerdir.



Şekil 5.11 Onarım görmüş örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları

- Eğilmede çekme deneyinde beton +epoksi+beton örnekler en yüksek değeri alırken, beton + tamir harcı en düşük değeri almıştır.

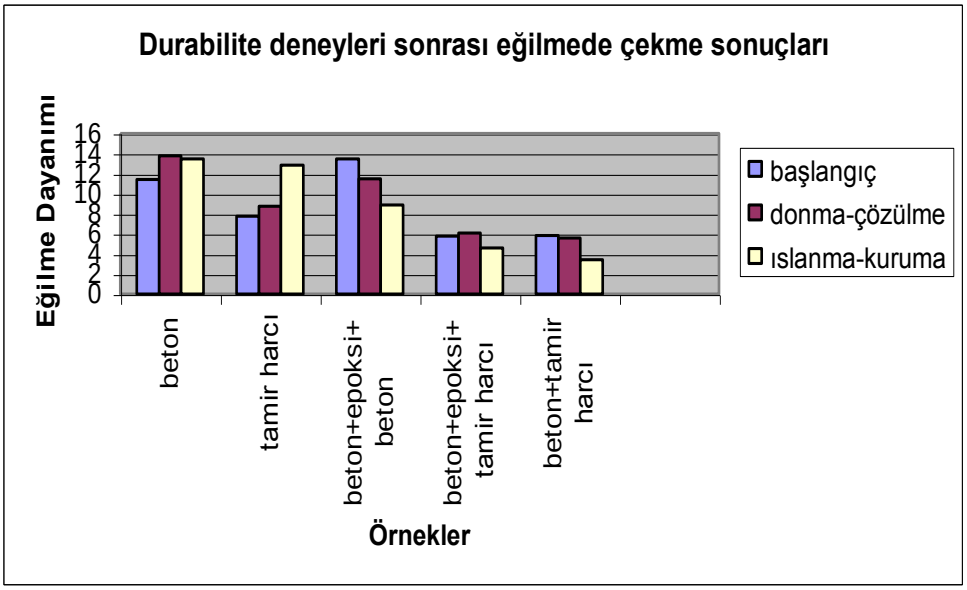


Şekil 5.12 Beton, tamir harcı ve onarım görmüş örneklerin birlikte eğilmede çekme deneyi sonuçları

- Eğilmede çekme deneyinde; onarım tarihinden itibaren 28 günlük beton+epoksi+tamir harcı örneklerin aldığı değerler, beton+tamir harcı örneklerinden çok farklı değil. Ancak kullanılan kimyasal madde olarak epoksi, donatıyı korozyondan koruduğu için tercih sebebidir.

Tablo 5.8 Durabilite deneyine tabi tutulmuş örneklerin eğilmede çekme deneyi sonuçları

	Eğilme Dayanımı (N/mm^2)		
	başlangıç	donma-çözülme	ıslanma-kuruma
beton	11,38	13,77	13,47
tamir harcı	7,73	8,73	12,86
beton+epoksi+beton	13,48	11,45	8,85
beton+epoksi+tamir harcı	5,77	6,08	4,61
beton+tamir harcı	5,81	5,59	3,41



Şekil 5.13 Durabilite deneyine tabi tutulmuş örneklerin deney sonrası eğilmede çekme sonuçları

- Durabilite deneyleri sonrası eğilmede çekme deneyi sonuçlarında; deneyler sırasında örneklerin maruz kaldığı su içinde bekleme uygulaması, beton ve tamir harcı örneklere bir nevi kürleme etkisi yaparken, onarım görmüş örneklerin hemen hepsi deney sonrası eğilmede çekme mukavemetlerini kaybetmişlerdir.



Şekil 5.14 Onarım görmüş örnekler eğilmede çekme deneyi sonrası



Şekil 5.15 Eski beton + epoksi + eski beton tipinde onarım görmüş örneklerin eğilmede çekme deneyinden sonraki kırılma örneği



Şekil 5.16 Eski beton + epoksi + tamir harcı tipinde onarım görmüş örneğin eğilmede çekme deneyinden sonra kırılma örneği

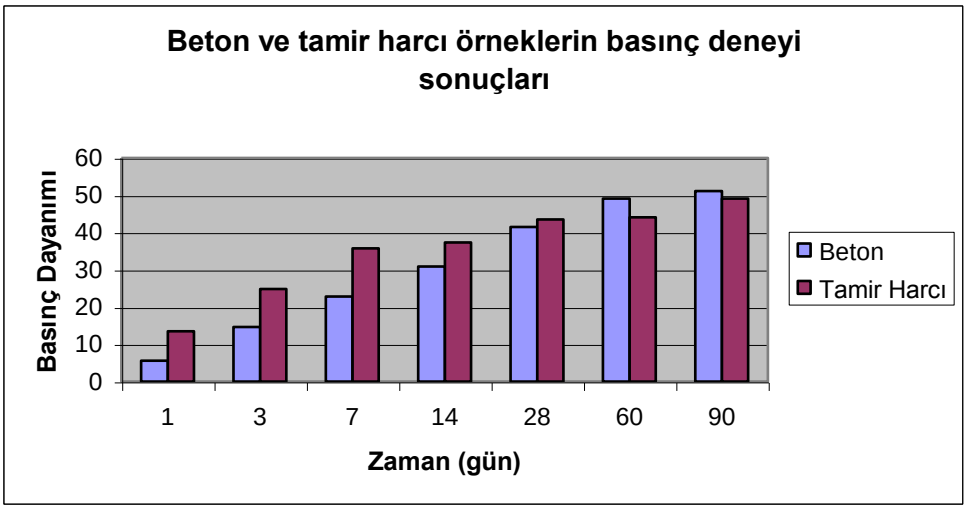
5.1.3.2 Basınç Deneyinin Değerlendirmesi

Basınç deneyi deneysel çalışmanın iki aşamasında uygulanmıştır.

- Beton ve tamir harcı örneklere kürlemelerinin 1, 3, 7, 14, 28, 60, 90. günlerinde uygulanmıştır.
- Donma çözülme ve ıslanma kuruma çevrimine girmiş beton ve tamir harcı örneklere 25. çevrim sonrasında eğilmede çekme deneyi uygulanmıştır.

Tablo 5.9 Beton ve tamir harcı örneklerin basınç deneyi sonuçları

	Gün	1	3	7	14	28	60	90
Basınç Dayanımı (N/mm^2)	Beton	5,61	14,68	22,8	30,79	41,51	49,07	51,14
	Tamir Harcı	13,53	24,79	35,73	37,27	43,53	44,06	49,1

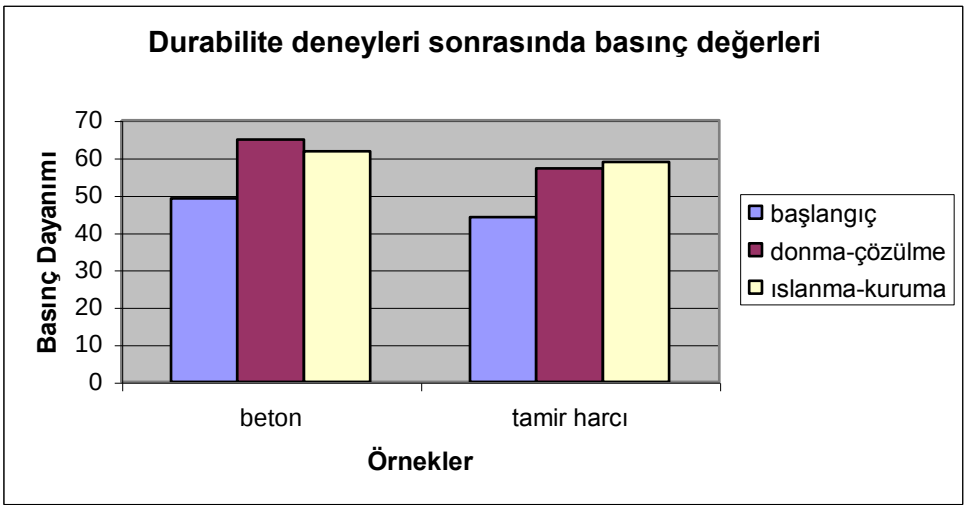


Şekil 5.17Beton ve tamir harcı örneklerin basınç deneyi sonuçları

- Basınç deneyinde 1, 3, 7, 14, 28 günlüklerde tamir harcı yüksek değer verirken 60 ve 90 günlüklerde beton daha yüksek değerlere kadar çıkmıştır.
- Basınç deneyinden elde edilen verilerin, eğilmede çekme deneyinden elde edilen verilere paralel olduğu görülmüştür.

Tablo 5.10 Durabilite deneyine tabi tutulmuş örneklerin deney sonrası basınç dayanımları

	Basınç Dayanımı (N/mm^2)		
	başlangıç	donma-çözülme	ıslanma-kuruma
beton	49,07	64,9	61,64
tamir harcı	44,06	57,13	58,88



Şekil 5.18Durabilite deneyine tabi tutulmuş örneklerin deney sonrası basınç dayanımları

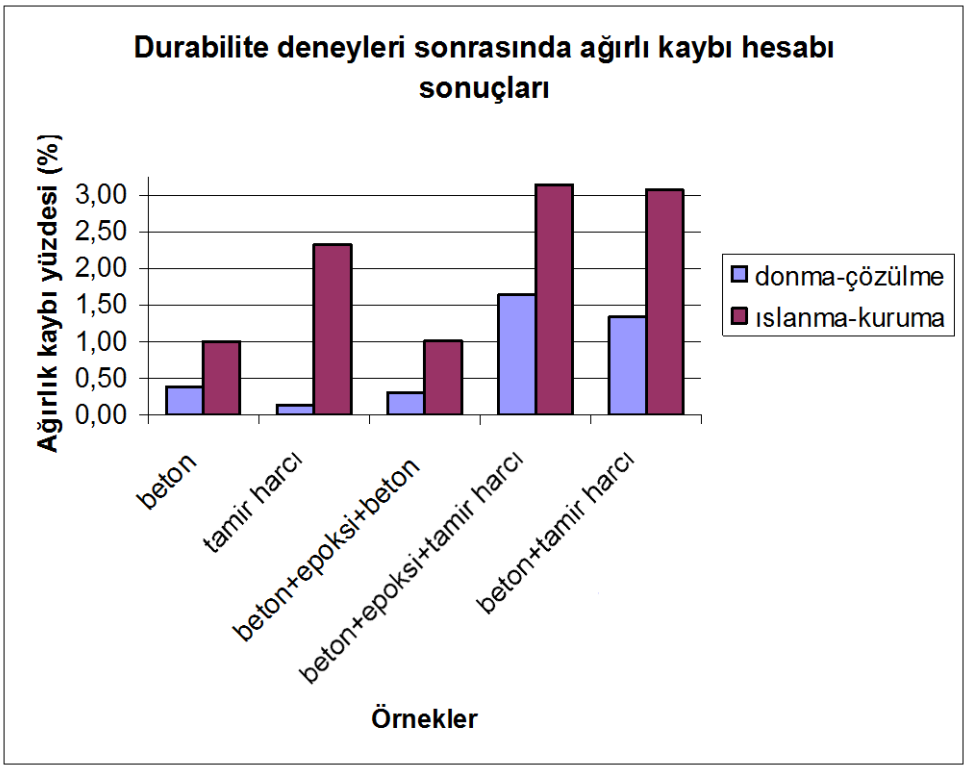
- Durabilite deneyleri sonrası basınç deneyi sonuçlarında; deneyler sırasında örnekleri su içinde burakma prosedürü, beton ve tamir harcı örneklere bir nevi kürleme etkisi yapmıştır. Basınç değerleri her iki deneyden sonra başlangıçtan yüksek çıkmıştır.

5.1.4 Durabilite Deneylerinin Ağırlık Kaybına Etkisinin Değerlendirilmesi

Durabilite deneyleri kapsamında daha önce de anlatıldığı gibi donma-çözülme çevrimi ve ıslanma-kuruma çevrimi yapılıştır. Bu çevrimlerden sonra ilgili standartlara uygun şekilde ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Bu hesaplara ilişkin veriler aşağıda tablodadır:

Tablo 5.11 Durabilite deneyleri sonrasında ağırlık kaybı hesabı sonuçları

			Ağırlık Kaybı (%) si
ÖRNEKLER	donma-çözülme	beton	0,38
		tamir harcı	0,14
		beton+epoksi+beton	0,31
		beton+epoksi+tamir harcı	1,64
		beton+tamir harcı	1,34
	ıslanma-kuruma	beton	1,00
		tamir harcı	2,33
		beton+epoksi+beton	1,02
		beton+epoksi+tamir harcı	3,14
		beton+tamir harcı	3,07



Şekil 5.19 Durabilite deneyi sonrası ağırlık kaybı sonuçları

- Durabilite deneylerinden ıslanma-kuruma deneyinin, donma-çözülme deneyine göre daha çok hasara neden olduğu grafikten anlaşılmaktadır.

5.2 Sonuçlar

Deneysel çalışmada elde edilen veriler literatür araştırmasının ışığında değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmede varılan sonuçlar aşağıda toplu olarak verilmiştir:

- Kılcallık deneyi sonucunda, beton örneklerinin kılcallık katsayısı, kürleme süresine bağlı olarak azalırken; tamir harcı örneklerinin kılcallık katsayısı süreye bağlı kalmaksızın hemen hemen aynı seviyede kalmış ve 90 günlük beton örneklerinden bile düşük çıkmıştır. Buradan da tamir harcı örneklerin son dayanımlarına daha çabuk ulaştıkları sonucu çıkarılmaktadır.
- Kaynar su emme deneyinde beton örneklerin hem kütlece hem hacimce kaynar su emme yüzdesi zamanla ters orantılı olarak azalmıştır. Tamir harcı örneklerin ise 28 ve 60 günlüklerde farklılaşmazken, 90 günlüklerde düşüş olmuştur.
- Su emme deneyinde beton örneklerin su emme yüzdeleri kürleme süresinin artmasıyla artmıştır. Tamir harcı örneklerin ise 28 ve 60 günlüklerde farklılaşmazken, 90 günlüklerde düşüş olmuştur.
- Betonun; kılcallık, su emme ve kaynar su emme deneylerinde elde edilen değerleri tamir harcından daha yüksek çıkmıştır. Bu da tamir harcı örneklerin kompasitelerinin betondan yüksek olduğu sonucunu vermektedir.
- 28 ve 60 günlük kürlemeden sonra fiziksel deneyleri yapılan tamir harcı örneklerinin fiziksel özelliklerinde belirgin bir farklılık gözlenmezken, 90 günlük kürlemeden sonra fiziksel deneyleri yapılan tamir harcı örneklerinin, fiziksel özelliklerinde değişikliler gözlenmiştir
- Ultrases geçiş hızının erken yaşlarda düşük olduğu, sonra bir süre sabit kaldığı, ileri yaşlarda tekrar yükseldiği görülmektedir.
- İlk 14 günde tamir harcı örneklerinin ultrases geçiş hızının beton örneklerinden daha yüksektir. Ancak daha sonraki yaşlarda betonun ultrases geçiş hızının tamir harcını geçtiği gözlenmektedir.

- Donma-çözülme çevrimine giren örneklerin ultrases geçiş hızı deneyi sonuçlarında, 10. çevrimden itibaren tüm örneklerde ultrases geçiş hızının hızlı bir şekilde yükseldiği ve 25 çevrim sonuna kadar hemen hemen aynı seviyelerde gittiği gözlenmiştir.
- Islanma-kuruma çevrimine giren örneklerin ultrases geçiş hızı deneyi sonuçlarında ise ilk çevrimden son çevrime kadar belirgin bir değişim gözlenmemiştir.
- Eğilmede çekme deneyinde 1, 3, 7 günlüklerde tamir harcı yüksek değer verirken 14, 28, 60 ve 90 günlüklerde beton daha yüksek değerlere kadar çıkmıştır.
- Eğilmede çekme deneyinde beton +epoksi+beton örnekler en yüksek değeri alırken, beton + tamir harcı en düşük değeri almıştır.
- Eğilmede çekme deneyinde; onarım tarihinden itibaren 28 günlük beton+epoksi+tamir harcı örneklerin aldığı değerler, beton+tamir harcı örneklerinden çok farklı değil. Ancak kullanılan kimyasal madde olarak epoksi, donatıyı korozyondan koruduğu için tercih sebebidir.
- Durabilite deneyleri sonrası eğilmede çekme deneyi sonuçlarında; deneyler sırasında örneklerin maruz kaldığı su içinde bekleme uygulaması, beton ve tamir harcı örneklere bir nevi kürleme etkisi yaparken, onarım görmüş örneklerin hemen hepsi deney sonrası eğilmede çekme mukavemetlerini kaybetmişlerdir.
- Basınç deneyinde 1, 3, 7, 14, 28 günlüklerde tamir harcı yüksek değer verirken 60 ve 90 günlüklerde beton daha yüksek değerlere kadar çıkmıştır.
- Basınç deneyinden elde edilen verilerin, eğilmede çekme deneyinden elde edilen verilere paralel olduğu görülmüştür.
- Durabilite deneyleri sonrası basınç deneyi sonuçlarında; deneyler sırasında örnekleri su içinde burakma prosedürü, beton ve tamir harcı örneklere bir nevi kürleme etkisi yapmıştır. Basınç değerleri her iki deneyden sonra başlangıçtan yüksek çıkmıştır.
- Durabilite deneylerinden ıslanma-kuruma deneyinin, donma-çözülme deneyine göre daha çok hasara neden olduğu grafikten anlaşılmaktadır.

Deneysel çalışmadan çıkarılan bu sonuçlar doğrultusunda, çimento esaslı tamir harçlarının daha uzun zaman dilimi içinde gösterdikleri durabilite özelliklerini araştırmak üzere bir çalışmanın yapılması önerilmektedir. Yapılacak olan bu çalışmada; donma-çözülme ve ıslanma-kuruma çevrimlerinin üst üste, örneklerde gözle görülür bozulmalar gözlenene kadar sürdürülmesi ve mekanik özelliklerindeki, zamana ve bozulmalara paralel olarak değişiminin araştırılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **AKA, İ.** , 1996. *"Betonarmeye Giriş"*, Birsen Yayınevi, İSTANBUL.

[2] **HASOL, D.** , 1995. *"Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü"*, Yem Yayın, İSTANBUL.

[3] **MAVILVAGANAM, N. P.** , 1992. *"Repair and Protection of Concrete Structures"*, CRC Press, LONDON.

[4] **AKMAN, S.** , 2000. *"Yapı Hasarları ve Onarım İlkeleri"*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İSTANBUL.

[5] **TIKALSKY, P. J. - MATHER, B. - OLEK, J.** , 2000. *"Concrete Durability"*, A2E01: Committee on Durability of Concrete, Chairman: OLEK, J. Paper presented to the Transportation Research Board.

[6] **HALICIOĞLU, H.** , 2002. *"Beton Malzemenin Dayanıklılığını Olumsuz Etkileyen Kimyasal Etkiler"*, 1. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, Kongre Bildirileri 1, TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, İSTANBUL.

[7] **POSTACIOĞLU, B.** , 1987. *"Beton Cilt 2; Agregalar, Beton"*, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İSTANBUL.

[8] **TOYDEMİR, N. - GÜRDAL, E. - TANAÇAN, L.** , 2000. *"Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme"*, Literatür Yayıncılık, İSTANBUL.

[9] **TS 699** , 1987. *"Doğal Yapı Taşlarını Deney ve Muayene Yöntemleri"*, Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.

[10] **AKMAN, S.** , 1987. *"Yapı Malzemeleri"*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaaası, İSTANBUL.

[11] **DELİKANLI, F.** , 2001. *"Donatılı Betonda Korozyon Hasarı ve Giderilme Yolları", Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İSTANBUL.

[12] **AKMAN, S.** , 1992. *"Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi"*, İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Ofset Baskı Atölyesi, İSTANBUL.

[13] **ADDLESON, L.** , 1972. *"Materials for Building, Volume 3: Water and its Effects/2"*, Chapel River Press, ENGLAND.

[14] **NEVILLE, A.M.** , 1995. *"Proporties of Concrete"*, Longman Group Limited, ENGLAND.

[15] **ÖZGEN, K. - GÜRDAL, E.** , 2002. *"Betonarmede Donatı Korozyonu, Taşıyıcı Sistem Davranışına Etkisi",* 1. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, Kongre Bildirileri 1, TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent Şubesi, İSTANBUL.

[16] **ONARAN, K.** , 2000. *"Malzeme Bilimi"*, Bilim Teknik Yayınevi, İSTANBUL.

[17] **KAYACAN, R.** , 1988. *"Yapıştırma ve Metal Bağlantılar İçin Yapıştırıcı Kullanımı", Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,İSTANBUL.

[18] **NEWEY, C. - BOFF, R. - DANIELS, V. - PASCOE, M. - TENNANT, N.** , 1992. *"Adhesives and Coatings, Science for Conservators, Volume 3"* , Routledge, LONDON.

[19] **SAYIL, B.** , 1996. *"Ahşap Doğrama Köşe Birleşimlerinin Rijitliğini Arttırma Yolları Üzerine Bir Araştırma", Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İSTANBUL.

[20] **KEMP, P. W. P.** , 1989. *"Adhesives and The Engineer"*, Mechanical Engineering Publications Limited, London, ENGLAND.

[21] **HORNBOSTEL, C.** , 1961. *"Materials for Architecture"*, Reinhold Publishing Corporation, NEWYORK.

[22] **KODAKLIOĞLU, L.** , 1996. *"Yapıştırıcıları Genel Özellikleri ve Çekme Gerilmesine Maruz Yapışma Birleşmesinin Analitik ve Nümerik Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İSTANBUL.

[23] **EVERETT, A. - Revised by BARRIT, C. M. H.** , 1994. *"Mitchell's Building Series Materials"*, Longman, ENGLAND.

[24] **ADAMS, R. D. - COMYN, J. - WAKE, W. C.** , 1997. *"Structural Adhesives Joints in Engineering"*, Chapman & Hall, London, ENGLAND.

[25] **ÇOLAK, A.** , 1994. *" Hasar Gören Yapı Elemanlarının Polimer Enjeksiyonu Yöntemi İle Onarımı", Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İSTANBUL.

[26] **ANONİM,** *"Beton Elemanların Onarımında Epoksi Sistemleri ve Uygulamaları"*, Duratek Koruyucu Malzemeler San. ve Tic. A. Ş. , Gebze, TÜRKİYE.

[27] **GÜVEN, B.** , 2002. *"Korozyon Tamirinde Kullanılan Çimento Esaslı Tamir Harçlarının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü,İSTANBUL.

[28] **BAYAZIT, Ö. L.** , 1988. *"Beton ve Deneyleri"*, T.C. Bayındırlık Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri Matbaası, ANKARA.

ÖZGEÇMİŞ

19 Haziran 1978 ’de, Antalya’da doğdu. Sırasıyla; Antalya Mehmet Kesikçi İlkokulu, Antalya İstiklal Ortaokulu, Antalya Lisesi’ni bitirdikten sonra 1995 yılında İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü’nü kazandı. İ.T.Ü. Yabancı Diller Fakültesi’nde bir yıl İngilizce hazırlık okudu. 2000 yılında lisans eğitimini tamamladı, aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü’nde yüksek lisansa başladı. 2002 yılında İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Yapı Malzemesi Birimi’nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlayan yazar, halen aynı birimde çalışmalarını sürdürmektedir.