

**VAKUMLU BETONUN DAYANIKLILIĞA İLİŞKİN
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Osman ÖNAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006
ANKARA**

Osman ÖNAL tarafından hazırlanan VAKUMLU BETONUN DAYANIKLILIĞA İLİŞKİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Metin ASLAN

Üye : Doç. Dr. İ. Özgür YAMAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK

Tarih : 10/10/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Osman ÖNAL

**VAKUMLU BETONUN DAYANIKLILIĞA İLİŞKİN
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Osman ÖNAL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2006**

ÖZET

Saha betonları ağır yüklere, yağmur, kar, ve donma-çözülme gibi etkilere maruzdur. Bu etkiler zamana bağlı olarak betonun durabilitesini bozmaktadır. Betonun durabilite kaybını en aza indirmek ve hizmet ömrünü uzatmak için betonun kompasitesi artırılmalıdır. Kompasiteyi artırmanın bir yöntemi de, betona vakum uygulanmasıdır.

Bu çalışmada 200 x 300 cm boyutlarında, 20 cm kalınlığında ve C 20 sınıfında referans beton ve 36 dakika süreyle vakum uygulanmış iki farklı beton kullanılmıştır. Açık havada bulunan betonlardan 66 ay sonunda 10 x 15 cm boyutlarında silindirik karot örnekleri alınmıştır. Örnekler üzerinde basınç dayanımı, statik elastisite modülü, poisson oranı tayini, yarmada çekme dayanımı, karbonatlaşma derinliği, kapiler su emme miktarı, birim hacim kütlesi, görünür boşluk oranı, aşınma dayanımı, donma-çözülme tayini deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin karşılaştırılması ile betona vakum uygulanmasının, betonun durabilitesine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca vakum etkisinin betonun basınç dayanımını % 29 oranında artırdığı gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 714.1.143
Anahtar Kelimeler : vakumlu beton, karbonatlaşma, elastisite modülü
Sayfa Adedi : 68
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK

**ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF VACCUUM CONCRETE
RELATED TO DURABILITY**

(M.Sc. Thesis)

Osman ÖNAL

**GAZİ ÜNİVERSİTİ
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

September 2006

ABSTRACT

The area concretes are exposed to heavy burdens, rain, snow, freezing and thaw impacts. These impacts destroy the durability of the concrete in the length of time. The compositiy of the concrete must be increased in order to minimize the durability and lengthen the service life of the concrete. One of the methods for increasing the durability is vacuuming the concrete.

In this study, two different kinds of concretes are used. One of them is the reference concrete in C20 class with dimensions of 200 x 300 centimeters and the width of 15 cm. The other is the vacuum concrete which has been applied vacuum for 36 minutes. After 66 months, the cylindrical carrot examples with dimensions of 7,5 x 15 cm are taken from the concretes. The experiments of compressive strength, static elasticity module, poisson indication ratio, tension strength, carbonizing depth, capillary water absorption amount, unit volume mass, visible cavity ratio, corrosion resistance, pressure resistance, freeze-thaw amount indication are carried out by these carrots. The impacts of applying vacuum on the durability of the concrete are tried to examine by the comparison of the obtained data. Furthermore it is observed that the vacuum impact increases the compressive strength of the concrete in the ratio of 29%.

Science Code : 714.1.143

Key Words : vacuum concrete, carbonation, elasticity module

Page Number : 68

Adviser : Ass. Prof. Osman ŞİMŞEK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK'e, yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Hocam Yrd. Doç. Dr. Serkan SUBAŞI'na, bana sağladığı her türlü yardım ve destekten dolayı Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalı Araştırma Görevlileri Arzuhan Burcu GÜLTEKİN ve Mustafa DAYI'ya, verdiği teknik destekten dolayı abim Yılmaz ÖNAL'a, çalışmamda yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarıma ve ilgi ve destekleriyle beni yalnız bırakmayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Vakumlu Beton	4
2.2. Durabilite (Dayanıklılık)	6
2.2.1. Durabiliteyi etkileyen fiziksel faktörler	9
2.2.2. Durabiliteyi etkileyen kimyasal faktörler	15
3. MATERYAL VE METOT	33
3.1. Materyal	33
3.2. Metot	33
3.2.1. Deney numunelerinin hazırlanması	34
3.2.2. Basınç dayanımı tayini deneyi	35
3.2.3. Statik elastisite modülü ve poisson oranı tayini deneyi	36
3.2.4. Yarmada çekme dayanımı tayini deneyi	37
3.2.5. Karbonatlaşma derinliği tayini deneyi	38

3.2.6. Kapiler su emme miktarı tayini deneyi	39
3.2.7. Birim hacim kütlesi tayini deneyi	40
3.2.8. Görünür boşluk oranı tayini deneyi.....	41
3.2.9. Aşınma dayanımı tayini deneyi.....	41
3.2.10. Donma-çözülme tayini deneyi	42
3.3. Araştırma Materyalinin İklim Verileri	43
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	45
4.1. Basınç Dayanımı	46
4.2. Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı	47
4.3. Yarmada Çekme Dayanımı	49
4.4. Karbonatlaşma Derinliği	50
4.5. Kapiler Su Emme Miktarı	52
4.6. Birim Hacim Kütlesi	53
4.7. Görünür Boşluk Oranı	54
4.8. Aşınma Dayanımı.....	55
4.9. Donma-Çözülme Dayanımı.....	57
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	68

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Ankara ili yıllık iklim verileri	44
Çizelge 4.1. Tam boy karot numunelere uygulanan deney sonuçları	45
Çizelge 4.2. Üst ve alt karot karot numunelere uygulanan deney sonuçları	45

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan numuneler	33
Şekil 4.1. Tam boy karot numunelere ait basınç dayanımı-zaman ilişkisi.....	46
Şekil 4.2. Üst ve alt karot numunelere ait basınç dayanımları.....	47
Şekil 4.3. RB karot numunelere ait gerilme-birim deformasyon eğrileri	48
Şekil 4.4. VB karot numunelere ait gerilme-birim deformasyon eğrileri	48
Şekil 4.5. Karot numunelere ait poisson oranları.....	49
Şekil 4.6. Karot numunelere ait yarmada çekme dayanımı-zaman ilişkisi	50
Şekil 4.7. Karot numunelere ait karbonatlaşma derinlikleri	51
Şekil 4.8. Karot numunelere ait su emme deney sonuçları	52
Şekil 4.9. Karot numunelere ait kapilarite katsayıları.....	53
Şekil 4.10. Karot numunelere ait birim hacim kütleleri.....	54
Şekil 4.11. Karot numunelere ait görünür boşluk oranları.....	55
Şekil 4.12. Karot numunelere ait aşınma sonucu ağırlık farkları.....	56
Şekil 4.13. Karot numunelere ait aşınma sonucu toplam ağırlık farkları.....	57
Şekil 4.14. Karot numunelere ait donma-çözülme sonu ağırlık farkları	58
Şekil 4.15. Karot numunelere ait donma-çözülme sonu basınç dayanımları.....	58

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Sülfat etkisiyle ağır hasar görmüş beton.....	20
Resim 2.2. Betonarme çeliğinde korozyon	29
Resim 3.1. Beton basınç dayanımı deney aparatları	36
Resim 3.2. Yarmada çekme dayanımında numunelerin kırılma şekli	38
Resim 3.3. Aşınma dayanımı deney cihazı ve aşındırma aparatı.....	42
Resim 4.1. Yüzeyine fenolfetalin çözeltisi püskürtülmüş beton.....	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
C-S-H	Kalsiyum-Silika-Hidrat
C₃A	Trikalsiyum aluminat
SO₂	Kükürt dioksit
CO₂	Karbon dioksit
MgCl₂	Magnezyum klorür
CaCl₂	Kalsiyum klorür
f_c	Basınç dayanımı
E	Elastisite modülü
μ	Poisson Oranı
f_{ct}	Yarmada çekme dayanımı
D	Karbonatlaşma derinliği
Cl⁻	Klorür miktarı
K	Kapilarite katsayısı
D	Yoğunluk
B₀	Boşluk oranı
V	Ultrases geçiş hızı
N	Örnek sayısı

Kısaltmalar**Açıklama****C**

Beton sınıfı

PÇ

Portland çimentosu

S/Ç

Su/çimento oranı

TS

Türk Standardı

ASTM

Amerikan Standardı

ACI

Amerikan beton enstitüsü

RB

Referans Beton

VB

Vakumlu Beton

1. GİRİŞ

Taşıyıcı bir malzeme olan betonun günümüzde dayanım niteliğinden çok, durabilite özelliği önem kazanmıştır. Durabilite, betonun bileşimi ve üretim süreci ile birlikte çevre koşullarına da büyük oranda bağlıdır. Binanın tasarımı ve inşaatı sırasında durabilite faktörlerinin dikkate alınması zorunludur. Durabilite özelliğinin artırılmasında , kimyasal ve mineral katkıların etkileri önemli rol oynamaktadır [1].

Her türlü inşaatla kullanılan betonlar, servis ömrü boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok fiziksel ve kimyasal etkenlerle karşılaşmaktadır. Bu etkenler, doğa koşullarından, betonun kullanıldığı ortamdan veya betondaki alkalilerle, reaktif agregalar arasındaki reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır [2, 3].

Betonda yer alan fiziksel ve kimyasal olaylar sonucunda, beton daha boşluklu bir malzeme durumuna gelebilmekte, içerisindeki demir donatılar korozyona uğrayabilmekte, beton aşınabilmekte ve betonun içerisinde çok büyük gerilmeler oluşabilmektedir. Bütün bu olaylar, betonun hasar görmesine, hizmet edemez duruma gelmesine yol açmaktadır [2].

Bilindiği gibi, yapıların tasarımında, betonun hedeflenen dayanımdan daha düşük dayanıma sahip olmaması istenmektedir. Ancak, betonun, hizmet gördüğü süre boyunca karşılaştığı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında yeterli direnci gösterebilmesi, yani, yeterince dayanıklı olması, çoğu zaman beton dayanımından daha da önemlidir [2].

Betonla ilgili uygulamalarda basınç dayanımı en önemli özellik olarak kabul edilir. Gerçekten diğer özelliklerin bir çoğu basınç dayanımı ile doğru orantılı olarak değişir. Aynı şeyi dayanıklılık için söylemek ise her zaman mümkün değildir.

Projesine uygun olarak tasarlanıp usulüne uygun olarak dökülen bir betonarme köprü tabliyesinin bir yıl sonra donma-çözülme etkisi sonucu işe yaramaz hale geldiği

gözlenmiştir. Zararlı kimyasal maddelere veya deniz suyuna maruz betonların dayanıklılığı dayanımın yeterli oluşu kadar kullanılmış olan bağlayıcı malzemenin bileşimine de bağlıdır [3, 4].

Günümüzde betonarme yapıların bakım ve onarım maliyetleri itibara alındığında, bu yapılarda ilk maliyet yerine faydalı ömür bazında maliyetlerin hesaplanması, dolayısı ile yapının, bu arada betonun mümkün olduğu kadar dayanıklı yapılması gerektiği bilincine varılmalıdır [4].

Beton içerisinde durabiliteyi etkileyen fiziksel ve kimyasal etkiler klasik beton üretimi yerine su/çimento oranı düşük, basınç ve eğilme dayanımı yüksek, aşınmaya, donma-çözölmeye ve kimyasal tesirlere daha dayanıklı beton tipleri üretmeyi zorunlu kılmaktadır. Bu tür betonlardan bir tanesi de vakumlu beton'dur.

Betonun, fazla karma suyu ve daha akıcı yapılması suretiyle kalıba kolayca yerleştirilmesi ve sonra özel vakum düzeneği ile bu fazla suyun geri alınması şeklindeki beton uygulamasına vakumlu beton adı verilir. Bu uygulama, betonun kalıp içine yerleştirilmesini kolaylaştırdığı gibi, betonun içindeki fazla suyun ve hapsolmuş havanın vakumla alınması suretiyle su/bağlayıcı oranının düşmesiyle, büyük basınç dayanımları elde edilebilmektedir [5].

Vakumlu beton uygulaması Türkiye'de yakın bir geçmişe sahiptir. Vakumlu beton, özellikle donma-çözölme gibi hava şartlarına direk maruz kalan, erken dayanım istenen, çok ağır yüklerin etkisinde kalan, her zaman için aşınma etkisinde kalabilecek ve vakum örtüsü ile üzeri örtülebilecek kadar alana sahip plaklarda kullanılır [3, 6].

Bu çalışmanın amacı, vakum uygulanan betonun alt ve üst kısımları ile normal betonun alt ve üst kısımları arasındaki durabilite özelliklerinin araştırılmasıdır.

Çalışma C 20 standartlarında üretilen vakumlu beton ile C 20 standartlarında üretilen normal betondan alınan karot numuneler üzerinde basınç dayanımı, statik elastisite modülü ve poisson oranı, yarmada çekme dayanımı, karbonatlaşma derinliği, kapiler su emme miktarı, birim hacim kütlesi, görünür boşluk oranı, aşınma dayanımı, donma-çözülme sonucu ağırlık kaybı ve basınç dayanımını belirlemeye ilişkin deneysel çalışmaları kapsamaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Vakumlu Beton

Şimşek (2004)'e göre vakumlu beton; geniş yüzey alanlarında kullanılan betonun katılaşmadan önce, içerisindeki işlenebilirlik için kullanılan suyun ve hapsolmuş havanın, vakum uygulaması yoluyla, kontrollü bir şekilde alınması suretiyle oluşturulan betondur [3].

Erdoğan (2003) ise vakum yönteminin, plastik kıvamda üretilip kolayca yerleştirilen betonlara uygulanmakta olduğunu, uygulamanın betonun yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, ve yüzeyinin kabaca düzeltilmesinden sonra başladığını, yerine yerleştirilmiş ve bir miktar suyunu vakum yöntemiyle kaybetmiş olan betonun su/çimento oranı düştüğü için, daha yüksek dayanımda bir beton olduğunu belirtmektedir [2].

Neville (2003)'e göre su/çimento oranının azaltılmasıyla betonun basınç dayanımında artış olacağı bilinmektedir. Bugün bazı akışkanlaştırıcılar aracılığıyla su/çimento oranını 0,20 değerine indirmek olasıdır. Yapılan çalışmalarda akışkanlaştırıcılarla çimento hamurunun boşluk oranının %5'lere inmesi halinde mukavemetinin 200 MPa mertebesine çıktığı belirtilmektedir [7].

Vakum işlemi esnasında, taze beton içerisinde atmosfer basıncından daha düşük basınç oluşması bir iç akımın oluşmasına neden olur. Bu da atmosfer basıncı etkisiyle bir sıkışmanın olması demektir. Sıkışmanın etkisi ile, su/çimento oranının düşürülmesi ve beton içindeki havanın alınması normal betona göre dayanım artışı sağladığı gibi beton kalınlığının alt ve üst kısmı arasında önemli derecede farklılık görülmektedir [3].

Vakumlu beton işçilikten, malzemeden, zamandan sağladığı tasarrufun yanında normal betona kıyasla sağladığı düzgünlük, çatlaksızlık, daha fazla aşınma direnci,

su geçirmezlik, yağlara, kimyasallara, akaryakıta karşı dayanıklı oluşu kısaca hizmet ömrünün uzun oluşu nedeni ile tercih edilmektedir [3].

Vakumlu betonda, geleneksel betona göre daha düzgün bir yüzeye sahip olması nedeniyle, ikinci bir kaplamaya (tesviye betonu, şap, mozaik vb.) ihtiyaç duyulmaz. Vakumlu beton ile tek seferde dökülen beton üzerine bu işlemler yapılabilir [8]. Bu da betonda ekonomik yönden avantaj sağlamaktadır.

Aynı zamanda vakumlu betonun çok katlı yapıların döşemelerinde ekonomiklik sağladığı gibi bina ölü yükünü azaltarak ta yapının yatay yüklere karşı dayanımını artırmaktadır [6].

Özdemir (1999) yaptığı araştırmada, sertleşmiş betondan aldığı karot numunelerin üzerine aşınma deneyi uygulamış ve vakumlu betonun normal betondan 1,5 kat daha aşınmaya dayanıklı olduğu saptanmıştır [9].

Bu özelliklerden de anlaşılacağı gibi betonun boşluksuz, yüzeysel çatlaklarının oldukça az ve geçirimsiz olması hizmet ömrünün daha uzun olacağını göstermektedir [10].

Genellikle vakumlu beton donma-çözülme gibi hava şartlarına direk maruz kalan, erken dayanım istenen, çok ağır yüklerin etkisinde kalan, her zaman için aşınma etkisinde kalabilecek ve vakum örtüsü ile üzeri örtülebilecek kadar alana sahip plaklarda kullanılır. Bu yapılardan bazıları şunlardır [3].

- Ağır iş makinelerinin çalıştığı, aşırı titreşimin olduğu fabrika ve depolar,
- Saha betonları, benzin istasyonları, havaalanları, limanlar ve karayollarıdır.

Vakum uygulaması beton üst yüzüne yapılabilir. Vakum örtüsünün temas ettiği yüzeyde su/çimento oranı 0,16-0,3 arasında azaltılabilir. Vakum uygulanacak betonun su/çimento oranı yüksek olmamalıdır. Bu su/çimento oranı ile yeterli

işlenebilirlik sağlanmıyorsa, işlenebilirliği artırıcı katkı maddeleri kullanılmalıdır [7, 11].

Vakum uygulanacak betonlarda beton dökülmeden önce bazı hazırlıkların yapılması gerekir. Bunlar; beton dökülecek zeminin stabilize edilmesi, stabilize edilmiş zeminin üzerine ayırıcı tabaka (muşamba) serilmesi, kalıplama, beton dökümü, vakumlama, perdahlama ve kürdür [12].

2.2. Durabilite (Dayanıklılık)

Durabilite “dayanıklılık, mukavemet, süreklilik, sağlamlık” kelime anlamına geldiği bilinmektedir. Bu konuda bilim adamları farklı tanımlarda bulunmaktadır.

Yeğinobalı (1999), betonun durabilitesini, “başlangıçtaki özelliklerini ve tasarlandığı fonksiyonunu çevre ve hizmet koşulları altında koruyarak devam ettirebilmesi” şeklinde açıklamaktadır [4].

Erdoğan (2003) ise durabiliteyi “hava koşullarından, sülfatlı ve asitli sulardan, ve/veya betonun kullanıldığı ortam koşullarından kaynaklanan yıpratıcı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında, betonun hizmet süresi boyunca gösterebileceği direnme kabiliyeti” olarak tanımlanmaktadır [2].

Baradan ve ark. (2002)’a göre durabilite “yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini uzun yıllar boyu bozulmadan yerine getirebilmelerine dayanıklılık, kalıcılık veya durabilite adı verilir” şeklinde tanımlanmıştır [13].

Sağlık (2002) ise durabiliteyi “muhtelif hava koşullarına, kimyasal etkilere karşı, aşınmaya veya herhangi diğer zararlı dış ve iç etkilere karşı dayanabilme kabiliyeti” şeklinde tanımlanmaktadır [14].

Öner ve Yıldız (2003)'a göre durabilite “bir yapının içinde bulunduğu veya bulunacağı çevre etkileri altında, hizmet ömrü boyunca, dayanım ve diğer işlevlerini koruyabilme özelliğidir” [15].

Bu tanımlardan durabilite'yi; “betonun hizmet ömrü boyunca, tasarım özelliklerini ve fonksiyonunu koruyarak, çevre ve hizmet şartları altında fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılık gösterebilme kabiliyetidir” şeklinde tanımlamak mümkündür.

Betonarme yapıların tasarımında önceliğin dayanımdan çok durabiliteye göre yapılması anlayışı günümüzde giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle donatı korozyonuna bağlı çatlakların betonarme yapının durabilitesini olumsuz biçimde etkilediği ve performansını azalttığı bilinmektedir. Uygulamada beton, fiziksel ve kimyasal birçok etkiye tekrarlı olarak maruz kalabilmekte ve bu etkiler bir diğerinin gelişimini hızlandırabilmektedir. Betonun kimyasal süreçlerle bozulması sonucu gözenekliliğinin artması, aşınma gibi fiziksel etkilere dayanıklılığını büyük ölçüde azaltabilmektedir [13, 16, 17].

Bir çok araştırmacı betonların dayanıklılığı, betonun kullanıldığı yapıların emniyet ve ekonomisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu vurgulamaktadır. Bu etkileşim yapıların etüt, proje ve yapım süreçlerinde göz önüne alınarak yapı, hizmet ömrü boyunca karşılaşılabileceği fiziksel ve kimyasal etkilere karşı dayanabilecek bir şekilde inşa edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Yapıda kullanılan malzemede hasara yol açan etkenler kontrol altına alınmazlar ise çoğalarak büyür. Bu büyüme sonucu hasar etkeninin kinetiği hızlanır ve beton hizmet görme yeteneğini uzun süre devam ettiremeyeceği bilinmektedir. Bozulan betonun güvenlik gerilmesi servis gerilmesinin altına düşer ya da onarım ve bakım masrafları yeniden yapım maliyetinin üstüne çıkacağı vurgulanmaktadır [18, 19, 20].

Beton malzemesinin standardı, sistemin tasarım dayanımı ilkesinin en önemli girdisini oluşturmaktadır. Malzeme faktörü, optimum kesit tayini ile birlikte

betonarme eleman dayanımı açısından yeterli olarak görülmekle beraber, dayanım sürekliliği (dayanıklılık) diğer bir değişle hizmet ömrü, yapı ekonomisi açısından önemli bir faktör olarak görülmektedir [21].

Bir yapının hizmet ömrü, yapının performansının yerine getirilebilmesi için gerekli süredir. Performans ise kullanıcıların gereksinimlerini karşılayabilme yeteneğidir. Betonun uzun hizmet ömrü genel olarak büyük yatırım gerektirir. Bundan dolayı tasarım, hasar ve gelecekteki bakım arasındaki ilişkilerin iyi anlaşılması gerekir [16].

Yapının tipine bağlı olarak farklı hizmet ömrü tanımları kullanılmaktadır. Genel olarak aşağıda belirtildiği gibi 3 farklı hizmet ömrü tanımlanmaktadır.

Taşdemir (2004)'e göre teknik hizmet ömrü “hasarın kabul edilemeyen bir durumuna gelinceye kadar hizmet verdiği süre” olarak tanımlanmaktadır. Fonksiyonel hizmet ömrü; “Yapının fonksiyonel performansının kullanıcılardan gelen gereksinimlere yanıt verebildiği süredir” şeklinde tanımlanmaktadır. Ekonomik hizmet ömrü ise; “Betonarme yapıyı mevcut durumuyla kullanmak yerine başka amaç için değiştirmek ya da yıkmaya kadar hizmet verdiği süre” olarak tanımlanmaktadır [22].

Arslan (1997)'in belirttiğine göre durabiliteyi etkileyen faktörleri fiziksel ve kimyasal faktörler olarak iki ayrı grupta incelemek mümkündür [18].

1. Fiziksel Faktörler

- Aşınma, erozyon ve kavitasyon,
- Donma-çözülme etkisi,
- Buz çözücü tuzların etkisi ve pullanma oluşumu,
- Yüksek sıcaklık ve yangının etkisi.

2. Kimyasal Faktörler

- Sertleşmiş çimento bileşenlerinin hidrolizi ve yıkanması,

- İyon değiştirme reaksiyonları (Asit etkisi, magnezyum iyonu içeren çözeltilerin kimyasal etkileri),
- Genleşen ürünler oluşturan reaksiyonlar (Sülfat etkisi, gecikmiş etrenjit oluşumu, alkali silika reaksiyonu, alkali karbonat reaksiyonu),
- Kalsiyum ve magnezyum oksitin gecikmiş hidrasyonu,
- Karbonatlaşma,
- Betondaki kalsiyum hidroksitin çözünmesi beton yüzeyinde çiçeklenme oluşması,
- Klorür etkisi,
- Korozyon.

Bu faktörlerin etkinlik dereceleri, yapının bulunduğu evre ve kullanım şartları, malzeme özellikleri ve karışım oranları, beton kabuğu ve kalıp karakteristiklerinden etkilendiği belirtilmiştir [18].

2.2.1. Durabilityi etkileyen fiziksel faktörler

Aşınma, erozyon ve kaviteasyon

Yeğinobalı (1999)'ya göre beton yüzeylerin yıpranması aşınma, erozyon ve kaviteasyon olarak adlandıracağımız mekanizmalar sonucu yüzeyin çizilip bozularak geometrisinin değişmesi, parçalanıp ufalanması ve ağırlık kaybına uğraması gibi olumsuzlukları içermektedir. Sonuç olarak yüzey kendisinden beklenen fonksiyonu tam olarak yerine getiremez hale gelmekte, i bölgelerdeki betonun dayanıklılığı da tehlikeye girmektedir [4].

Baradan ve ark.(2002)'a göre aşınma; “Beton yüzeylerin (döşeme, zemin betonu, basamak, yol betonu, vb.) kuru sürtünme etkisi ile zamanla artan kütle kaybı” olarak tanımlanmaktadır. Aşındırıcı etki, yaya trafiğinden, araç tekerleklerinden, iş makinesi paletlerinden veya ağır cisimlerin sürüklenmesi gibi etkenlerden kaynaklandığı belirtilmektedir [13].

Arslan (1997)'a göre; aşınma direnci, aşınmaya maruz kalabilecek bütün yüzeyler için önemli görülmektedir. Aşınma direnci; su/çimento oranına, yüzey işlemlerine, betonun kürüne ve agrega ile çimento hamurunun aderansına bağlıdır. Ayrıca çimento hamuru direnci, agrega fiziksel ve karışım özellikleri de betonun aşınma direncinin oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Çoğu durumda beton yüzeyleri yıpranmaya maruz kaldığı belirtilmektedir [18].

Erozyon; akan su ile temas halinde bulunan betonlarda oluşabilen aşınmanın önemli bir tipi olarak görülmektedir. Erozyon hızı, aşınmakta olan partiküllerin miktarı, şekli, boyutu ve sertliğine, onların hareket hızına, girdap bulunmasına ve betonun kalitesine bağlı olarak değişir. Erozyona karşı direnç, betonun basınç direnci ile değerlendirilebilmektedir. Fakat karışım kompozisyonu da bununla doğrudan ilgilidir. Özellikle aynı dirençli harçlara sahip betonlarda büyük agregalı olanlar daha az aşınır ve sert agregalar aşınma direncini geliştirir. Diğer taraftan aşınmanın bazı şartları altında, daha küçük agregaların daha üniform aşınmaya neden olduğu bilinmektedir [23, 24].

Erdoğan (1998)'nin belirttiğine göre; yüksek dayanımlı betonlarda dayanım ile aşınma-erozyon dayanıklılığı arasında doğrudan bir ilişki olduğu ve dayanıma olumlu etkiler yapan tüm faktörler aynı zamanda betonun aşınma ve erozyon direncini de olumlu yönde etkiler [25].

Kavitasyon, su yapılarında rastlanan oyulma olayıdır [15]. Kavitasyon hasarına karşı en iyi direnç, yüksek basınç mukavemetli betonun kullanımı ile sağlanabilmektedir. Agreganın maksimum boyutunun 20 mm'yi geçmemesi gerekmektedir. Çünkü oyulma daha geniş partikülleri çıkarma eğilimi göstermektedir. Erozyonda olduğu gibi agrega sertliği önemli bir faktör oluşturmamaktadır. Fakat agrega ile harç arasındaki yapışma özelliği hayati önem taşımaktadır. Uygun beton kullanımı, oyulmadan kaynaklanabilecek hasarı azaltabilirken sonsuz olarak oyulmaya dayanabilecek bir beton elde edilemeyeceği açıktır. Çok az miktarda kusmuş beton daha güçlü bir yüzey tabakasına sahiptir ve böylece aşınma için daha dirençli olacaktır [18, 26].

Baradan ver ark.'a göre basınç dayanımı yüksek olan betonun aşınmaya karşı da dayanıklılığı yüksek olduğu ancak beton sınıfı tek parametre olmayıp, yüzeyin aşınmaya karşı dayanıklılığı bazı önlemlerin alınması ile artırılabiliceği belirtilmektedir. C 30 ve üzerindeki bir beton sınıfının tercih edilmesi, çok şiddetli etki durumunda ise beton sınıfının C 40 ve üzerinde olması tavsiye etmişlerdir [13].

Donma-çözülme etkisi

Donma-çözülme olayı, fiziksel bir etkidir. Suyu doymuş duruma gelen ve donma-çözülme devirlerine maruz kalan bütün betonlar kısa sürede hasar görmektedirler. Beton bünyesindeki serbest su 0 °C de donduğunda hacmi % 9 oranında arttığı bilinmektedir. Bu hacim artışı beton iç gerilmesini artırır ve betonun bozulmasına neden olacağı bilimsel bir gerçektir. Bunun ötesinde su ile tamamen dolan boşlukların boyutları ne kadar küçük olursa, suyun donduğu sıcaklık derecesi de o kadar düşük olmaktadır. Jel boşluklarının çok küçük olması nedeniyle donmanın büyük bir kısmının kapiler boşluklarda meydana geldiği görülmektedir [21, 37]. Park alanlarında, hava alanlarında, kaldırımlarda, yollarda kullanılan betonlar, bu tür hasara maruz kalabilecek betonlardır. Tekrar tekrar yer alan donma-çözülme olayları karşısında, betondaki iç gerilmeler nedeniyle, beton yüzeyindeki agregalar gevşeyip kopmakta, betonun içerisinde çatlaklar oluşmakta ve bu çatlaklar giderek daha büyük çatlaklar haline gelmektedirler. Şiddetli ortamda çok sayıda donma-çözülme olaylarına maruz kalan en iyi betonlar dahi en çok bir kaç yıl içerisinde büyük hasar görebilmektedir [2, 21, 27, 28].

Donma-çözülme olaylarına dayanıklı bir beton elde etmek için, çimento hamurunun ve agreganın donma-çözölmeye dayanıklı olması gerekmektedir. Çimento hamuru ele alınacak olursa, donmaya dayanım su/çimento oranına ve beton içine sürüklenmiş hava kabarcıkları miktarına bağlı olduğu görülmüştür. Su/çimento oranının değeri çimento hamuru içerisindeki kılcal boşlukları tayin etmekte ve donma dayanımını etkilemektedir. Agregaya ele alınacak olursa, araştırmalar agreganın donmaya dayanımının tane boyutuna, boşluk çapına ve beton içerisinde suya doymuş hale

gelebilmeye bağılı olduğunu göstermektedir. Doygun hale gelebilmesi agregatanelerinin yüzeye yakın olmasına ve üzerlerini örten çimento hamuru tabakasının fazla geçirimli olmasına bağılıdır. Eğer bu şartlar varsa, agreganın donmada zarar görmesi için boşluklardaki suyun buz basınçları ve hidrostatik basınçlar altında kolay boşalamaması gerekir. Bunun içinde boşluk uzunluğunun yani agregatane boyutunun büyük ve boşluk çapının küçük olması gerekir. Deneyler agreganın donmada zarar görmemesi için tane çapının 2 cm'den büyük ve içindeki boşluk çaplarının 5 mikron (0,005 mm)'dan küçük olması gerektiğini göstermektedir [7, 19, 29].

Beton içindeki su birden bire değil yavaş yavaş donabilir. Suyun bir kısmının donması sonucunda meydana gelen hacim artışı donmamış suları harekete geçirmekte, onları boşluklara iterek iç basıncını arttırmaktadır. Suyun donmasının tamamlanmasında hacim artışı maksimum değerini almaktadır. Donmanın tamamlanmaması halinde doğan iç basınç cisim içerisinde çekme gerilmeleri oluşturmaktadır. Bu gerilmelerin cismin çekme mukavemetine ulaştığı bölgelerde çatlaklar meydana gelmektedir. Bu genişleme sonunda ise cismin boşluk yapısında önemli değişimler olmakta ve bu arada yüzeyinde çatlaklar ve döküntüler meydana gelmektedir [30].

Donma olayı sonunda betonlarda iç gerilmelerin oluşması ve beton hacminde bir artış meydana gelmesinden dolayı bu olay beton fiziksel ve mekanik özelliklerinde bazı değişikliklerin meydana gelmesine yol açmaktadır. Betonun fiziksel özelliklerinde aşağıdaki değişimler olur [28];

- Numunede meydana gelen döküntülerden, kopmalardan ve tozlanmadan, dolayı betonun ağırlığında azalmalar olmakta,
- İç gerilmelerin meydana getirdiği gerilmelerin ve hacim artışının etkisiyle betonda boşluk miktarında bir artış olmakta,

- Boşluk yapısında donma olayının etkisiyle büyük değişiklikler meydana gelmekte, hacim artması kılcal boru boyutlarının artmasına neden olmakta ve bundan dolayı kılcal basınç değeri düşmektedir.

Donmaya dayanıklı beton elde etmek için hem çimento hamurunun, hem de agreganın donmaya dayanıklı olması gerekir. Yapılan incelemelerde çimento hamurunda, dona dayanımının su/çimento oranına ve beton içine sürüklenmiş kabarcıklarının miktarına bağlı olduğu görülmüştür. Su/çimento oranının değeri hamur içindeki kılcal boşlukları tayin etmekte ve donma dayanımını etkilemektedir. Su/çimento oranı çeşitli yapı tiplerine ve iklim şartlarına bağlı olarak TS 802 standardında kabul edilen sınır değerlerin altında kaldıkça, betonun donmaya karşı dayanıklı olacağı kabul edilmektedir[31]. Ayrıca hava sürükleyen katkı maddeleri yardımı ile beton içinde toplam hacmi % 4-6 oranında, ortalama çapı 0,08-1 mm boyuttan küçük, kapalı ve dağınık hava boşlukları oluşturulması ile donma dayanımının önemli ölçüde arttığı araştırma sonuçlarında açıklanmıştır [29].

Buz çözücü tuzların etkisi ve pullanma oluşumu

Beton yüzeyinin ince tabakalar halinde gevşeyip kopma göstermesine “pullanma” denilmektedir [2].

Beton yolların, kaldırımların, park yerlerindeki ve hava alanı pistlerindeki betonların üzerinde kışın oluşmakta olan buz tabakasından kurtulabilmek için, beton yüzeyine buz çözücü tuzlar serilmektedir. Kalsiyum klorür ve sodyum klorür, en yaygın olarak kullanılmakta olan buz çözücü tuzlardır [2].

Kış aylarında, buzlanmayı çözücü malzeme olarak, kaldırımlara, yollara ve köprülere tuz dökülür. Tuzlar, kireç filtrasyonunu kolaylaştıran ve malzemenin genişlemesine ve ayrışmasına neden olarak betona zarar veren konsantre solüsyonlar oluştururlar. Beton yüzeyine serilen buz çözücü tuzlar, zamanla beton yüzeyindeki rastgele

noktalarda, kum ve çakılın gevşeyip çıkmasına ve beton yüzeyinden ince bir tabakanın balık pulu gibi sıyrılıp kalkmasına neden olabilmektedirler [2, 16, 17].

Buzlanmayı önlemek için beton yüzeylere tuz dökülerek suyun donma derecesinin düşürülmesi sık uygulanan bir yöntemdir. Ancak, bu yüzeylerin zamanla bozulduğu, harç tabakalarının pul pul kabardığı ve oyuklar meydana geldiği görülmektedir. Gerçekten, dökülen tuz sağladığı yarara karşın betonu yıpratıcı karmaşık etkileri de beraberinde getirmektedir. Bu olumsuz etkiler arasında; tuzların alt bölgelerde yoğunlaşması sonucu suyun yüzeye doğru hareketi, tuzların su tutucu (higroskopik) karakterleri dolayısı ile donabilecek su miktarında artış, ozmotik ve hidrolik basınçların meydana getirdiği gerilmeler, boşluklardaki tuzların kristalleşme basınçları sayılabilir. Klorür içermeleri halinde tuzların betonarme donatı çelik çubuklarında paslanmaya yol açmaları olasıdır [4].

Yüksek sıcaklık ve yangının etkisi

Beton bir çok yapı malzemesine kıyasla yüksek sıcaklık ve yangın etkisine karşı daha dayanıklı bir malzemedir. Yüksek sıcaklık altındaki beton belirli bir süre için önemli bir zarar görmez ve zehirleyici gaz veya duman çıkarmaz. Ayrıca betonarme yapılarda, termik iletkenlik katsayısının nispeten düşük olması nedeniyle, beton donatı çeliğini yüksek sıcaklığa karşı korumaktadır. Ancak bu dayanıklılık sınırlı süreler ve belirli sıcaklık dereceleri için geçerlidir [13].

Normal sıcaklıklarda betonun ısı özellikleri fazla değişmemektedir. Sıcaklık yükseldikçe gerek rutubet kaybı, gerekse çimento hamuru ve agregadaki fiziksel ve kimyasal değişimler beton özellikleri üzerinde etkisini göstermeye başlar. Bu etkiler beton bileşenlerinin başlangıçtaki özellikleri, betonun bileşimi ve nem durumu, sıcaklık artış hızı, ulaşılan en yüksek sıcaklık ve bu sıcaklıktaki kalış süresi gibi faktörlere bağlı olarak değişir [4].

Betonarme yapıların yangına dayanıklılığı yapının taşıyıcı sistemi ile, betonun yüksek sıcaklıktaki davranışına bağlı olduğu bilinmektedir. Genel olarak beton kısa süren ve sıcaklık derecesi 600 °C'yi geçmeyen yangınlarda donatılardan daha iyi bir dayanıklılık göstermektedir. 600 °C'de ise beton, mukavemetinin yarısını kaybedebilmektedir. Sıcaklık derecesinin 800 °C'ye çıkması halinde, hidratelerin içinde bulundukları suyu kaybetmesi sonunda mukavemetteki azalma % 80'e varabilir ki bu da yapının yıkılmasına yol açmaktadır [5].

2.2.2. Durabilityi etkileyen kimyasal faktörler

Zararlı kimyasal etki betonu, başta dayanım olmak üzere diğer özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek kalitesini düşürür ve hizmet süresini azaltmaktadır [32].

Betonun bileşenleri birbirleriyle ve betonun temas halinde olduğu kimyasal maddelerle, özellikle sulu ortamda, çeşitli etkileşmelere girerler. Bunun sonucu olarak beton yapı elemanı işlevini yerine getirebilmesi için gerekli olan özelliklerini zamanla yitirebilmektedir. Betonun bozulmasına neden olan etkileşmeler 1. yer değiştirme, 2. çözünerek yapıdan uzaklaşma ve 3. şişen ürünler verme tepkimelerini zamanla değişen oranlarda içerirler. Bu üç ana tepkime grubu iç yapının bozulması ile mukavemetin azalmasına, boşluk oranının artmasına, büyük yerel şekil değiştirmeler sonucu kabarma, çatlama ve kapak atmalara veya kısaca betonun korozyonuna yol açmaktadır [24, 33].

Korozyon, kimyasal bileşimle birlikte fiziksel özelliklere de bağlıdır. Genelde beton yapı elemanının zararlı ortamda niteliğini koruyabilmesi için ince kesit ve sivri köşelerden kaçınılması, beton bileşenlerinin zararlı etki oluşturmayacak veya zararlı ortama dayanıklı türde seçilmesi, betonun geçirimsiz ve kompakt olacak bileşimde ve uygun yöntemlerle üretilmesi zararlı ortamdan yalıtılması veya ortamın zararlı etkinlik derecesinin düşürülmesi olarak sıralanabilir [34].

Sertleşmiş çimento bileşenlerinin hidrolizi ve yıkanması

Hidrate çimentonun katı fazını göreceli olarak çözünmeyen kalsiyum hidratlar (CSH, CH ve CAH) oluşturmaktadır. Bu bileşenler pH'ı oldukça yüksek olan gözenek suyu içinde kararlı durumdadır. Gözenek suyu içindeki Na^+ , K^+ ve $(\text{OH})^-$ iyonları betonun pH değerini 12,5-13,5 aralığında tutmaktadır. Buradan çıkarılabilecek doğal sonuç, betonun asidik ortamlarla karşılaştığında kimyasal kararlılığını kaybedeceğidir. Teorik olarak pH'ı düşük sular çimento hidrate bileşenlerinin çözülmesine yol açmaktadır. Bu açıdan bakıldığında birçok endüstriyel atık ve doğal su beton açısından saldırgan kabul edilebilir. Ancak, kimyasal saldırının şiddeti sıvının pH değeri ve betonun geçirimsizliğinin fonksiyonudur. Sıvının pH değerinin 6,5'in üzerinde olması ve betonun geçirimsizliğinin çok az olması halinde kimyasal saldırı çok yavaş gelişir ve sonucu ihmal edilebilir mertebelerde kalabilmektedir. Özellikle sülfat ve klor iyonları içeren yeraltı suları, deniz suyu, serbest CO_2 veya H^+ iyonu içeren sular, endüstriyel atıkların, kanalizasyonların karıştığı sular zararlı reaksiyonlara neden olabilir. pH 5,5 ve altındaysa saldırı şiddetli, 4,5 ve altındaysa çok şiddetli gerçekleşmektedir. Ancak sıvının beton içinde taşınım hızı da önemli bir faktör olduğu vurgulanmaktadır [13].

Doğada rastlanan yeraltı, nehir ve göl suları sertliklerine bağlı olarak bir miktar kalsiyum ve magnezyum iyonları içerirler ve genellikle çimento hamuru bileşenlerinde hidrolize yol açmamaktadır. Diğer taraftan, sertlik derecesi çok düşük olan ve özellikle erimiş karsuyu, yağmur suyu gibi saf sular çimento hamuru içindeki kalsiyumlu bileşenlerin çözünmesine neden olmaktadır. Hidrate çimento bileşenleri içinde kalsiyum hidroksit litrede 1230 mg çözünürlükle saf su ile en fazla hidrolize uğrayan bileşendir. Çimento hamuru ile temas halinde olan su kirece doyduğunda hidroliz sona ermektedir. Suyun sürekli akması veya yenilenmesi durumunda ise kalsiyum hidroksit tamamen çözünüp yıkanarak hamur dışına atılabilir ve bu kez çözünme bağlayıcı özellikteki CSH jellerinde başlamaktadır. Kireç içeriğinin azalması sonucu betonda dayanım kaybı meydana gelir ve kirecin

boşalttığı gözenekler sebebiyle ile geçirimsizlik artıp dayanıklılık azalmaktadır [13, 34].

İyon değiştirme reaksiyonları

İyon değiştirme reaksiyonları, agresif sıvıların hidrate çimento bileşenlerini çözmesi şeklinde gelişmektedir [13]. Asitlerin veya magnezyum iyonları içeren sıvıların betona etkisi bu grupta incelenmesi daha uygundur.

Asit etkisi

Beton alkali veya bazik ortama genelde dayanıklı olmasına rağmen, bazik yapılı beton bileşenleri zayıf asitlerin düzensiz etkisi dışında asitli ortamdan zarar görmektedirler. Kalsiyum silikat hidrat esaslı bağlayıcılar kullanılarak kuvvetli asit çözeltilerine dayanıklı beton yapılamamaktadır. Bu asitlerin tuzları ise doygunluk derecelerine bağlı olarak etki göstermektedirler [35].

Rutubetli ortamda, kükürtdioksit (SO_2) ve karbondioksit (CO_2), hatta atmosferde bulunan diğer gazlar; çözülmek suretiyle asitleri oluşturarak ve çimento hamuru ile reaksiyona girerek yumuşak, çok zayıf bir beton kitlesi oluşmasına neden olabilmektedir[20]. Sülfürlü gazlar rutubetle birleşerek sülfürik asit oluşturmaktadır. Ayrıca atık sular da asit oluşumuna yol açabilecek maddeler bulunabilmektedir [36].

Bazen dağlardan çıkan ırmaklar da serbest karbondioksitin çözünmesi sebebiyle fazla keskin olmayan asitler içerebilirler. Genelde bu tür sular eğer beton iyi bir kalitede ve su emmesi de düşük düzeylerdeyse betona sadece yüzeysel hasarlar verebilmektedir. Buna rağmen yüksek miktarlarda çözünmüş karbondioksit ve hidrojen sülfid içeren mineral suların betonda yapacağı hasarlar çok daha ciddi olabilmektedir. Asitlerin betonda oluşturduğu hasar, hidrate olmuş portland çimentosundaki kalsiyum hidroksitle reaksiyona girmesi sonucu oluşmaktadır.

Birçok durumda kimyasal reaksiyonlar suda çözünebilen kalsiyum bileşiklerinin oluşmasına yol açmaktadır [24].

Organik maddelerin oluşturduğu humikasit, süt endüstrisinde kullanılan laktik asit, bira fabrikalarında kullanılan asetik asit, yüzme havuzlarını temizleme amacıyla kullanılan klorhidrik asit, bakır elde ederken kullanılan sülfirik asit gibi asitler de kullanıldıkları yerlerdeki betonlara zarar verebilirler. Yağmur suları da içerdiği CO_3 , NO_3 , SO_3 ve kireci çözmesi nedeniyle zararlı olduğu bilinmektedir. Bazı kükürt bileşikleri nedeniyle veya bakteri bozuşmaları nedeniyle kanalizasyon suyu hidrojen sülfür içerebilmektedir. Bu gaz, nem ve havadaki oksijenle birleşerek sülfirik aside dönüşürse kanalizasyon borusunun içinde betona zarar verebilir. Sülfirik asit, oluşturduğu kalsiyum sülfatla betondaki hasarı daha ileri aşamalara götürebilmektedir. Fosforik asit ise orta derecede zararlıdır ve sadece beton yüzey tabakasına zarar verebilir [35].

Beton yapı elemanını çevreleyen zemin suyunun asiditesinin az olması halinde betona zararsız olduğu söylenebilir. pH'ı 7 olan yumuşak veya saf sularda zararlı etkiler ortaya çıkabilmektedir. Çünkü sertleşmiş çimento hamurunda yüksek kireç içerikli silikat ve alüminatların hidratasyonu sonucu ortaya çıkan ve kalsiyum silikat hidrat (C-S-H, tobermorit) jelinin kimyasal kararlılığını sağlayan kireç, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, yumuşak ve saf sularda çözünmektedir. Su zamanla değişiyorsa veya hareketli ise sertleşmiş çimento hamuru boşluklarındaki kireç uzaklaşır ve betonun mukavemetini düşürmektedir [23, 34].

Asitli sular pH değerlerinin 7'den küçük olması ile belirlenirler. İçinde serbest asitler bulunan sular beton bünyesindeki sertleşmiş çimentoya ve agrega içindeki karbonat esaslı taneciklere çözücü ve ayrıştırıcı olarak etki yapmaktadır. Asitli suların beton üzerindeki etkileri, pH değerlerinin 6,5 veya daha küçük olması halinde göz önünde bulundurulur [32].

Magnezyum iyonu içeren çözeltilerin kimyasal saldırıları

Magnezyum klorür, magnezyum bikarbonat veya magnezyum sülfata yeraltı sularında, deniz suyunda veya endüstriyel atık sularda rastlanmaktadır. Magnezyum klorür ($MgCl_2$) sertleşmiş çimento hamurundaki kalsiyum hidroksit ile reaksiyon girerek çözünen $CaCl_2$ ve çözünmeyen $Mg(OH)_2$ (brusit) meydana getirdiği bilinmektedir [13].

Betonun Mg tuzlarıyla uzun süreli teması halinde ise CSH içindeki kalsiyumun Mg iyonlarıyla yer değiştirdiği görülür ki oluşan magnezyum silikat hidratın (MSH) bağlayıcılık özelliği yoktur, kolayca parçalanabilmekte, bu durum betonda rijitlik ve dayanım kaybına yol açmaktadır. Magnezyum sülfat aynı zamanda betonda sülfat etkisine yol açtığı için magnezyum tuzları içinde en zararlısı olarak kabul edilir [13].

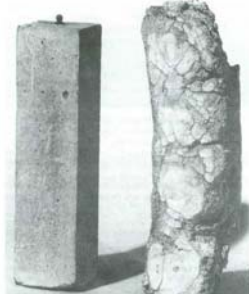
Çimentoya MgO genellikle kalker ham maddesindeki dolomitten gelmektedir. Bir bölümü çimento ile bileşen katı eriyikleri içine girerken, geri kalan bölümü kristal yapıda (periklas) olarak serbest kalır. Çimento hamuru sertleştikten sonraki hidrasyonu yine genleşme ve çatlamalara sebep olmaktadır [34].

Genleşen ürünler oluşturan reaksiyonlar

Sülfat etkisi

Sülfat, çimentonun bazı bileşenleri ile reaksiyona girerek betonun zamanla bozulmasına neden olmaktadır. Bu saldırı sülfat iyonlarının, sertleşmiş betondaki alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle kimyasal reaksiyona girmesi, etrenjit ve alçı taşı oluşturması ile gerçekleşir. Reaksiyon ürünleri betonda genleşme yaratarak çatlaklara ve dağılmaya yol açar, agrega çimento aderansının etkilenmesiyle betonun mukavemeti düşer. Sülfat saldırısına uğramış betonun karakteristik görünümü, özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm kütleyle yayılan beyaz lekeler, çatlaklar

ve dökülmelerdir. Betonun kolayca ufalanabildiği ve yumuşadığı görülür (Resim 2.1) [13, 33].



Resim 2.1. Sülfat etkisiyle ağır hasar görmüş beton [13]

Sülfat korozyonu betonlarda en sık rastlanan bir hasar tipidir. Bunda en büyük etken sülfat bileşiklerinin betonla çok değişik ortamlarda temas edecek şekilde doğada bulunması gerçeğidir. Doğada sodyum, potasyum ve magnezyum bileşikleri (tuzları) halinde bulunan sülfat; agrega, karışım ve temas suyu yada zeminlerde bulunabilir [24].

Betonarme çeliğini doğrudan paslandırmadığı halde, sülfat çözeltileri betonda sertleşmiş olan çimentoya tesir ederek mevcut sülfatın yapısı ve çimento tipine göre iki tip reaksiyon meydana getirirler:

- Sülfatlar çimento içerisinde alçı taşı oluşturmak için serbest kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girmektedir,
- Alçıtaşı ve trikalsiyum alüminat, trikalsiyum sülfoalüminat oluşturmak için birleşmektedir.

Bu reaksiyon ürünleri, paslanmada olduğu gibi, kendilerini oluşturan bileşenlerden daha fazla hacme sahip olmaktadır [37].

Betonda klorürlerle birlikte bulunan sülfat iyonları, klorürleri bağlamada ve korozyon riskinde diğer bir faktör olarak bilinmektedir. Klorürlerden kaynaklanan

korozyonu etkilemede sülfatların etkinliği tam olarak açıklığa kavuşturulabilmiş değildir. C_3A 'ın öncelikle sülfat iyonlarını bağlama özelliğinden dolayı, beton içerisinde sülfatların bulunması durumunda C_3A 'ın klorür iyonlarını bağlama kapasitesi düşmektedir. Bu durum beton boşluk çözeltisinde yüksek derecede aktif serbest klorür iyonlarının bulunması sonucunu yaratacaktır [38].

Betonda sülfat etkisi kendini ilk önce yüzeyde oluşan beyazımsı lekelerle göstermektedir. Hasar daha çok köşelerde, sivri noktalarda, birleşim yerlerinde başlamakta, daha sonra ilerleyen çatlaklar ve dökülmeler meydana gelmektedir. İleri düzeyde hasar durumunda ise betonun kırılma dayanımı ve rijitliğini kaybedip dağıldığı görülmektedir [13].

Bazı bölgelerde betonarme yapıların yüksek konsantrasyonda sülfat ve klorür tuzu çözeltilerinin tesiri altında olduğu bilinmektedir. Bu tuzların konsantrasyonu deniz suyundakinden 4 - 6 kat daha fazla olabilmektedir. Yüksek konsantrasyonda klorür ve sülfat tuzu çözeltileri beton ve donatı için aşındırıcı özellik taşımaktadır. Betona nüfuz etmiş yüksek konsantrasyondaki çözelti, beton boşluklarında tuzların kristalleşmesine ve sonuçta betonun parçalanmasına neden olmaktadır. Bu, genellikle kristalleşmenin buharlaşma ile güçlendirildiği su seviyesinin üstündeki temel betonlarında gerçekleşir[39, 40]. Yapılan deneysel çalışmalarda, silis dumanı ve yüksek fırın curufları kullanılarak üretilen örneklerde, uçucu kül ve sadece Tip-I çimento kullanılanlara nazaran daha fazla yüzey tahribatı görülmüştür [41].

Gecikmiş etrenjit oluşumu

Etrenjit düşük çift kırılımlı, iğne şekilli kristaller olarak tanımlanır[42]. Uzun süreli olarak nemli ortamlarda kalan bazı prefabrik elemanlarda sülfat etkisine benzer şekilde yıllar sonra çatlak ve hasarlar görülmekte, yapılan araştırmalar hasarın nedeninin gecikmiş etrenjit oluşumu olduğunu ortaya koymaktadır. Gecikmiş etrenjit oluşumunu aslında içten gelen sülfat etkisi olarak tanımlamak mümkündür. Sülfat etkisiyle genişleyen tuz sertleşmiş betonu çatlatıp, parçalamaktadır. Ancak burada

oluşan etrenjit normal hidratasyon sonucu oluşan etrenjit ile karıştırılmamalıdır. Beton taze iken, kristalleşen tuzun genleşmesine izin verecek ortam mevcuttur [13].

Gecikmiş etrenjit oluşumunun nedeni, prefabrik sektöründe elemanların hızlı priz alması ve dayanım kazanması için uygulanan yüksek sıcaklığa bağlanmaktadır. Olayın nedenlerinden biri de çimentoda aşırı miktarda SO_3 bulunmasıdır. Eskiden klinkerlerdeki sülfat seviyeleri % 1'in altında iken yeni teknoloji ile çalışan çimento fabrikalarında üretilen klinkerlerde bu oran % 2-5 dolaylarına çıkabilmektedir. Bu sülfatın bir kısmı da suda çok az ve yavaş çözüldüğünden, etrenjit oluşumu beton sertleştikten sonra gerçekleşebilmektedir. Oluşan etrenjit çok ince olup, alkali-silika jeline benzemektedir. Gecikmiş etrenjit oluşumu agrega-çimento harcı ara yüzeylerinde boşluk yaratıp, bu boşluklarda gelişmektedir [13].

Gecikmiş etrenjit oluşumu oluşumunu engellemek için aşağıdaki önlemlerin alınmasında yarar vardır [13];

- Özellikle suda yavaş çözünebilen SO_3 içeren çimento klinkerinde sülfat içeriğinin mümkün mertebede düşük olmasına dikkat edilmelidir. %1,5 SO_3 oranının bile reaksiyona yol açtığı belirlenmiştir. Bu nedenle çimentoda SO_3 oranının en alt düzeyde olması tercih edilir,
- Kür sıcaklığının çok yüksek olmamasına dikkat edilmelidir. 60°C'lik kür sıcaklıkları bile bazı tür çimentolarda reaksiyona yol açabilmektedir,
- Kullanılacak olan çimentonun düşük hidratasyon ısısı çıkaran türde olmasında yarar vardır. Örneğin, hızlı dayanım kazanan ince çimentolar yüksek sıcaklıkta (70-75°C) kür edilirse, gecikmiş etrenjit oluşumu açısından daha büyük bir riskten söz edilebilir,
- Önemli miktarda uçucu kül gibi puzolan içeren çimentoların kullanımı sülfat miktarını azaltacaktır. Ancak bazı puzolanik maddelerin de sülfat içerebildiği unutulmamalıdır,
- Yapı elemanının su ile teması kesilmelidir,

- Hava sürükleyici katkı kullanımının, kristal genişmesinin oluşturduğu iç gerilmeleri azaltacağı için yararlı olması beklenir.

Alkali silika reaksiyonu

Alkali silika reaksiyonu agregadaki bazı reaktif silis bileşenleri ile çimento hamuru boşluk sıvısındaki alkaliler arasında yer almaktadır. Çimento hamurunda sodyum ve potasyum oksitlerin oluşturduğu alkali hidroksitler agregadaki silis ile birleşerek bir “alkali-silika jeli” meydana getirirler. Bu jel çevresinden sürekli su emerek hacmen genişleme özelliği taşıdığından zamanla betonda çatlamlara yol açar ve beton yüzeyinde birbirine yakın, rastgele dağılmış kısa çatlaklar oluşturmaktadır. Alkali ve hidroksil iyonlarının agrega içerisinde ve daha düşük enerji düzeyindeki silis yapısına doğru yayınmaları ile başlayan jel oluşumu ve hacim genişmesi önce agregada kılcal çatlaklar meydana getirmektedir. Suda çözünebilen jel kılcal çatlaklara, daha sonra da agrega yüzeyine ve hamur içine doğru hareketlenmektedir. Suyun mevcut olması halinde çatlaklar genişleyip uzayarak beton yüzeyine ulaşmaktadır. Reaksiyonun başlaması ve betona zarar vermesi aşağıdaki faktörlerin biraraya gelmesi sonucu, yılları bulan süreçlerde yer alır [34].

- Çimento hamuru boşluk sıvısındaki alkali iyonlarının kalsiyum iyonlarına göre yoğunluğu,
- Kullanılan agreganın reaktif silis içermesi. Bu konuda agregaların kesin bir sınıflandırılması zordur,
- Ortamın rutubetli ve sıcak, çimento hamuru ile agregada geçirgenliğin fazla oluşu reaksiyonun oluşmasına ve şiddetlenmesine yardımcı olan faktörlerdir.

Betonda alkali-silika reaksiyonunu meydana getiren faktörler konusundaki bilgilerin ışığında bu reaksiyonu önlemek için alınacak önlemler şöyle sıralanabilir.

- Reaktif silis içeren agregaya kullanmamak, veya böyle bir agregayı reaktif olmayan bir agregaya ile karıştırarak kısmen iyileştirmek,
- Agreganın reaktif olmasından kuşku duyuluyorsa eşdeğer alkali yüzdesi 0.6'dan büyük çimento kullanmamak, diğer beton bileşenlerinde alkali bulunması durumunda betonda toplam alkalinin 3 kg/m^3 değerini geçmemesini sağlamak,
- Betonun mümkün olduğu kadar rutubetten korumak.

Yukarıdaki önlemlerin her zaman alınması mümkün olmayabilir. İlâve bir önlem olarak çimentoya en az %25 oranında doğal (tras) veya yapay (uçucu kül) puzolan veya en az %50 oranında yüksek fırın cürufu katılması önerilmektedir [34].

Alkali karbonat reaksiyonu

Betondaki alkaliler ile bazı dolomitik kalkerlerden elde edilen agregalar arasında genleşme ve çatlamalar ile sonuçlanan reaksiyonlar meydana gelmektedir. Bu tür kalkerlerde ince taneli kalsit ve kil matriks içine serpiştirilmiş göreceli olarak büyük dolomit kristalleri bulunduğu gözlenmiştir. Reaksiyon ve genleşme mekanizmaları konusunda çeşitli görüşler bulunmaktadır. Reaksiyon sırasında dolomitin ana bileşeni MgCO_3 brunit Mg(OH)^2 haline dönüşmekte ve alkaliler ortama geri dönmektedir. Alkali-karbonat jeli miktarca az olup genleşmeye daha ziyade dolomitin boşalması ile suya maruz kalıp şişen kil bileşenleri neden olmaktadır. Alkali-silika reaksiyonlarında alkaliler tükenmekte ve daha fazla jel meydana gelmektedir. İki reaksiyon arasında diğer bir fark da puzolanların alkali-karbonat reaksiyonunu önlemedeki rollerinin pek belirgin olmamasıdır. Çatlaklar beton yüzeylerinin en fazla ve sürekli rutubete maruz kaldığı bölgelerinde, yine ağ veya örgü düzeninde gruplar oluştururlar. Alkali-karbonat reaksiyonuna karşı alınacak en pratik önlem reaktif agregaya kullanmamaktır. Kuşkulu durumlarda düşük alkalili çimento kullanmak veya agregayı reaktif olmayan agregaya ile karıştırarak kısmen iyileştirmek önerilmektedir [34].

Kalsiyum ve magnezyum oksitin gecikmiş hidratasyonu

Çimento içinde bulunabilen CaO ve MgO'un gecikmiş hidratasyonları da betonda genleşmelere ve çatlamalara yol açabilmektedir. Döner fırında yüksek sıcaklıklarda pişerek kristal yapıya sahip olan bu bileşenler diğer çimento bileşenlerinden daha geç reaksiyon göstermektedirler. Bu nedenle çimento içindeki miktarlarının sınırlı olması istenmektedir [13].

Üretim sırasında ham maddelerin yanlış harmanlanması veya yetersiz öğütme ve pişirme gibi nedenlerle çimentoda serbest (bağlanmamış) CaO kalabilir. Çimentoya MgO genellikle kalker ham maddesindeki dolomitten gelmektedir. Bir bölümü çimento bileşenlerinin katı eriyikleri içine girerken, geri kalan bölümü kristal yapıda (periklas) olarak serbest kalmaktadır [13].

Özellikle geçen yüzyılın başında üretilen çimentoların % 30 gibi çok yüksek oranlarda MgO içerdiği, bu sebeple bir çok yapının hasar görmesinden sonra konunun önem kazandığı bilinmektedir. Ancak günümüzde çimento üretimindeki sıkı kalite kontrolü nedeni ile bu bileşenlerin çimentodaki serbest miktarları çok düşük mertebelerdedir ve aynı zamanda maksimum oranlar için standartlarda genellikle sınırlamalar mevcuttur. Örneğin MgO için genellikle getirilen üst limit % 5'tir [13].

Karbonatlaşma

Betonarme elemanlarda, beton içine gömülü olan çelik, betonun alkali ortamı sayesinde korozyondan korunabilmektedir. Betonun alkalitesi büyük ölçüde, çimentonun hidratasyonundan kaynaklanan ve gözenek suyu içinde çözünmüş kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2) tarafından sağlanmaktadır. Fakat, betonun bu olumlu özelliği zaman içinde karbonatlaşma adı verilen kimyasal bir reaksiyon sonucu yok olabilmekte, özellikle, Ca(OH)_2 atmosferde bulunan karbondioksit (CO_2)'in betonun gözenek sistemine işlemesiyle kalsiyum karbonat (CaCO_3)'a dönüşmektedir.

Betonun pH derecesini düşüren ve donatının paslanmasına yol açan bu olgu betonarme elemanların hizmet ömürlerini belirleyen önemli faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir [13].

Karbonatlaşma olayı sonucunda, betondaki kalsiyum hidroksit miktarı azalmakta, betonun pH değeri düşmektedir. Böyle bir ortamdaki donatıların korozyonu daha kolay gerçekleşebilmektedir. Karbonatlaşma olayı beton yüzeyinde başlamakta, ve yüzeyden biraz içerilerde bulunan bölgede etkili olmaktadır. Betonun geçirimliliği arttıkça, ve betondaki mikro çatlaklar çoğaldıkça, karbonatlaşmanın etki ettiği derinlik daha fazla olmaktadır. Su/çimento oranı düşük olan ve iyi kür edilen betonlarda, karbonatlaşmanın etkisi yüzeyden 25 mm'den daha içerideki bölgeyi etkilememektedir [2].

Havadaki CO₂, rutubetli ortamlarda hidrate olmuş çimentoyla reaksiyona girer. Söz konusu etki, CO₂ konsantrasyonu % 0,03 civarında olan “temiz bir havada” dahi meydana gelebilir. Büyük kentlerde havadaki CO₂ konsantrasyonunun % 0,3-1,0 arasında olduğu göz önünde bulundurulursa, sorunun kentsel alanlarda daha büyük boyutlu olduğu görülmektedir. Teorik olarak, çimento hamurundaki tüm kalsiyumlu bileşenler CO₂'den etkilenmektedir. Ancak, pratikte sorunun ana nedeni, çimentonun kalsiyum silikat bileşenlerinin hidratasyonu ile ortaya çıkan Ca(OH)₂'dir [43].

Bu reaksiyon, boşluk suyunda (OH⁻) iyonlarının azalmasına ve betonun pH'ının önemli ölçüde düşmesine neden olmakta ve bu olay betonun koruyuculuk niteliğinin kaybolmasına neden olmaktadır [44, 45].

Atmosferde ve doğal sularda bulunan CO₂ gazı, beton pas payının hava boşlukları içine girerek betonun pasifleşme fonksiyonunu sağlayan, alkalik kalsiyum hidroksiti, kalsiyum karbonata dönüştürür ve ortamı nötrleştirmektedir [46, 47].

Karbonatlaşmanın en hızlı olduğu ortam, bağıl nem oranının; % 50-70 arasında olduğu durumlarda sağlanmaktadır. Donatı paslanması için karbonatlaşma ve klor etkisi bir arada ele alındığında, klor etkisi için daha fazla rutubet gerektiği,

dolayısıyla, hem karbonatlaşma hem de klor etkisinin birlikte en fazla zararı meydana getirdiği durumların, tekrarlı ıslanma kuruma koşullarında olduğu görülmektedir [7, 43].

Karbonatlaşmanın, betona önemli bir olumsuz etkisi yoktur. Karbonatlaşma beton yüzeyinden başlayarak iç kısımlara doğru ilerlemektedir. İlerleyiş hızı havadaki CO₂ yoğunluğu ile betonun geçirgenliğine ve rutubet durumuna bağlı olarak değişmektedir. Ancak alkaline bir madde olan betonun pH değerini 12-13'den 8-9'a düşürerek daha asidik bir ortam oluşturmaktadır. Böylece beton içindeki donatının paslanmasını kolaylaştırıcı olumsuz bir etki oluşturabilir [48, 49].

Özyıldırım ve Halstead (1999), yaptığı araştırmada; az miktarda silis dumanı ilave edilmiş uçucu küllü betonların, su/çimento oranı % 40-45 arasında değiştiğinde, 28 günlük dayanımları, tatmin edici ve karbonatlaşma etkisine karşı dayanımının iyi olduğunu belirtmişlerdir [50].

Betondaki kalsiyum hidroksitin çözünmesi beton yüzeyinde çiçeklenme oluşması

Beton veya sıvaların yüzeyinde bazen görülen beyaz lekeler çiçeklenme olarak adlandırılmaktadır. Bunlar daha çok çimento harcındaki kireçli bileşenlerin çözünüp, dışarıya sızması ve yüzeyde kristalleşip birikmesi sonucu oluşur. Farklı şekillerde çiçeklenme oluşumları gözlenmiştir. Görünümü bozan bu inatçı beyaz birikimlerin giderilmesi ve tamirleri de çok zor yapılmaktadır [13].

Beton yüzeyinde daha çok kalsiyum karbonat birikimleri görülmektedir. Suda erimeyen CaCO₃ dışında, kalsiyum sülfat ve diğer tuzların kristallerine de rastlanmaktadır. Kalsiyum karbonatın oluşumu karbonatlaşma olayı ile ilgilidir. Beton içinde bulunan kirecin bir diğer etkisi de, suda kolaylıkla çözünerek beton dışına sızdığında beyaz lekelere yol açmasıdır [13].

Zeminden kapiler yolla emilen suyun beton elemanlar içinde belli bir yüksekliğe ulaşabildiği herkesçe bilmen fiziksel bir olgudur. Suyun yapı elemanın atmosfere açık yüzeylerine ulaşmasıyla buharlaştığı, ancak su ile birlikte taşınan çözünmüş maddelerin özellikle kirecin bu yüzeylerde kaldığı görülmektedir. Yüzeyde biriken, Ca(OH)_2 havadan hızla karbondioksit (CO_2) alarak karbonatlaşmaktadır. Yüzeyde kalan serbest kireç ise yapı elemanının çiçeklenme oluşan yüzeyi dışarıya açıksa ilk yağmurda yıkanmakta, böylece beton yüzeyinde pamuksu beyaz lekeler oluşmaktadır. Olayın gelişimi beton kalitesi ile de ilişkilidir. Ancak çiçeklenmenin sadece betondan kaynaklanmadığı, betonarme yapılarda kullanılan kireç katkılı sıvaların betona kıyasla çok daha fazla kireç içerdiği ve bu tür sıvaların betona kıyasla daha gözenekli olduğu da gözden kaçırılmamalıdır. Bu nedenle yapının zeminden su emmesini engelleyecek önlemlerin mutlaka alınması gereklidir [13].

Çiçeklenmeye beton karışımında yıkanmamış deniz kumu veya deniz suyu kullanılması durumunda da rastlanmaktadır. Agregada tuzun yanısıra alçıtaşı ve alkalilerin bulunması da benzer etkiyi yaratmaktadır [13].

Klorür etkisi

Klorürler sülfatlar kadar tehlikeli olmamakla beraber muhtelif türlerin bazı hallerde beton ve betonarme yapılar üzerinde zararlı etkileri olduğu bilinmektedir. Kalsiyum klorür, sodyum klorür, potasyum klorür, magnezyum klorür betonda zarar meydana getiren belli başlı klorürlerdir [7].

Kalsiyum klorür az miktarda su içinde eriyik halinde bulunduğu takdirde prizi çabuklaştırmak suretiyle mukavemet artışını hızlandırır. Buna karşılık CaCl_2 konsantrasyonu yüksek olan sular çimentolar için belirli derecede zararlıdır. Sodyum klorür (NaCl) ve potasyum klorür (KCl) genellikle çimento üzerinde zararlı etki yapmamaktadır. Ancak bu tür klorürler iyon değiştirme yolu ile zararlı etkiler gösterebilmektedir. Na ve K iyonları çimentodaki silis jelinin yüzeyi tarafından tutulmaktadır. Alkali maddelerin konsantrasyonunun zamanla artmasıyla bu jel

hidrate halinde çözeltiye karışarak ayrışmanın başlamasına neden olabilmektedir [13].

$MgCl_2$, bu maddenin su içinde konsantrasyonu %5-15 civarında olması durumunda, betonları sürekli olarak tahrip eder. $MgCl_2$, ayrıca HCl asidini meydana getirmek suretiyle, zararlı etkisini ortaya koymaktadır. Bundan başka $MgCl_2$ 'nin $Ca(OH)_2$ ile yaptığı reaksiyon sonunda meydana gelen $CaCl_2$ yukarıda açıklanan zararlı etkileri yapmaktadır. Diğer klorürlerden olan baryum klorür çözeltilerinin çimentolar üzerinde zararlı etkileri görülmemiştir. Buna karşılık amonyum klorür ve demir klorür çimentoların ayrışımına neden olabilmektedir [24, 51].

Korozyon

Korozyon; metallerin değişik etkenler sonucu çevreleriyle girdiği kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu doğal durumlarına geri dönme eğilimiyle metalik özelliklerini kaybetme süreci olarak açıklanabilir(Resim 2.2).



Resim 2.2. Betonarme çeliğinde korozyon

Bazı özel haller dışında normal sıcaklıkta betonarme çeliğinin korozyona uğrama biçimleri; atmosferik korozyon, elektrolitik korozyon, galvanik korozyon, klorür iyonu korozyonu olarak özetlenebilir [52].

Betonarme yapılar açısından bakıldığında; çelik, beton içine gömülü olarak kullanılmaktadır. Aslında, doğru dizayn edilmiş geçirimsiz, kaliteli bir beton, çelik donatıyı fiziksel ve kimyasal olarak korozyondan korumaktadır. Fiziksel koruma zararlı maddelerin donatıya ulaşmasının engellenmesiyle, kimyasal koruma ise yüksek pH'lı bir ortam yaratılması ile gerçekleşmektedir. Betonun bu olumlu özelliğine rağmen, uygulamada yapılan hatalar nedeniyle, korozyon günümüzde betonarme yapıların hizmet ömürlerini belirleyen en önemli faktör olarak kabul edilmektedir [13].

Normalde donatılar yüksek alkaliden (fazla miktarda Ca(OH)_2) dolayı pasif hale gelmektedir. Eğer çevre alkalitesi belli bir değerin altına düşerse çeliğin pasif hali bozulmaktadır. Bu durum altında ortamda klorür iyonları varsa korozyon daha şiddetli olarak görülmektedir [53]. Klorür iyonu konsantrasyonu, sıcaklık ve relatif nemin karşılıklı etkileşimi çeliğin korozyonu üzerinde karmaşık bir durum yaratmaktadır [54].

Kaliteli beton, donatı çeliği için kusursuz bir koruma sağlayabilir. Betonarme çeliğinin kimyasal olarak korunması betonun yüksek alkalitesi ile, fiziksel koruma ise aktif maddelerin beton içerisine girmesine karşı beton kabuğunun bir bariyer gibi davranması ile sağlanır [55]. Betonun yapısından kaynaklanan bu koruyucu özelliğe rağmen, donatı korozyonunun betonarme yapılarda yıpranmaya yol açan en yaygın faktör olduğu görülmektedir [56]. Karayolu yapıları ve araç park yeri yapıları gibi yapılarda buz çözücü tuzların kullanımı ile betonarme sistemde hasarlar daha da artar. Beton yüzeyinin bozulması ve donatının korozyonu şeklinde oluşan bozulmalar, beton hizmet ömrünü hızlı bir şekilde azaltmaktadır [57].

Beton çatlamamış bir durumda iken betonarme çeliği üzerindeki kabuk uzun süre koruyucu görev yapabilir. Koruyucu etkinlik sadece çatlakların olmamasına bağlı değildir. Aynı zamanda, zararlı maddelerin betona difüzyon hızına veya betonun porozitesine bağlıdır. Bu nedenle özellikle ulaştırma yapılarında alt yapı çevresinin incelenmesi, tasarım, bakım ve korozyon kontrolü testleri bakımından önemli

olmaktadır [58]. Geçmişte yapılan araştırmalar göstermiştir ki; çatlak betonarme elemanlarda kaplanmamış donatının korozyonu, buz çözücü tuzların kullanımından hemen sonra başlamaktadır [59]. Suyun penetrasyonu ile birlikte klorür iyonlarının betona nüfuz etme imkanı bulacağı açıktır. Kabul edilen genel düşünceye göre; beton içerisindeki klorür miktarının imento ağırlığının % 0,2 sine ulaşması korozyon başlangıcı için sınır değeri olarak görülmektedir [60]. Diğer taraftan betonarme köprülerde imento ağırlığının % 0,2'sinden daha fazla klorür iyonunun betonarme çeliğine ulaşması durumunda zararlı sonuçlar doğuracağı iddia edilmektedir. Klorür zeltisi ile yapılan absorbsiyon testlerinde suya nazaran klorür iyonlarının beton içerisine doğru daha yavaş ilerlediği görülmüştür [61].

Beton içine gömülü elik donatının korozyondan korunması için gerekli en düşük pH değeri konusunda farklı görüşler mevcuttur. Bazı kaynaklarda, betonun pH değerinin 9,5'in altına inmesiyle pasif tabakanın kararlılığını kaybettiği belirtilirken, bazı kaynaklarda ise bu durumun pH değerinin 11,5'in altına düşmesiyle görülme olasılığından söz edilmektedir [13].

Donatının çapına bağlı olarak 10-50 μm 'lik bir korozyon oluşumunun 2-3 cm'lik bir beton kabuğunun kırılması için yeterli gerilmeyi oluşturduğu kabul edilmektedir [62].

Klorür iyonlarının betonun içine girmesinin önlenmesi, betonarme yapının dayanıklılığının artırılması için gerekli bir yaklaşım olarak görülmektedir. Bu, daha kalın beton kabuğu (pas payı), daha da önemlisi klorür iyonlarının geçişine daha dayanıklı beton kabuğu yapmakla mümkün olabilir [63].

Beton içindeki elik donatı çubuklarında korozyon riskini enaza indirmek için başlangıçta yapılacak işlemler gene dayanıklı beton üretimi için gerekli genel kuralları uygulamaktır: Düşük su/imento orantısı kullanmak, taze betonu iyi sıkıştırmak, etkin ıslak kr gibi önlemler betonda geçirgenliği azaltacak, korozyon için gerekli su ve oksijenin beton içerisine sızmasını yavaşlatacaktır. Gerçekte

tamamen kuru betonlarda suyun yokluğu, tamamen su içerisindeki betonlarda oksijenin bulunmaması hallerinde çelik donatı korozyonu ihmal edilir düzeylere ineabilmektedir. Beton yüzey bölgesi ile pas payı denilen ve donatı ile beton yüzeyi arasındaki bölge kısmen çakışmakta ve betonarme elemanların üretiminde buralara özel itina gösterilmesi daha da önem kazanmaktadır. Farklı şiddetlerde yıpratıcı etkilere maruz kalacak betonlar için su/çimento orantısı, çimento dozajı, dayanım ve gerekli pas payı kalınlıkları gibi parametreler için sınır değerler önerilmektedir [34].

3. MATERYAL VE METOT

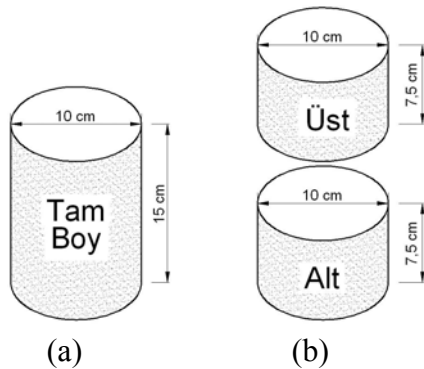
3.1. Materyal

Deney materyali olarak 2000 yılı Kasım ayında, 200 x 300 cm boyutlarında 20 cm kalınlığında, iki beton bloktur. Beton blokların birine 36 dakika vakum uygulanmış ve Vakumlu Beton (VB) olarak adlandırılmıştır. Diğerine ise sadece yüzey vibratörü ile düzeltme işlemi yapıp, başka hiçbir işlem uygulanmamış ve Referans Beton (RB) olarak adlandırılmıştır. Beton üretiminde 0-3, 8-16 ve 16-25 kırma agregasıyla, CEM I 42,5 N çimento ve süperakışkanlaştırıcı madde kullanılmıştır.

Beton karışımında, 1727 kg agregası, 426 kg çimento, 2 kg süperakışkanlaştırıcı ve 190 lt su kullanılmıştır. Kullanılan suyun 80 lt'sinin vakum yoluyla geri alındığı belirtilmiştir. Araştırma materyali olarak, 6 yıl boyunca, Ankaranın Beşevler semtinde açık hava tesirlerine maruz kalmış beton bloklardan alınan, 10 cm çapında 15 cm boyundaki karot numuneleri kullanılmıştır.

3.2. Metot

Bu çalışmada, vakumlu ve referans betonlardan 10 cm çapında, 15 cm boyunda karot numuneleri alınmıştır. Numunelerin bir kısmı ortadan ikiye kesilerek alt ve üst tabakalara ayrılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan numuneler

(a) Tam boy karot numuneleri

(b) Üst ve alt karot numuneleri

Çalışmada, boyu 15 cm olan karotlara;

- basınç dayanımı,
- statik elastisite modülü ve poisson oranı,
- yarmada çekme dayanımı,
- karbonatlaşma derinliği,

boyu 7,5 cm olan üst ve alt karotlara ise;

- basınç dayanımı,
- kapiler su emme miktarı,
- birim hacim kütlesi,
- görünür boşluk oranı,
- aşınma dayanımı,
- donma-çözülme sonrası ağırlık kaybı
- donma-çözülme sonrası basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır.

3.2.1. Deney numunelerinin hazırlanması

Deneylerde kullanmak amacıyla hazırlanmış olan her beton bloktan, sulu kesim yoluyla, her iki gruptan 54 adet olmak üzere toplam 108 adet 10 cm çapında karotlar, TS EN 12504-1 standardına uygun olarak alınmıştır [64].

Karot numunelerinde üzerinde vakum etkisini görmek için numuneler sulu taş kesme makinesi ile istenilen boyutlara getirilmiştir. Deney özelliğine göre bir kısım numunelerin boyu 15 cm ve bir kısım numunelerin boyu 7,5 cm olacak şekilde kesilmiştir. Kesilen numunelerin karışmaması için anında numaralandırılmıştır. Numaralandırmada Vakumlu Beton için (VB), Referans Beton için (RB) harfi verilerek 1 den 9'a kadar rakamlar verilmiştir.

3.2.2. Basınç dayanımı tayini deneyi

Basınç dayanımı tayini deneyi için Şekil 3.1’de görülen tam boy numunelerden, her bir bloktan 9 adet olmak üzere toplamda 18 adet karot numune ve ayrıca vakum işleminin basınç dayanımına etkisini görebilmek için Şekil 3.1 deki alt ve üst numunelerden 9’ar adet olmak üzere toplamda 36 adet numune kullanılmıştır.

Numunelere deneyden önce başlık yapılmıştır. Basınç dayanımı tayini deneyi, karot numuneler üzerinde TS EN 12390-3 “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini” standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir [65]. Deneyde, 3000 kN yükleme kapasiteli, dijital kumanda üniteli ve yükleme hızı ayarlanabilen tek eksenli beton basınç test cihazı kullanılmıştır. Beton numunelerin yük altındaki boyuna ve enine deformasyonlarını belirlemek için komparatör düzeneği takılarak data logger ile 1 saniye aralıklarla yük, boyuna deformasyon ve enine deformasyon değerleri eş zamanlı olarak kayıt edilmiştir. Yük okumaları 200 ton kapasiteli yük hücresi kullanılarak ölçülmüştür (Resim 3.1). Kırılan karot numunelerin basınç dayanımlarının hesaplanmasında Eş. 3.1 kullanılmıştır.

$$f = \frac{F}{A_c} \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

f_c = Basınç dayanımı (N/mm²),

F = Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N),

A_c = Numunenin en kesit alanı, (mm²),

ifade etmektedir.



Resim 3.1. Beton basınç dayanımı deney aparatları

3.2.3. Statik elastisite modülü ve poisson oranı tayini deneyi

Statik elastisite modülü ve poisson oranı tayini deneyi, beton basınç dayanımı tayin edilirken kullanılan karot numuneler üzerinden kaydedilen, boyuna ve enine deformasyon değerlerinden yararlanılarak belirlenmiştir.

Statik elastisite modülü ve poisson oranı tayini deneyi, basınç dayanımı tayini deneyinde kullanılan karot numuneler üzerinde TS 3502 “Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir [66]. Statik elastisite modülünün hesaplanmasında Sekant yöntemi kullanılmıştır. Gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) grafiği üzerinde bir ucu 0 noktasında olan diğer ucu ise betonun maksimum gerilme değerinin %50’sine karşılık gelen gerilme değerinde olan doğrunun oluşturduğu eğim elastisite modülünün hesaplanmasında kullanılmıştır [7].

Elastisite modülünün hesaplanmasında Eş. 3.2 kullanılmıştır.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

E = Elastisite modülü (N/mm²),

σ = Gerilme değerinin % 50'si (N/mm²),

ε = %50'lik gerilmeye karşılık gelen birim deformasyonu ifade etmektedir.

Poisson oranının hesaplanmasında ise Eş. 3.3 kullanılmıştır.

$$\mu = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_e} \quad (3.3)$$

Eşitlikte;

μ = Poisson oranı,

ε_y = Eksenel yük nedeniyle oluşan yanal birim deformasyonu,

ε_e = Eksenel yük nedeniyle oluşan eksenel birim deformasyonu,

ifade etmektedir.

3.2.4. Yarmada çekme dayanımı tayini deneyi

Yarmada çekme dayanımı tayini deneyi için Şekil 3.1'de görülen tam boy numunelerden, her bir blok için 9 adet olmak üzere toplamda 18 adet karot numune kullanılmıştır.

Yarmada çekme dayanımı tayini deneyi, karot numuneler üzerinde TS EN 12390-6 "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini" standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır (Resim 3.2) [67].

Yarmada çekme dayanımının hesaplanmasında Eş. 3.4 kullanılmıştır.

$$f_{ct} = \frac{2.F}{\pi.L.d} \quad (3.4)$$

Eşitlikte;

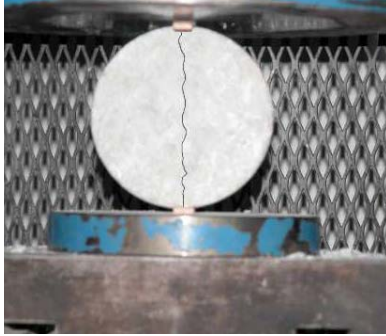
f_{ct} = Yarmada çekme dayanımı (N/mm²),

F = En büyük yük (N),

L = Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu (mm),

d = Numunenin seçilen en kesit boyutlarını (mm),

ifade etmektedir.



Resim 3.2. Yarmada çekme dayanımında numunelerin kırılma şekli

3.2.5. Karbonatlaşma derinliği tayini deneyi

Karbonatlaşma derinliği deneyi için Şekil 3.1’de görülen tam boy numunelerden her bir blok için 9 adet olmak üzere toplamda 18 adet karot numune kullanılmıştır.

Karbonatlaşma derinliğinin belirlenmesi deneyi, Baradan ve ark. [13]’de belirtildiği gibi yapılmıştır. 1 litre etil alkol içerisinde pH değeri 8,2-9,8 olan 1 gr Pheneolphtaleyn’in çözünmesiyle elde edilen çözelti kullanılmıştır.

Karbonatlaşma derinliği Eş 3.5 ile hesaplanabilir [68];

$$D = K\sqrt{t} \quad (3.5)$$

Eşitlikte;

D = Karbonatlaşma derinliği (mm),

$K \approx 4$ mm/yıl (sabit),

t = Karbonatlaşma süresi (yıl),

ifade etmektedir.

Düşük dayanımlı bir beton için K parametresi 3-4 mm/yıl^{0,5}’dan büyük bir değerdir. Ancak pratikte dış ortam koşullarının değişken olmasından dolayı bu bağıntıyı kullanmak pek mümkün değildir. En sağlıklı yöntem karbonatlaşma derinliğinin yerinde deneyle belirlenmesidir [2, 13].

3.2.6. Kapiler su emme miktarı tayini deneyi

Kapiler su emme deneyi Şekil 3.1’de görülen alt ve üst numunelerden, her bir blok için 9 adet olmak üzere toplamda 36 adet karot numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Kapiler su emme miktarı tayini deneyi, karot numuneler üzerinde TS 4045, “Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini” standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Resim 3.3) [69]. Numuneler sabit ağırlığa gelinceye kadar 105 °C $\pm$ 5’de hava sirkülasyonlu etüvde bekletilmiştir. Daha sonra numuneler 5 mm batacak şekilde saf su içerisine yerleştirilmiş ve 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 450, 480 dakikalık sürelerde, numunelerin yüzeylerindeki serbest su nemli bir bez ile alınarak, 0,01 gr hassasiyetle tartılarak kütle artışları belirlenmiştir. Numunelerin başlangıçtaki ağırlıklarına göre, ağırlık farkları hesaplanarak kapiler su emme değerleri belirlenmiştir.

Kapilarite katsayılarının hesaplanmasında Eş. 3.7 kullanılmıştır.

$$K = \frac{Q^2}{A^2 \cdot t} \quad (3.7)$$

Eşitlikte;

K = Kapilarite katsayısı (cm^2/sn),

Q = Kılcallık yoluyla emilen su miktarı (cm^3),

A = Suyla temas eden alan (cm^2),

t = Kılcal su emmenin tamamlandığı zamanı (sn),

ifade etmektedir.

3.2.7. Birim hacim kütlesi tayini deneyi

Birim hacim kütlesi tayini deneyi Şekil 3.1’de görülen alt ve üst numunelerden, her blok için 9 adet olmak üzere toplamda 36 adet karot numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Birim hacim kütlesi tayini deneyi, karot numuneler üzerinde, TS 12390-7 “Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini” standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [70].

Betonların yoğunluk değerlerinin hesaplanmasında Eş. 3.8 kullanılmıştır.

$$D = \frac{m}{V} \quad (3.8)$$

Eşitlikte;

D = Numunenin yoğunluğu (gr/cm^3),

m = Numunenin, deney esnasındaki durumuna bağlı kütlesi (gr),

V = Numunenin özel metotla tayin edilen hacmi (cm^3),

ifade etmektedir.

3.2.8. Görünür boşluk oranı tayini deneyi

Görünür boşluk oranı tayini deneyi Şekil 3.1’de görülen alt ve üst numunelerden, her blok için 9 adet olmak üzere toplamda 36 adet karot numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Görünür boşluk oranı tayini deneyi, karot numuneler üzerinde TS 3624 “Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu” standardında belirtilen esaslara uygun yapılmıştır [71].

Boşluk oranının hesaplanmasında Eş. 3.9 kullanılmıştır.

$$B_0 = \frac{C - A}{C - D} \cdot 100 \quad (3.9)$$

Eşitlikte;

B_0 = Görünür boşluk oranı (%),

C = Kaynatmadan sonraki doymuş kuru yüzey ağırlığı (gr),

A = Etüv kurusu ağırlığı (gr),

D = Kaynatmadan sonraki sudaki ağırlığı (gr),

ifade etmektedir.

3.2.9. Aşınma dayanımı tayini deneyi

Aşınma dayanımı tayini deneyi Şekil 3.1’de görülen alt ve üst numunelerden, her blok için 9 adet olmak üzere toplamda 36 adet karot numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Aşınma dayanımı tayini deneyi, karot numuneler üzerinde ASTM C 944-99 “Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by

the Rotating-Cutter Method” standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [72].

Numuneler 197 N’luk kuvvet oluşacak şekilde ağırlık altında 200 devir/dakika hızında dönen aşındırıcılara 2, 4, 6, 8, 10 dakika boyunca maruz bırakılmıştır (Resim 3.4). Deney sonunda numunelerdeki kütlece ağırlık kayıpları ölçülerek sonuçlar “% ağırlık kaybı” olarak hesaplanmıştır.



Resim 3.3. Aşınma dayanımı deney cihazı ve aşındırma aparatı

3.2.10. Donma-çözülme tayini deneyi

Donma-çözülme tayini deneyi Şekil 3.1’de görülen alt ve üst numunelerden, her blok için 9 adet olmak üzere toplamda 36 adet karot numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Donma-çözülme tayini deneyi, karot numuneler üzerinde TS3449 “Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Dayanıklılık Tayini” standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır [73].

3.3. Araştırma Materyalinin İklim Verileri

Araştırma blokları 6 yıl boyunca ortalama 26,43 °C en yüksek sıcaklığa maruz kalırken, en düşük sıcaklık ortalaması -0,8 °C olmuştur. Bloklar yıllık bazda en yüksek ortalama yağış toplamı m²'ye 32 lt olmuştur. Çizelge3.1'de görüldüğü gibi yıllara göre aylık bazda çok değişik sıcaklık farkı ortaya çıkmıştır.

Çizelge 3.1. Ankara ili yıllık iklim verileri

Aylar	En yüksek sıcaklık (°C)							En düşük sıcaklık (°C)							Toplam yağış (lt/m ³)						
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Ocak		15,0	10,1	10,3	11,7	16,4	11,5		-7,2	-14,0	-3,6	-13,0	-5,4	-18,9		6,8	29,8	42,0	46,1	19,3	35,5
Şubat		17,4	16,8	12,4	19,1	13,7	14,6		-5,1	-4,3	-8,8	-13,4	-9,2	-14,0		43,0	11,8	54,6	18,3	27,4	67,2
Mart		25,7	22,8	16,2	23,0	20,1	22,2		-0,6	-2,0	-8,6	-7,0	-6,6	-5,2		32,8	23,0	8,6	13,0	67,6	40,4
Nisan		26,4	22,0	22,2	28,4	28,2	23,5		2,2	-1,6	-2,4	-4,4	-4,2	-1,4		27,3	101,1	70,3	38,0	78,6	29,4
Mayıs		29,0	28,5	29,8	27,2	30,5			5,8	6,3	7,6	4,4	1,8			110,0	38,7	18,0	33,8	86,7	
Haziran		35,1	35,0	32,1	31,0	32,2			5,8	7,7	9,3	7,2	7,6			0,0	29,0	0,0	25,6	37,1	
Temmuz		38,1	36,3	37,0	36,0	35,2			12,8	12,4	12,4	11,8	12,8			2,5	35,3	3,0	6,2	11,9	
Ağustos		36,3	38,2	36,2	35,4	37,2			9,6	11,2	12,8	12,2	15,0			19,3	6,6	0,2	12,6	0,1	
Eylül		32,0	30,4	35,0	32,0	29,2			7,3	7,0	6,8	4,2	9,0			13,0	54,7	15,1	2,7	42,6	
Ekim		29,0	27,5	31,0	27,2	24,2			-1,8	-1,4	-2,1	4,0	-0,6			1,0	22,7	29,8	10,9	28,0	
Kasım	21,2	20,2	20,0	22,8	24,4	17,6		-2,0	-6,5	-1,8	-2,0	-5,8	-4,8		7,4	64,8	19,0	5,2	35,2	48,1	
Aralık	13,0	13,0	14,9	13,9	13,4	17,6		-9,2	-9,2	-14,6	-5,6	-9,8	-10,0		31,0	31,0	16,2	61,5	8,7	14,4	
Yıllık Ortalama	17,1	26,43	25,21	24,91	25,73	25,18		-5,6	1,09	0,41	1,32	-0,8	0,45		19,2	29,29	32,33	25,69	20,93	38,48	

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

66 Ay sonunda tam boy VB ve RB numunelerine uygulanan deneylerin sonuçları Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Tam boy karot numunelere uygulanan deney sonuçları

Numune Türü	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Poisson Oranı	Yarmada Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Karbonatlaşma Derinliği (mm)
RB	29,71	32097	0,221	6,81	7,16
VB	38,33	37414	0,203	8,43	2,8

Aynı süre sonunda üst ve alt karot numunelere uygulanan deneyler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

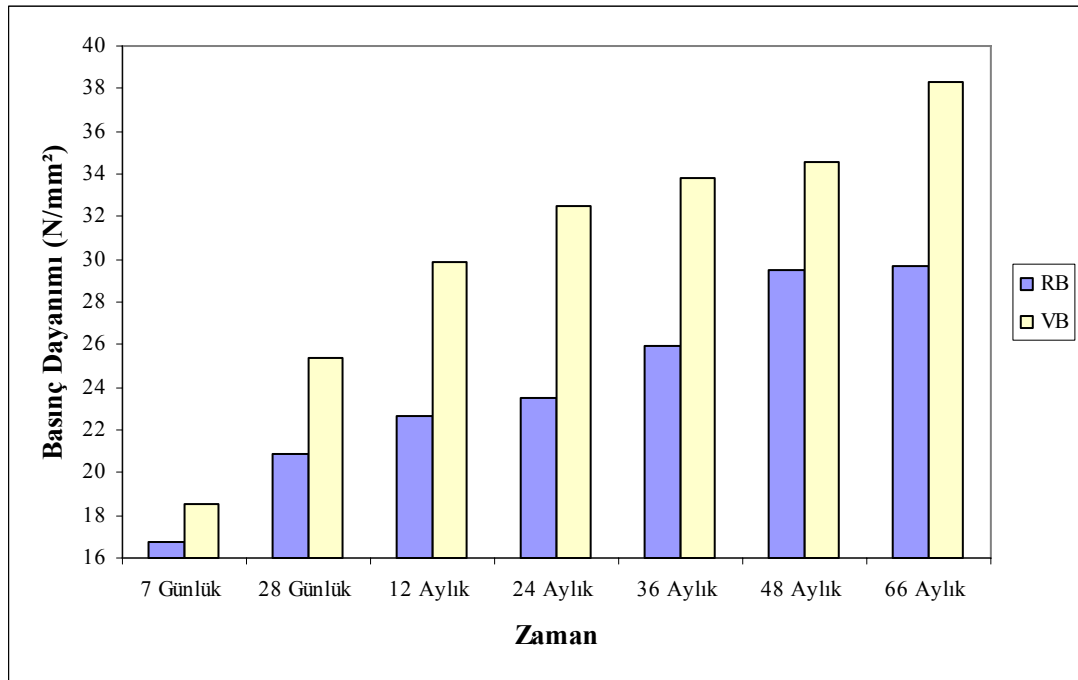
Çizelge 4.2. Üst ve alt karot karot numunelere uygulanan deney sonuçları

	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Kapiler Su Emme Değeri (%)	Kapilarite Katsayısı (cm ² /sn)	Birim Hacim Kütlesi (gr/cm ³)	Görünür Boşluk Oranı (%)	Aşınmadan Sonra Toplam Ağırlık Farkı (%)	Donma Çözülmeden Sonra Ağırlık Farkı (%)	Donma Çözülmeden Sonra Basınç Dayanımı (N/mm ²)
RB Üst	29,22	3,21	8,83 x 10 ⁻⁶	2,13	17,15	0,614	5,31	24,30
RB Alt	29,83	2,94	7,46 x 10 ⁻⁶	2,15	16,38	0,569	4,76	25,71
VB Üst	37,83	2,63	6,11 x 10 ⁻⁶	2,17	15,74	0,444	4,00	27,77
VB Alt	34,55	2,71	6,45 x 10 ⁻⁶	2,16	16,10	0,529	4,28	26,70

4.1. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı deneyine ait deneysel bulgular Çizelge 4.1’de verilmiştir.

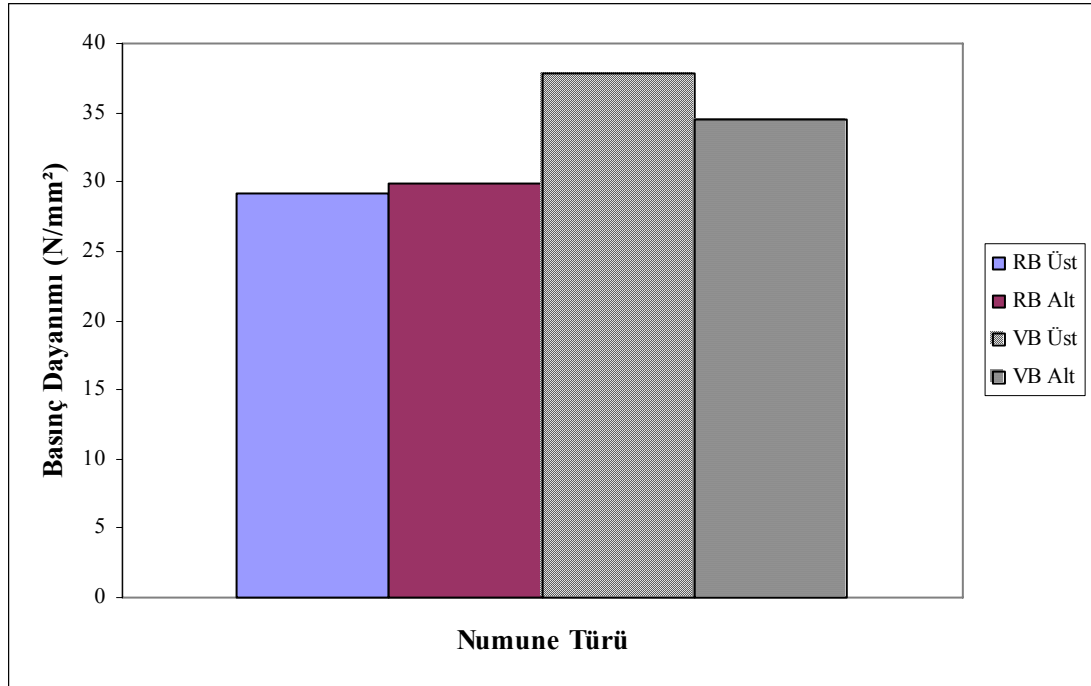
Yıllara bağlı olarak gelişmeleri görmek için, deney bulguları daha önceki yıllara ait verilerle beraber Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.1 incelendiğinde, tam boy örneklerde zamana bağlı olarak beton basınç dayanım artışı görülmektedir. 48 Aylık dayanıma göre 66 Aylık basınç dayanımının artış oranı, RB’da % 0,71 iken, VB’da bu oran % 10,94 olduğu görülmüştür. VB’daki bu artış oranı, dış hava şartlarından daha az etkilenmesi ile bağlantılıdır. Çizelge 3.1’den son iki yılın iklim verileri incelendiğinde beton üzerinde çok etkili olabilecek sıcaklık farkları görülmektedir.



Şekil 4.1. Tam boy karot numunelere ait basınç dayanımı-zaman ilişkisi [74, 75]

Tam boy örneklerde vakum etkisini görmek için üst ve alt olarak ikiye ayrılmış ve ayrı ayrı incelenmiştir. Bu üst ve alt örneklerin basınç dayanımları Şekil 4.2’de görüldüğü gibi VB Üst’ün, VB Alt’a oranla % 9,5 oranında daha yüksek sonuç verdiği görülmektedir. Bu da vakum işleminin uygulandığı betonun üst kısmına daha

fazla etki ettiği, alt kısmına ise daha az ulaşmakta olduğunu göstermektedir. Ancak VB Alt ile RB Alt dikkate alındığında VB Alt, RB Alt'a oranla % 15,8 daha yüksek sonuç verdiği görülmüştür. Bu da bize vakum etkisinin alt tabakaya kadar ulaştığını ancak üst bölgede etkinin daha fazla olduğunu göstermektedir.

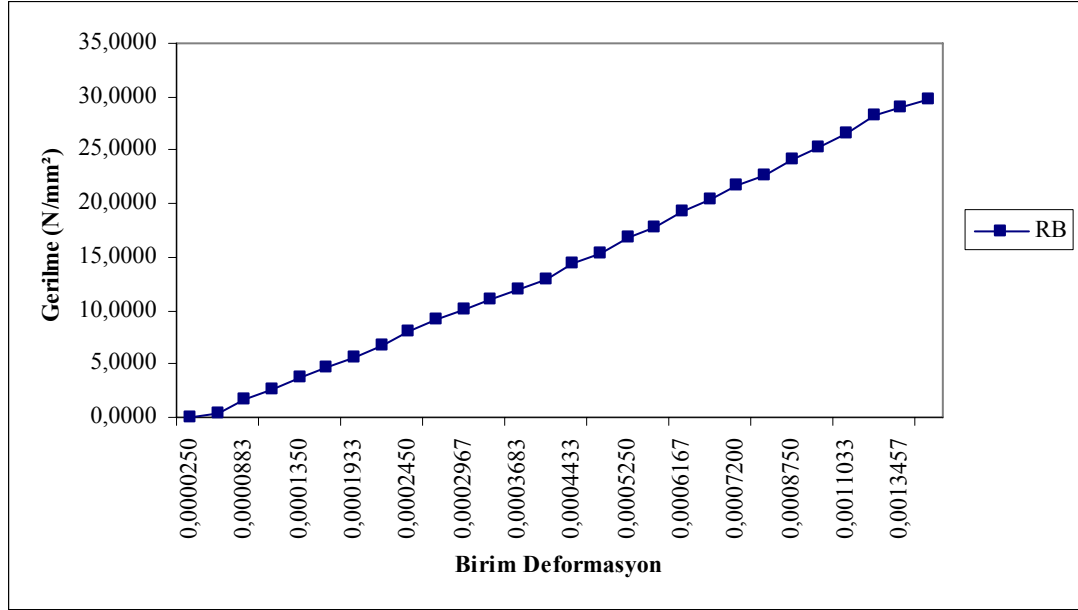


Şekil 4.2. Üst ve alt karot numunelere ait basınç dayanımları

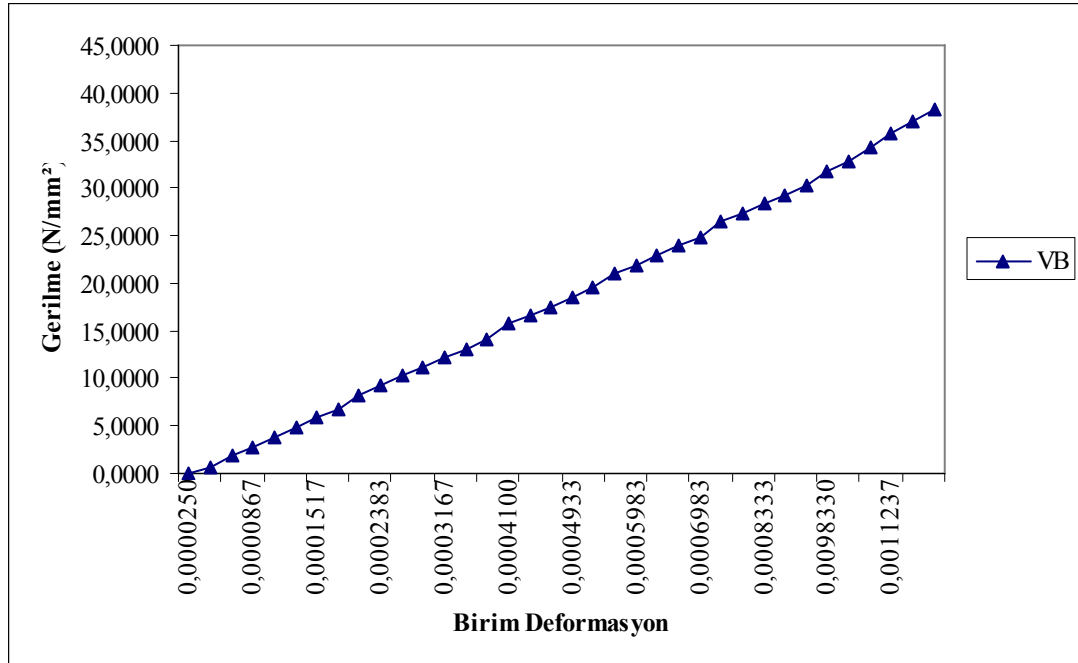
4.2. Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı

Statik elastisite modülü ve poisson oranı tayini deneyine ait deneysel veriler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Yapılan araştırmalara göre betonun basınç dayanımına paralel olarak elastisite modülü artmaktadır. Şekil 4.3 ve 4.4'te RB ve VB numunelere ait örnek gerilme birim deformasyon eğrileri verilmiştir. VB numunelerinin statik elastisite modülü RB numunelerine göre % 16,6 oranında daha yüksek sonuç verdiği görülmektedir.

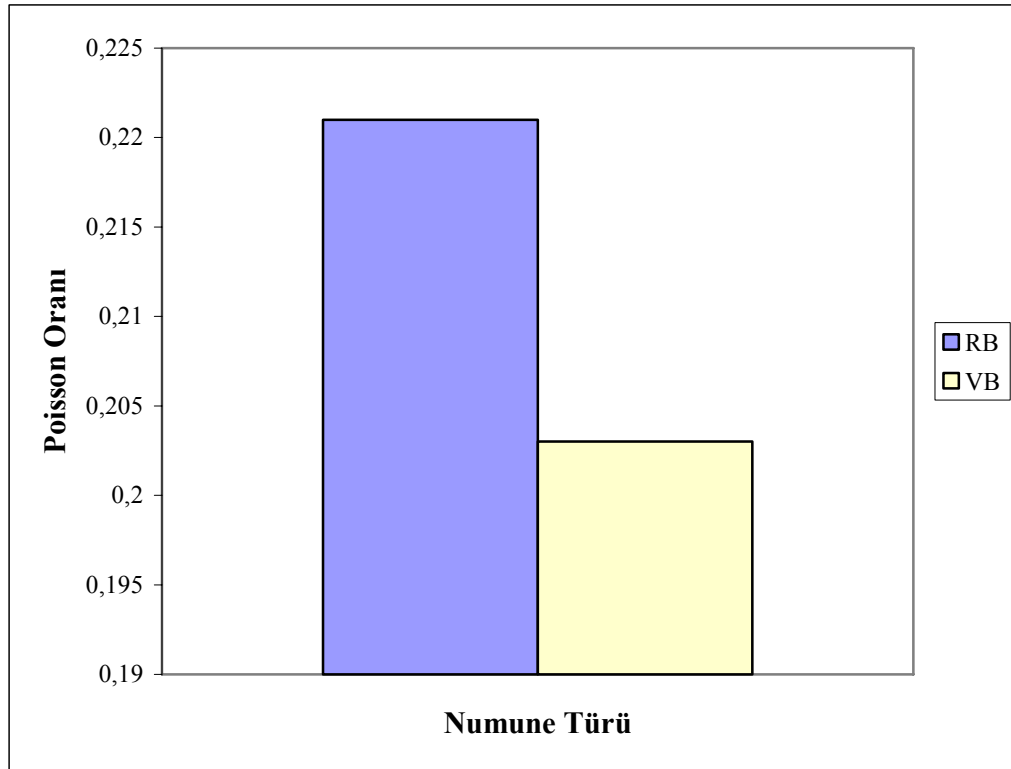


Şekil 4.3. RB karot numunelere ait gerilme-birim deformasyon eğrileri



Şekil 4.4. VB karot numunelere ait gerilme-birim deformasyon eğrileri

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi betonların poisson oranı basınç dayanımı ile ters orantılıdır. RB numunelerinin poisson oranı VB numunelerine göre % 8.7 oranında yüksek sonuç vermektedir.



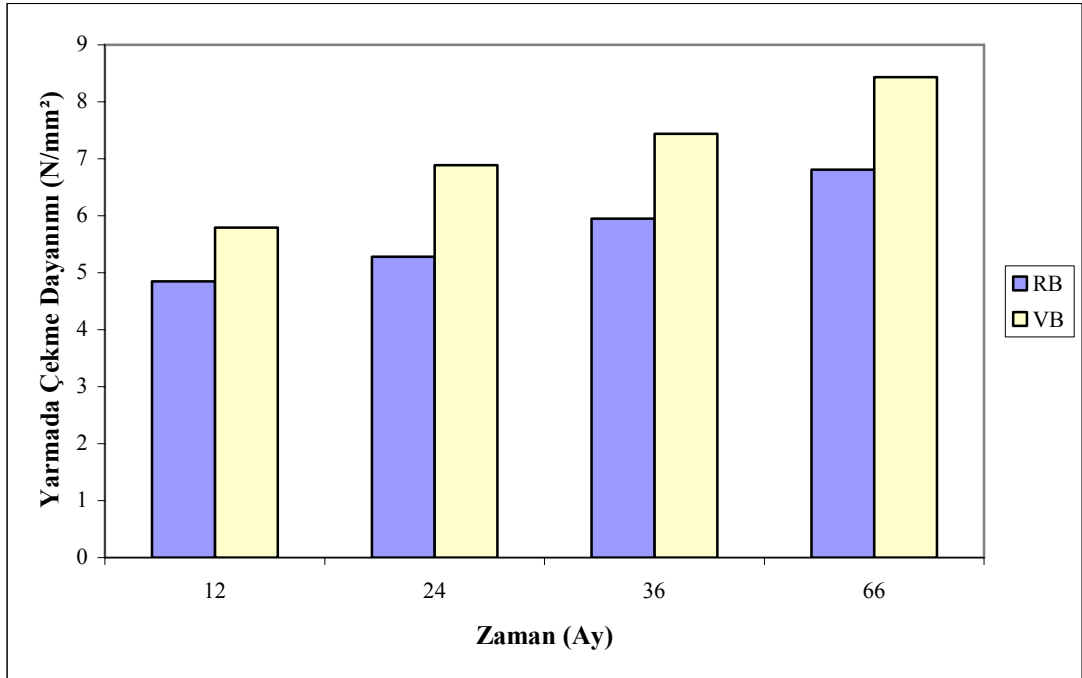
Şekil 4.5. Karot numunelere ait poisson oranları

4.3. Yarmada Çekme Dayanımı

Yarmada çekme dayanımı deneyine ait deneysel bulgular Çizelge 4.1'de ve daha önceki yıllara ait veriler Şekil 4.5'te verilmiştir.

Şekil 4.6 incelendiğinde, zamana bağlı olarak yarmada çekme dayanımı artışı görülmektedir. 36 aylık dayanıma göre 66 Aylık yarmada çekme dayanımının artış oranı, RB'da % 14,45 iken, VB'da bu oran % 13,31 olduğu görülmüştür. VB'da bu artış oranının düşük olduğu söylenebilir. Ancak 66 aylık sonuçlara bakıldığında

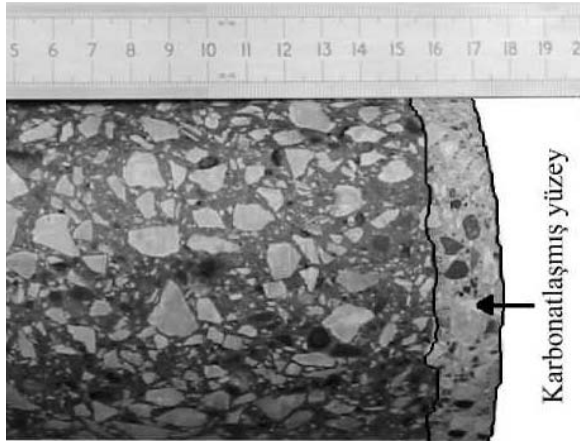
VB'un yarmada çekme dayanımı RB'a göre % 23,8 oranında daha yüksek sonuç verdiği görülmektedir.



Şekil 4.6. Karot numunelere ait yarmada çekme dayanımı-zaman ilişkisi

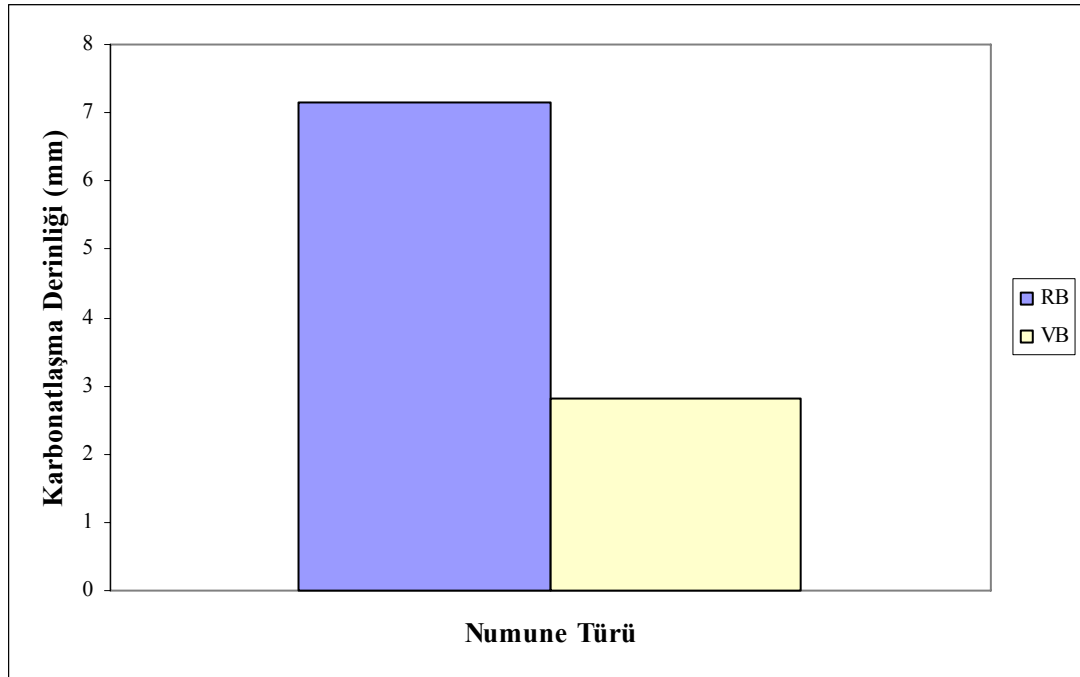
4.4. Karbonatlaşma Derinliği

Betondan alınmış karot numuneler üzerine, baz indikatörü püskürtülmesiyle ortaya çıkan renk değişimi ile karbonatlaşma saptanır. Beton yüzeyine püskürtülen baz indikatörü, pH değeri 11-12,5 olan karbonatlaşmamış betonu koyu pembe renge dönüştürür. Karbonatlaşma sonucu pH değeri 8-9'a düşmüş beton, renk değişimi göstermemektedir (Resim 4.1) [13, 76]. Hazırlanan çözelti beton karotlar üzerine püskürtülerek beton yüzeyinden itibaren her bir karot örnek çevresinden kumpas yardımı ile 0,1mm hassasiyette, üstten 12 adet derinlik ölçümü yapılmıştır. Bu değerlerin ortalaması alınarak her bir karot numune için karbonatlaşma derinliği değerleri belirlenmiştir [77]. Karbonatlaşma derinliği deneyine ait deneysel veriler Şekil 4.7'de verilmiştir.



Resim 4.1. Yüzeyine fenolfetalin çözeltisi püskürtülmüş beton

Betonun alt kısmında havayla temas etmediği için karbonat etkisi görülmemiştir. Üst kısmında karbonatlaşma derinliği, RB’da 7,16 mm iken VB’da ise 2,8 mm olduğu Şekil 4.7’de görülmektedir. Vakum etkisi ile karbondioksitin betona nüfuzu (beton içinde ilerlemesi) azalmaktadır. Bu nedenle, karbondioksitin etkisiyle betonun bozulması önlenecektir.



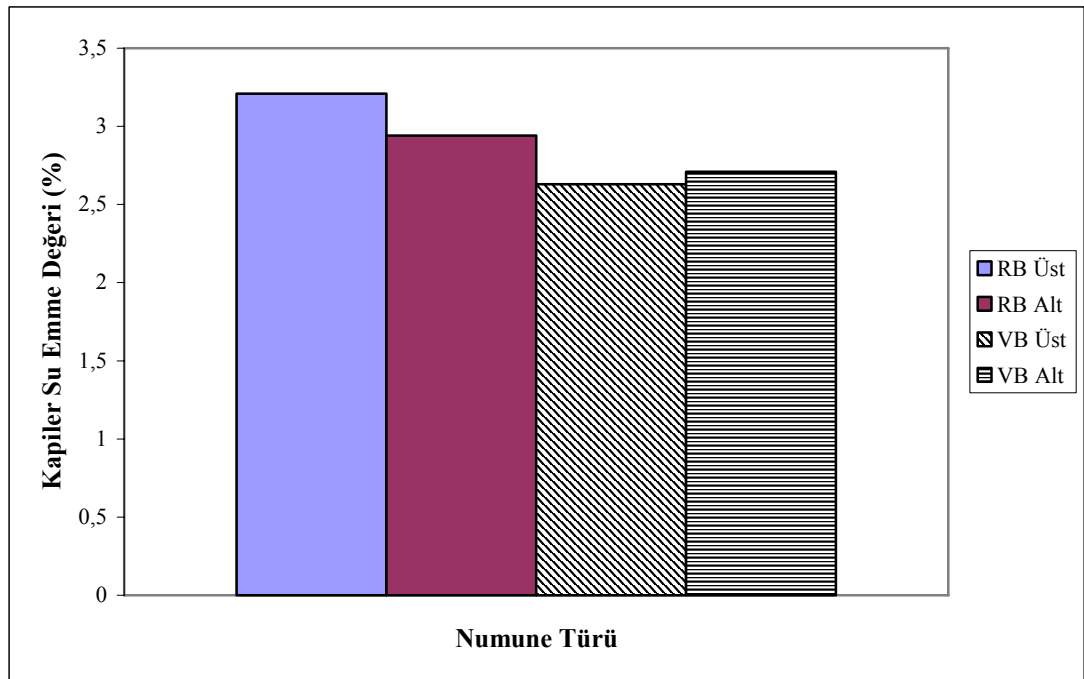
Şekil 4.7. Karot numunelere ait karbonatlaşma derinlikleri

CO₂'in yoğun olduğu yerlerde bu tip beton kullanılmasının daha yararlı olacağı söylenebilir. Literatürlere göre karbondioksit dayanıklı betonlar, karbonmonoksit de dayanıklı olacaktır. Karayollarında bu tip betonlar kullanılabilir. Bu özelliğinden dolayı karayolları, havaalanı vb. yerlerde, rahatlıkla kullanılabileceği söylenebilir.

4.5. Kapiler Su Emme Miktarı

Kapiler su emme miktarı tayini deneyine ait deneysel veriler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

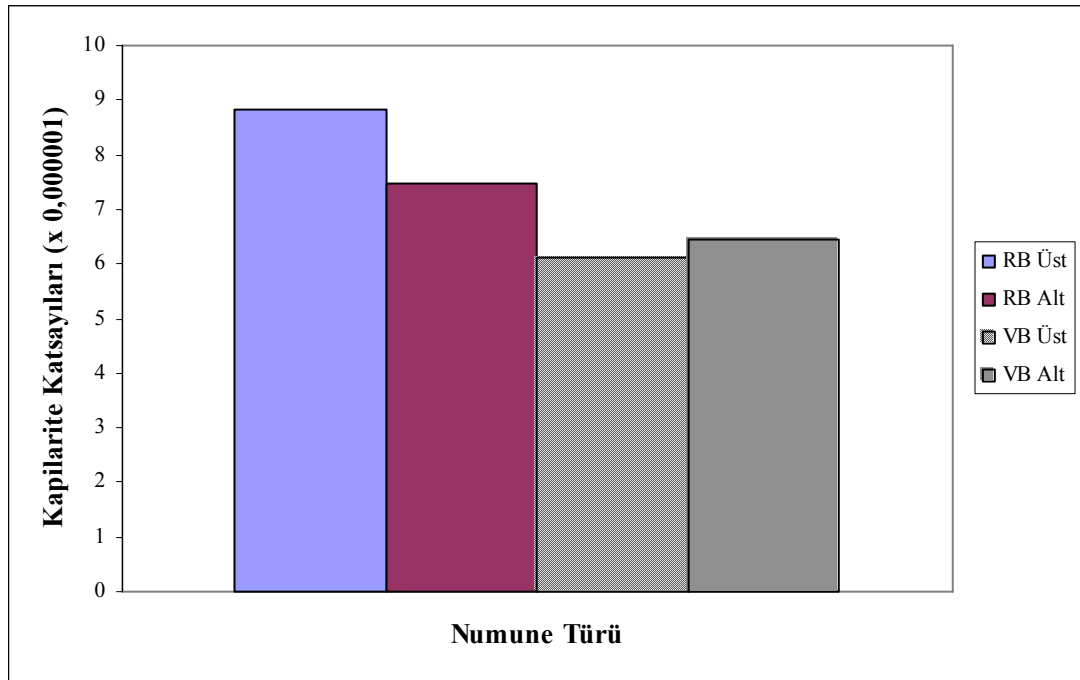
Şekil 4.8'de görüldüğü gibi betonun su emme değeri ile boşluk arasında doğrusal bir ilişki olduğu söylenebilir. VB Üst'ün su emme değeri, RB Üst'e oranla % 22,1 düşük çıkması bunu göstermektedir.



Şekil 4.8. Karot numunelere ait su emme deney sonuçları

Betonun kapilarite katsayısı ile boşluk arasında bir ilişki olduğu söylenebilir. Yine boşluk oranı ile basınç dayanımı arasında da ters ilişki vardır. RB Üst'ün kapilarite

katsayısı, RB Alt'a oranla % 18,4 oranında daha fazladır (Şekil 4.9). Bunun nedeni taze betonun sertleşmeye geçişteki tane ve su hareketi ile ilgilidir. Bilindiği üzere taze beton döküldükten sonra yoğunluğu büyük olan bileşenler yer çekiminin etkisiyle aşağıya yönelirken hava ve su yukarı (üst yüzeye) yönelmektedir. Yukarı yönelen hava ve suyun bir kısmı dışarı çıkarken bir kısmı yüzeye yakın bir yerde kalmaktadır. Bu da betonun üst kısmının gözenekli olmasına ve kapiler boşluk oluşmasına neden olmaktadır. Bu olay vakum işlemi uygulanan betonda görülmemektedir. Dolayısıyla vakum uygulandığında betonun içindeki hava ve serbest su kontrollü olarak alındığında kapilarite katsayısı daha düşük olmaktadır.



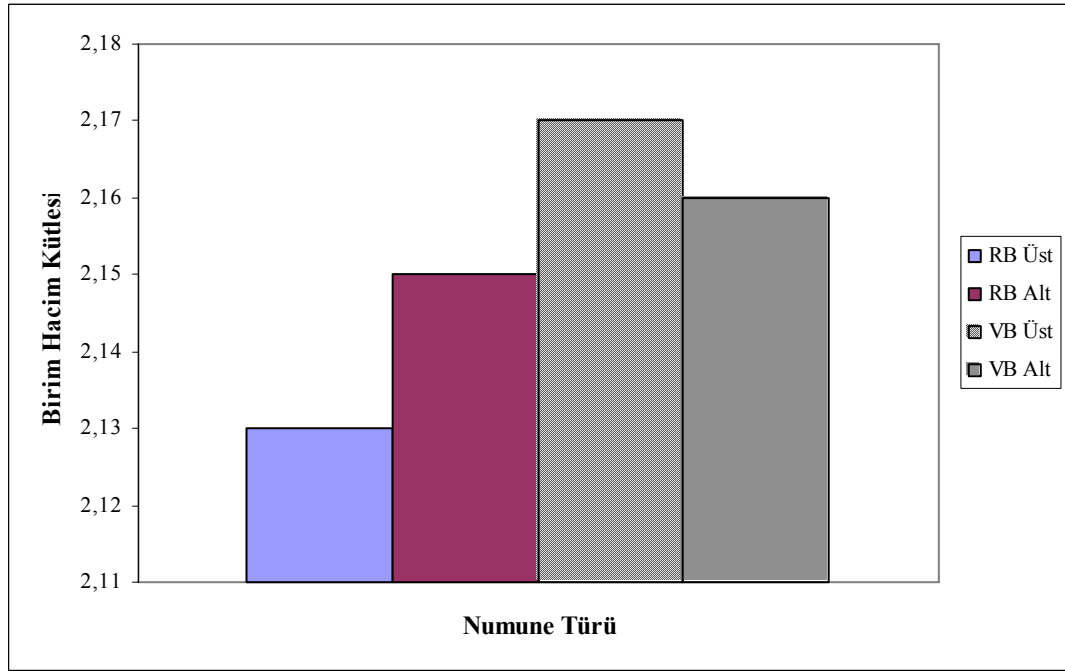
Şekil 4.9. Karot numunelere ait kapilarite katsayıları

4.6. Birim Hacim Kütlesi

Birim hacim kütlesi deneyine ait deneysel veriler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Şekil 4.10 incelendiğinde VB Üst’ün, RB Üst’e oranla % 1.88 oranında daha yüksek sonuç verdiği ayrıca VB Üst’ün, VB Alt’a oranla % 0,5 oranında daha yüksek sonuç

verdiği görülmüştür. Buradan vakum işleminin kompasiteyi artırdığı için birim hacim kütlelerinin yükseldiği sonucuna varmak mümkündür. Dolayısıyla vakum işlemi, beton içindeki boşluğu en aza indirmektedir.



Şekil 4.10. Karot numunelere ait birim hacim kütleleri

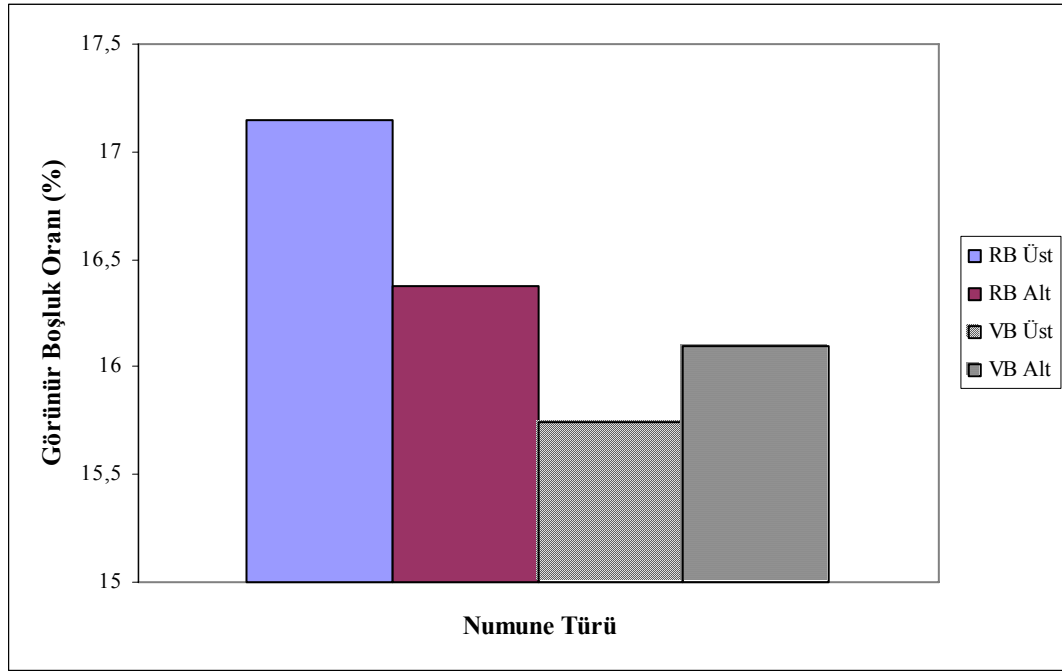
4.7. Görünür Boşluk Oranı

Görünür boşluk oranı tayini deneyine ait deneysel veriler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Şekil 4.11 incelendiğinde RB Üst’ün görünür boşluk oranı değeri, VB Üst’e oranla % 8,96 daha yüksek çıktığı ve VB Üst’ün VB Alt’a oranla % 2,29 oranında daha yüksek sonuç verdiği görülmektedir. Bu da vakum etkisinin vakumlu betonun üst kısmına daha fazla nüfuz ettiğinin ancak referans betona nazaran alt kısmın da, daha iyi sonuç verdiğinin bir göstergesidir.

Birim hacim kütle ile görünür boşluk oranı arasında ters orantı vardır. Birim hacim kütleleri fazla olan bir malzemenin, boşluk oranı az olduğu bir çok bilim adamı

tarafından belirtilmektedir. Bu araştırmada birim hacim kütlesi en yüksek olan VB Üst'ün görünür boşluk oranı en düşüktür. RB Üst'ün birim hacim kütlesi en düşük ve boşluk oranı ise en yüksektir.



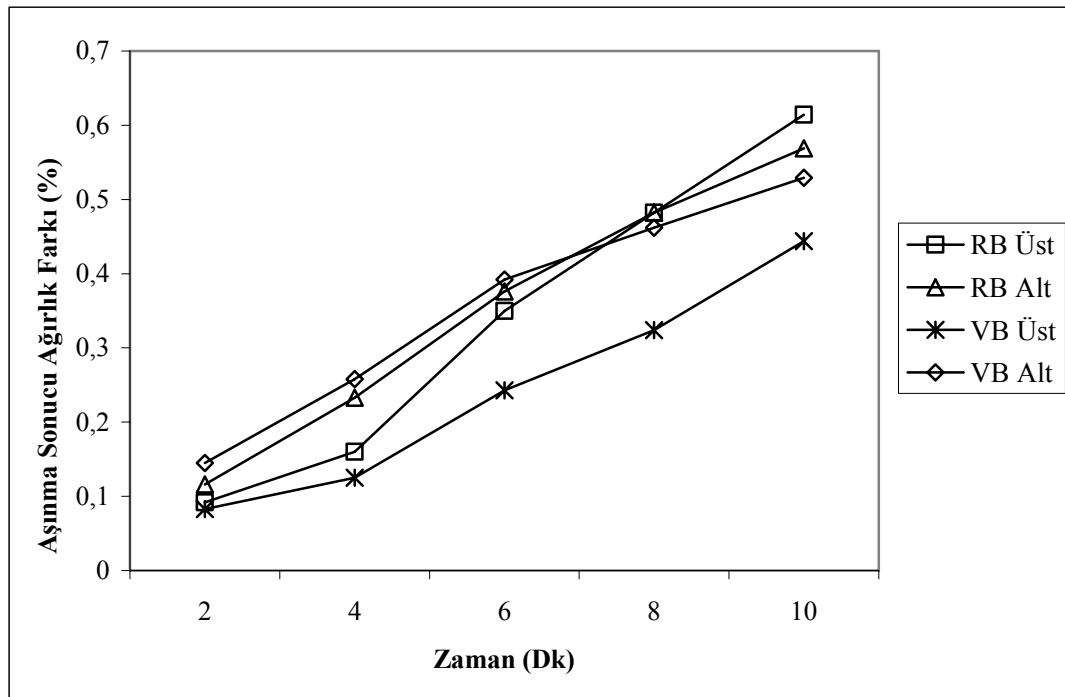
Şekil 4.11. Karot numunelere ait görünür boşluk oranları

4.8. Aşınma Dayanımı

Aşınma dayanımı deneyine ait deneysel veriler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

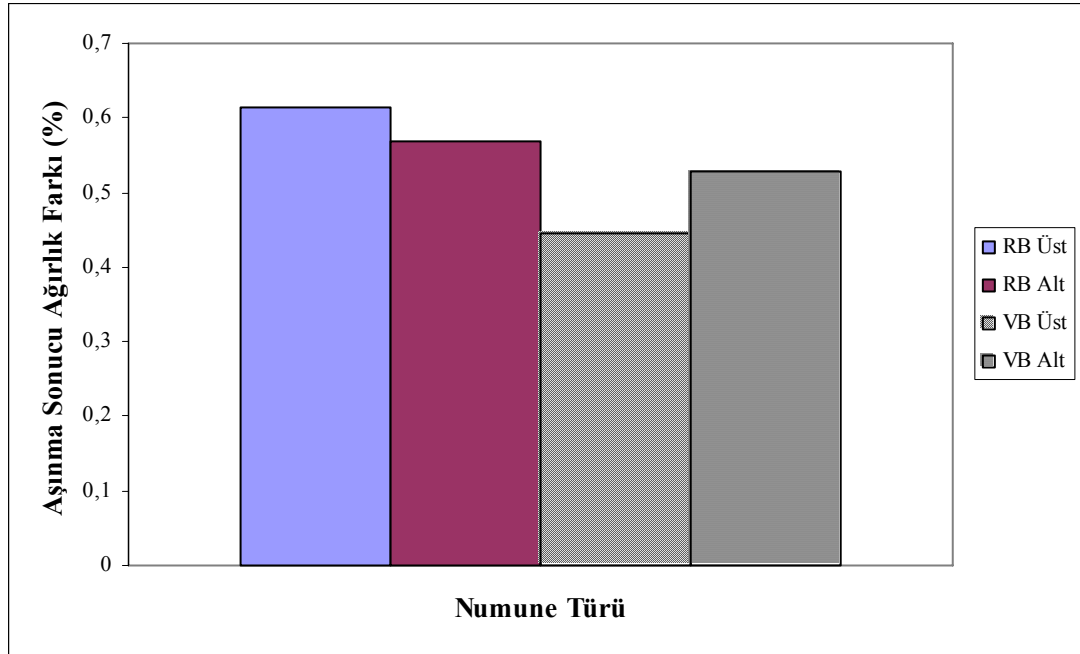
Şekil 4.12 incelendiğinde RB Üst'ün 2 dakikalık aşınma kaybı % 0,092 olurken, VB Üst'te % 0,083 olmuştur. RB Üst'te ağırlık kaybı % 10.8 daha fazladır. Sonuçların birbirine yakın çıkmasının nedeni; vakum etkisi sonucu ince malzemenin su ile birlikte üst yüzeye çıkmasından dolayı üst kısmının aşınma miktarının artmasıdır. Çünkü ince malzeme (kum ve çimento tanecikleri) miktarı daha fazla olması, betonun tırnakla kolay aşınmasına sebep olmaktadır. Aynı tabakanın aşınma süresi arttıkça aşınma kaybı azalmaktadır. Bunun nedeni betonun iç derinliklerinde iri agregaya rastlanması ve iri agreganın aşınma direnci arasındaki ilişki olarak

belirtilebilir. Ayrıca çimento hamurunun agregayı iyi sarmasından kaynaklandığında düşünülebilir. Küçük agrega tanelerinin bazı numunelerde aşındırma aletinin aşındırıcı tırnaklarının etkisi ile yerinden çıktığı gözlemlenmiştir. Toplam fark'a bakıldığında bu daha net anlaşılmaktadır. Toplam bazda RB Üst'ün ağırlık kaybı % 0,614 iken VB Üst'ün ağırlık kaybı % 0,444 olduğu görülmektedir.



Şekil 4.12. Karot numunelere ait aşınma sonucu ağırlık farkları

Şekil 4.13'e bakıldığında RB Üst'ün VB Üst'e oranla % 38,3 oranında yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum vakumlu betonun uzun yıllar sonunda geleneksel betona oranla daha az yıprandığının açık bir göstergesidir.

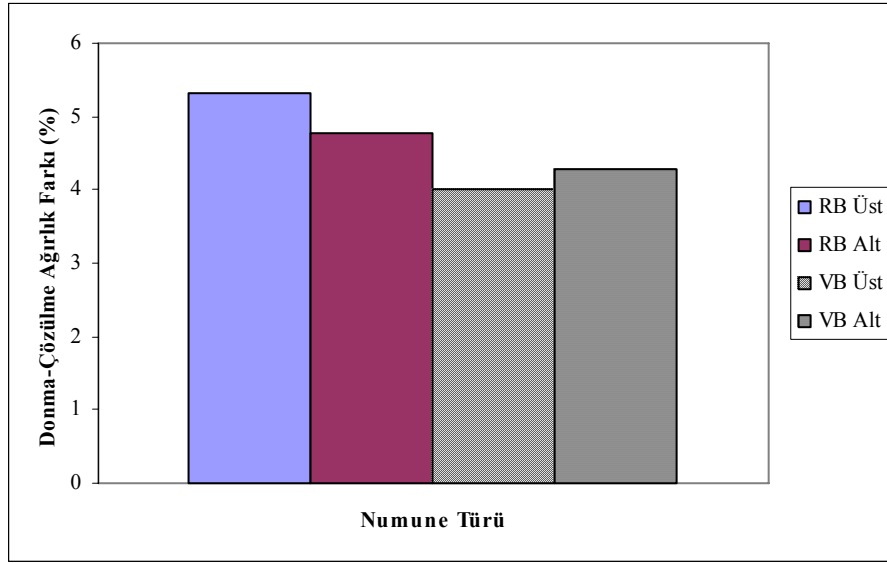


Şekil 4.13. Karot numunelere ait aşınma sonucu toplam ağırlık farkları

4.9. Donma-Çözülme Dayanımı

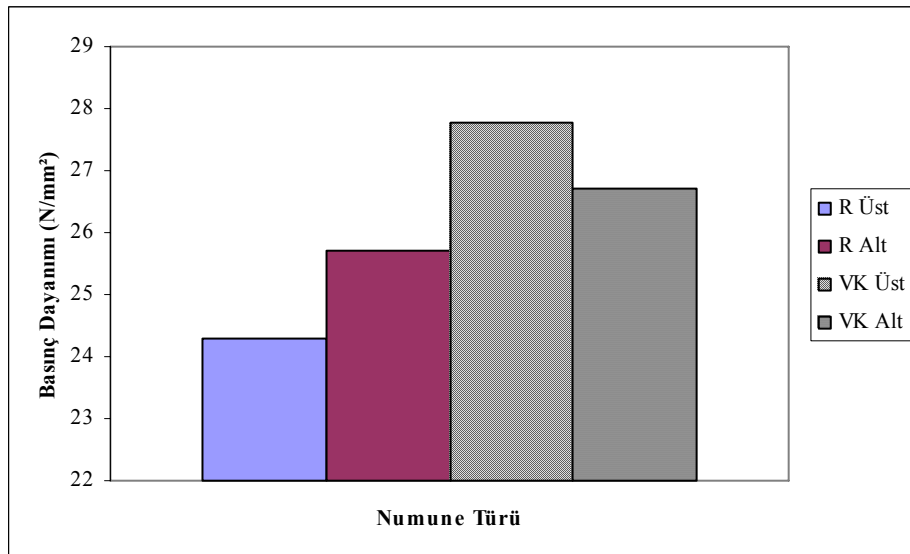
Donma-çözülme tayini deneyinde, numunelere uygulanan 60 çevrim sonucunda ulaşılan deneysel veriler Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te verilmiştir.

Şekil 4.14 incelendiğinde RB Üst'ün, VB Üst'e oranla donma çözülme deneyi sonucunda % 32,75 oranında daha fazla ağırlık kaybı olduğu görülmektedir. Bu da bize vakum uygulamasının deney numuneleri üzerinde kompasiteyi artırdığından dolayı daha dayanıklı bir beton haline geldiğini göstermektedir. VB Üst ile VB Alt arasında % 7'lik bir fark olduğu görülmektedir. Bu ise vakum uygulamasının beton blokların üst kısımlarında daha etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.14. Karot numunelere ait donma-çözülme sonu ağırlık farkları

Şekil 4.15 incelendiğinde, donma-çözülme deneyinde, numunelere uygulanan 60 çevrim sonucunda, VB Üst'ün, RB Üst'e oranla basınç dayanımı deneylerinde % 14,3 oranında daha yüksek sonuç verdiği görülmektedir. Bu da bize donma-çözülmenin sık tekrarlandığı bölgelerde vakum teknolojisinin daha faydalı sonuçlar vereceğini göstermektedir.



Şekil 4.15. Karot numunelere ait donma-çözülme sonu basınç dayanımları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneylerde elde edilen veriler üzerinde yapılan çalışmalar sonucu;

- VB'un basınç dayanımı değerlerinin 66. ayda 48. aya göre % 10,94 oranında arttığı, VB Üst'ün, VB Alt'a oranla % 9,5 daha dayanıklı olduğu,
- statik elastisite modülü deneyi sonucunda VB'un, RB'a oranla % 16,6 oranında yüksek sonuç verdiği, poisson oranı değerlerinin RB'un VB'a oranla % 8.7 oranında düşük sonuç verdiği,
- VB'un yarmada çekme dayanımı değerlerinin 66. ayda 36. aya göre % 13,31 oranında arttığı, VB'nin RB'ye oranla % 23,8 oranında daha yüksek sonuç verdiği,
- VB'un karbonatlaşma derinliği değerlerinin 66. ayda 2,8 mm olan değer, RB'da 7,16 mm olduğu,
- kapiler su emme değerlerinin VB Üst'ün RB Üst'e oranla % 22,1 daha düşük olduğu, VB Üst'ün kapiler su emme değerinin, VB Alt'a oranla % 3,1 daha düşük olduğu,
- VB Üst'ün kapilerite katsayısı $6,11 \times 10^{-6}$ olarak en düşük değer olduğu, birim hacim kütlesi değerlerinin, VB Üst'ün RB Üst'e oranla % 1,88 daha yüksek olduğu,
- VB Üst'ün birim hacim kütle değerinin 2,16 olarak en yüksek değer olduğu,
- görünür boşluk oranı değerlerinin, RB Üst'ün, VB Üst'e oranla % 8,96 daha yüksek olduğu, VB Alt'ın görünür boşluk oranı değerinin, VB Üst'e oranla % 2,29 daha yüksek olduğu,
- aşınma dayanımı değerlerinin, RB Üst'ün VB Üst'e oranla % 38,3 daha fazla aşındığı,
- donma-çözülme sonu ağırlık kaybı değerlerinin RB Üst'ün, VB Üst'e oranla % 32.75 oranında daha fazla olduğu,
- donma-çözülme sonu basınç dayanımlarında ise VB Üst'ün RB Üst'e oranla % 14,3 oranında daha yüksek olduğu,
- bütün deneylerde, deney sonuçlarının beton türüne ve numunelerin üst ve alt parçalarına göre değişiklik gösterdiği görülmüştür.

Ayrıca vakum işleminin beton blokların alt kısımlarına kadar ulaştığı ancak üst kısımlarda daha etkili olduğu, vakum uygulamak suretiyle kompasitenin arttığı ve dürabilite tesirlerine daha dayanıklı, hizmet ömrü daha uzun bir beton elde edildiği görülmüştür. Bu sebeplerden dolayı akaryakıt istasyonlarında, hava alanlarında, karayollarında ve saha betonlarında kesinlikle vakumlu beton kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Akman, S., “Binaya Uygun Beton Üretimi Ve Seçiminde Kriterler”, **TMMOB Mimarlar Odası, İstanbul Büyükkent Şubesi, Yapı Malzemesi ve Deprem Semineri Bildiriler Kitabı**, 14-16 Mart, İTÜ, Taşkışla, İstanbul, 65-72 (2001).
2. Erdoğan, T. Y., “Beton”, **METU Press**, I. Baskı, Ankara, 361, 652-695 (2003).
3. Şimşek, O., “Beton ve Beton Teknolojisi”, **Seçkin Yayınevi**, Ankara, 67-70 (2004).
4. Yeğinobalı, A., “Betonun Dayanıklılığı-I”, **Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü Seminer Notları**, Ankara, 1-21 (1999).
5. Ekinci, C., E., “Bordo kitap”, **Üniversite Kitap Evi**, Elazığ, 405-432 (2004).
6. Beton Teknik A.Ş. “Vakumlu Beton Tanıtım Kitapçığı”, Ankara, 1-30 (2000).
7. Neville, A. M., “Properties of concrete”, Fourth and Final Edition, **Pearson Prentice Hall**, England, 303-306, 391-394, 504-505, 581-585, 605-609, 610-624 (2003).
8. Çetmeli, E., “Vacuum Processed Concrete” **Proceeding of the First International Conference on Concrete Technology for Developing Countries**, Ürdün, 1-30 (1985).
9. Özdemir, Ö., “Experimental Study on Vacuum processed concrete for floor constructions”, **Industrial Floor Symposium**, Almanya, 1-30 (1999).
10. Şimşek, O., “Yapı Malzemesi-II”, **Ankara Üniversitesi Basımevi**, Ankara, 1-30 (2000).
11. Bolat, H., “Vakumlu Betonun Basınç Dayanımı Üzerine Bir Araştırma”, **Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-62 (2002).
12. Özdemir, Ö., “Vakumlu Beton”, **DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı**, Ankara, 1-30 (1992).

13. Baradan, B., Yazıcı, H. ve Ün, H., “Betonarme yapılarda kalıcılık (Durabilite)”, **D.E.Ü. Müh. Fak. Yayınları, I.Basım, Yayın No:298**, İzmir, 1-3, 67-73, 49-153, 158-170, 176-198 (2002).
14. Sağlık, A., “Betonda Yaygın Hasarlar ve Dayanıklı Beton Tasarımı”, Kalite Kontrol Teknik Semineri, 26-29 Ağustos **DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı**, Elazığ, 212-230 (2002).
15. Öner A., Yıldız R., “Betonun İç ve Dış Ortam Etkilerine Dayanıklılığı Üzerine Genel Bir Bakış”, **Kocaeli Teknik Bülten**, 1-15 (2003).
16. Massazza, F., “Betonun Dayanımı ve Yapıların Hizmet Ömrü: İki, Çözülebilir Sorun”, **Hazır Beton Dergisi**, 72: 42-56 (2005).
17. Massazza, F., “Durability of Concrete and Service Life of Structures: Two Solvable Problems”, **Beton 2004 Kongresi Bildirileri**, İstanbul, 88-119 (2004)
18. Arslan M., “Betonarme elemanların dayanıklılığı üzerine araştırmalar”, **T.C. Başbakanlık DPT, Proje Kodu: 96K120750**, Ankara, 1-29 (1997).
19. Popovics, S. “Strength and related properties of concrete” , **John Wiley & Sons , Inc.**, New york, USA , 38-82 (1998).
20. Uğurlu, A., “Zararlı kimyasal etkilere dayanıklı beton yapım kuralları”, **DSİ Teknik Bülteni**, Ankara, 86: 13-15 (1997).
21. Arslan, M., “Betonarme yapı elemanı tasarımında dayanıklılık faktörlerini belirlemeye yönelik bir araştırma”, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Ankara, 9(4): 615-630 (1995).
22. Taşdemir, M., A., Bayramov, F., Kocatürk, A., N., Yerlikaya, M., “Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler” **Beton 2004 Kongresi Bildirileri**, İstanbul, 24-57 (2004)
23. Kropp, J., Hilsdorf, H.K., “Performans criteria for concrete durability”, **E & FN span and Chapman & Hall**, New York, USA, 5-13 (1995).
24. Subaşı, S. (2001) “Kalıp yüzey farklılıklarının betonun bazı fiziksel özelliklerine etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara 5-24 (2001).

25. Erdoğan, K., “Su yapılarındaki Betonlarda Bağlayıcı Malzeme Seçimi”, **Çimento ve Beton Dünyası Dergisi**, 2(12):17-24 (1998).
26. Mindess, S., Joun, J.F., Darwin, D., “Concrete”, Second Edition **Prentice Hall**, London, 499-504 (2002).
27. Johnston, D.W., “Design and construction of concrete formwork”, Concrete Construction Engineering Handbook, Nawy, E.G., **CRC Press**, New York, 5-40 (1997).
28. Postacıoğlu, B., “Beton, 2.cilt”, **Teknik Kitaplar Yayınevi**, İstanbul, 241-245 (1987).
29. Kocataşkın, F., “Betonun donmaya dayanımı”, **Beton Semineri, DSİ Araştırma Sitesi**, 6-10 Subat, Ankara, 1-30 (1984).
30. Subaşı, S., Arslan, M., Durmuş, G., “Kalıp yüzeylerinin beton kabuğunun kapilaritesi ve don dayanıklılığı üzerine etkileri”, **Hazır Beton Dergisi**, 9(50): 60-68 (2002).
31. TS 802, “Beton karışımı hesap esasları”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 2-11 (1985).
32. TS 3440, “Zararlı kimyasal etkileri olan su, zemin ve gazların etkisinde kalacak betonlar için yapım kuralları”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1-20 (1982).
33. Skalny, J. and Marchand, J., Odler, I., “Sulfate attack on concrete”, **Spon Press**, London, 31-43 (2002).
34. Yeğinobalı, A., “Betonun Dayanıklılığı-II”, **Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü Seminer Notları**, Ankara, 1-27 (1999).
35. Akkaya, Y., “Zararlı bir ortamda betonun uğradığı hasarın hasar mekaniği ile incelenmesi”, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul 1-30 (1994).

36. Subaşı, S., “Farklı Yüzey Astarları İle Kaplanmış Drenaj Özelliği Bulunan Kalıpların Betonun Bazı Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkileri”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-42, 138-174 (2005).
37. Fookes, P., “Concrete in hot dry salt environment”, *Concrete*, 1: 34-39, (1995).
38. Hussain, E.S. et al., “Influence of sulfates on chloride binding in cements”, *Cement and Concrete Research*, 24: 28-24 (1994).
39. Lawrence, C.D., “Sulfate attack on concrete”, *Magazine of Concrete Research*, 153: 249-264 (1990).
40. Stark, D., “Longtime study of concrete durability in sulfate soils”, *George Verbeck Symposium on Sulfate Resistance of Concrete*, ACI Sp: 77, 21-40 (1982).
41. Al-Amoudi, O.S.B., “Effect of chloride-sulfate ions on reinforcement corrosion and sulfate deterioration in blended cements”, *Forth CANMENT/ACI International Conference Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, İstanbul, Türkiye, SP 132- 60:1106-1123, (1992).
42. Jakobsen, U., H., Thaulow, N., “Optik Taramalı Elektron Mikroskop ile Gözlemlenen Sülfat Etkisi”, *Çimento ve Beton Dünyası Dergisi*, 7(42):48-59 (2003).
43. Tokyay, M., “Agresif ortamlarda çimentolu sistemler”, *Çimento ve Beton Dünyası Dergisi*, 2(8):13-19 (1997).
44. Maslehuddin, M., Page, C.L. and Rasheeduzzafar, “Effect of temperature and salt contamination on carbonation of cements”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 8 (2): 63-69 (1996).
45. Güneyisi, E., Özturan T. ve Gesoğlu M., “Çimento tipinin havada kür edilen betonda basınç dayanımı ve karbonatlaşmaya etkileri”, *Hazır Beton Dergisi*, 58: 68-73 (2003).
46. Cilason, N., Kocagil, F. ve Aksöz, B., ”Betonda korozyon”, *XIII. TMMOB İnşaat Müh. Teknik Kongresi*, Ankara, 123-134 (1995).

47. Cilason, N. ve Aksoy N., “Beton yapı hasarları onarımı, korunması ve sıcak iklimlerde beton”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 15-20, 91-93 (2000).
48. Soroushian, P. and Ravanbakhsh, S., “Caused and troubleshooting of concrete problems”, *Diagnosis and Cure of Concrete Problems: State of the Art, Concrete Technology Seminar VI*, Edited by: Soroushian, P. And Ravanbakhsh, S., *Michigan State University*, Michigan, 1-33 (1992).
49. Yeğınobalı, A., “Betonda çelik donatı korozyonu”, *T.H.B.B. Hazır Beton Dergisi*, 41: 54-57 (2000).
50. Özyıldırım, C. and Halstead, W., J., “Improved concrete quality with combination of fly ash and silica fume”, *ACI Materials Journal*, 91 (6):587-594 (1994).
51. Nawy, E.G., “Fundamentals of High-Performance Concrete, Second Edition, *John Wiley&Sons, Inc.*, New York, 204-245 (2001).
52. Schiessl, P. and Raupach, M., “Monitoring system for the corrosion risk of steel in concrete structure”, *Concrete International*, 2:52-55 (1992).
53. Chatterji, S., “Simultaneous chloride removal and realkalinization of old concrete structure”, *Cement and Concrete Research*, 24(6): 1051-1054 (1994).
54. Thompson, N.G. et al “Environment factors in the deterioration of reinforced concrete”, *Material Performance*, 8:25-32 (1995).
55. Rosenberg, A. et al., “Mechanism of corrosion of steel in concrete”, *Material Science of Concrete*, Westerville, 1: 285-313 (1989).
56. Masuda, M. et al., “Cathodic protection of reinforcing steel in concrete” corrosion control”, *7th Asian-Pacific Corrosion Control Conference*, Beijing, 2: 921-926 (1991).
57. Johnston, C.D., “Deicer salt scaling resistance and chloride permeability”, *Concrete International*, 8: 48-55 (1994).
58. Menzies, T.,R. “National cost of motor vehicle corrosion from deicing salts in automotive”, Houston TX, *Corrosion and Protection*, 213-216 (1992).

59. Thornton, H.T., "Tensile crack exposure tests", **Report 4. of a Series, US Army Engineer Waterways Experiment Station**, USA, 50-68 (1984).
60. Hime, W., "The corrosion of steel random thoughts and wishful thinking", **Concrete International**, 10: 54-57 (1993).
61. Carter, W.J. et al, "Absorbtion of water and chloride into concrete", **Magazine of Concrete Research**, 44(158): 117-122 (1992).
62. Gonzalez, J.A. et al., "Comparison of rates of general corrosion and maximum pitting penetration on concrete embedded steel reinforcement", **Cement and Concrete Research**, 25(2): 257-264 (1995).
63. Rolf, F., et al., "Investigation of the rapid chloride permeability test", **ACI Material Journal**, 3: 246-250 (1994).
64. TS EN 12504-1, "Beton - Yapıda Beton Deneyleri - Bölüm 1: Karot Numuneler - Karot Alma, Muayene Ve Basınç Dayanımının Tayini", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1-5 (2002).
65. TS EN 12390-3, "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1-12 (2002).
66. TS 3502, "Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1-8 (1981).
67. TS EN 12390-6, "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1-6 (2002).
68. Ramachandron, V.S., Beaudoin, J.J., "Handbook of analytical techniques in concrete science and technology", **Noyes Publications**, New Jersey, USA, 460-462 (2001).
69. TS 4045, "Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara 1-4 (1984).
70. TS 12390-7, "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1-5 (2002).

71. TS 3624, “Sertleşmiş Betonda Özgöl Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu”, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1-5 (1981).
72. ASTM C944-99, “Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method”, **American Society For Testing And Materials**, USA (1999).
73. TS 3449 “Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Dayanıklılık Tayini” **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1-6 (1980).
74. Şimşek O., Sancak E., Yaprak H., “Beton Yollarda Alternatif Bir Malzeme: Vakumlu Beton” **4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyum**, Selçuk Üniversitesi, Konya, 1132-1137 (2005).
75. Şimşek O., Bolat H., “Vakum Teknolojisinin Saha Betonlarındaki Korozyona Etkisi” **4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyum**, Selçuk Üniversitesi, Konya, 1138-1142 (2005).
76. Sancak, E. ve Şimsek, O., “The effect of the use of silica fume in concrete on steel reinforcement corrosion”, **IV. ICCP 2004 International Corrosion and Concrete Protection Symposium**, Ankara, Türkiye, 441-452 (2004).
77. Malhotra, V.M., “Significance of test and properties of concrete and concrete making materials”, Editors: Klieger P. and Lamond, J.F., **ASTM Publication**, ASTM-STP 169C, USA, 326-327 (1994).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖNAL, Osman
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 10.08.1981 Denizli
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (535) 451 07 03
Faks : -
e-mail : osman_onal1@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Yapı Eğitimi A.B.D.	2006
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Yapı Eğitimi A.B.D.	2003
Lise	Isparta Senirkent E.M.L.	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003-2006	Master Bilgisayar Kursu	Öğretim Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri