

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DENİZ SUYU VE SÜLFATLI SULARIN BETON
DAYANIMINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Hasan Mehmet KUYUMCU

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç.Dr. Mansur SÜMER

Eylül 2006

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DENİZ SUYU VE SÜLFATLI SULARIN BETON
DAYANIMINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Hasan Mehmet KUYUMCU

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : Yapı Malzemesi

Bu tez 14 / 09 /2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr. Kemalettin YILMAZ
Jüri Üyesi**

**Yrd. Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK
Jüri Üyesi**

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin belli aşamalardan geçerek bu hale gelmesi çok güzel. Bu bir mühendisin gurur duyması gereken bir eğitim. Bu eğitimim ve araştırmam tabikide yalnız başına olmuş bir çalışma değil. Her başarının ardında insan değil insanlar mevcuttur. Bu yüzden çalışmalarım süresince bilgi, sabır ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ve aynı zamanda danışman öğretmenim olan Yrd. Doç. Dr. Mansur SÜMER'e, desteğini esirgemeyen öğretmenim Kemalettin YILMAZ'a, beton malzemesi ve gerekli ekipman temini için yardımcı olan Nuryol Ltd.Şti. İnşaat firmasına, başta Prof. Lüftü SALTABAŐ olmak üzere tüm İnşaat Mühendisliği Fakültesi çalışanlarına ve maddi, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan Kuyumcu ailesine teşekkürü bir borç biliyorum. Saygılarımla.

Hasan Mehmet Kuyumcu

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
------------	---

BÖLÜM 2.

BETON NEDİR.....	2
2.1. Betonun Tarihçesi ve Tanımı.....	2
2.1.1. Betonun tarihçesi.....	2
2.1.2. Betonun tanımı.....	3
2.1.3. Beton çeşitleri.....	7
2.1.3.1. Dolgu ve yalıtım betonları.....	7
2.1.3.2. Dekoratif yüzeyli betonlar.....	19
2.1.3.3. Püskürtme betonlar.....	20
2.1.3.4. Vakum, pompa ve prepakt betonu.....	21
2.2. Betonun Bileşenleri.....	23
2.2.1. Agregalar.....	23
2.2.1.1. Agregalar nedir.....	23
2.2.1.2. Agregaların çeşitleri ve özellikleri.....	25
2.2.1.3. İnce ve iri agregalar için granülometrik dağılım.....	28
2.2.2. Çimento.....	32

2.2.2.1. Çemontunun tanımı.....	32
2.2.2.2. Çimento çeşitleri.....	33
2.2.3. Katkı maddeleri.....	34
2.2.4. Karışım suyu.....	35

BÖLÜM 3.

BETONDA ARANAN ÖZELLİKLER.....	36
3.1. Beton Dayanımı.....	36
3.1.1. Beton basınç dayanımı.....	36
3.1.2. Beton dayanımını oluşturan etkiler.....	38
3.2. Betonun İşlenebilme Özelliği ve Uygun Kıvamı.....	39
3.3. Agrega Maksimum Dane Boyutu.....	42
3.4. Betonda Dış Etkenlere Karşı Dayanıklılık (Durabilite).....	42
3.4.1. Durabiliteye etki eden fiziksel faktörler.....	48
3.4.1.1. Donma çözülme etkisi.....	48
3.4.1.2. Erozyon etkisi.....	48
3.4.1.3. Aşınma etkisi.....	48
3.4.1.4. Kavite etkisi.....	49
3.4.1.5. Asfalt ve beton yollarda kullanılan tuzların etkisi....	49
3.4.1.6. Sanayi yapılarındaki tuz etkileri.....	52
3.4.1.7. Deniz suyu etkisi.....	54
3.4.2. Durabiliteye etki eden kimyasal faktörler.....	55
3.4.2.1. Asit ve asit yağmurlarının etkileri.....	55
3.4.2.2. Tuzların etkileri.....	56
3.4.2.3. Magnezyum sülfat etkileri.....	56
3.4.2.4. Karbonatlaşma ve alkali etkileri.....	62
3.4.2.5. Sülfat etkisi.....	63
3.4.3. Durabiliteye göre tasarım ve üretim.....	69
3.4.4. Durabiliteye etki eden biyolojik faktörler ve çiçeklenme..	78
3.4.4.1. Biyolojik oluşumlar.....	78
3.4.4.2. Betondaki kalsiyum hidroksitin çözünmesi ve beton yüzeyinde "çiçeklenme" oluşması.....	80

3.4.4.3. Durabiliteyi etkileyen maddelerin doğada bulunuşları.....	86
BÖLÜM 4.	
MAGNEZYUM SÜLFAT VE BİLEŞENLERİ.....	89
4.1. Magnezyumun tarihçesi.....	89
4.2. Magnezyumun kimyasal yapısı.....	90
4.3. Magnezyumun üretimi yapılabilen megnezyumlu mineraller.....	95
4.3.1. Magnezit.....	95
4.3.2. Dolomit.....	96
4.3.3. Olivin.....	96
4.3.4. Brusit.....	96
4.3.5. Evaporitik megnezyum mineralleri.....	97
4.3.6. Diğer magnezyum bileşikleri.....	97
BÖLÜM 5.	
DENİZ SUYU	99
5.1. Deniz suyunun genel bileşimi.....	99
5.2. Deniz suyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	101
5.3. Deniz suyundaki tuzluluk.....	103
BÖLÜM 6.	
DENEYSEL SONUÇLAR.....	107
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	130
KAYNAKLAR.....	132
ÖZGEÇMİŞ.....	134

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Fck	: Beton Basınç Dayanımı
K1	: Çökme Sembolü
N	: Newton
PÇ	: Portland Çimento
PZÇ	: Puzolanik Çimento
D	: Agrega Dane Boyutu
Fcts	: Betonun Yarmada Çekme Dayanımı
C	: Beton sınıfı simgesi
MgSO ₄	: Magnezyum Sülfat
Kgf	: Kilogram Kuvvet
NaCl	: Sodyum Klorür
Mpa	: Mega Paskal

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Agregada ocağından görünüm.....	24
Şekil 2.2. İdeal kumun granülometrik dağılımı.....	29
Şekil 2.3. I Nolu mıcır için granülometri eğrisi.....	30
Şekil 2.4. II Nolu mıcır için granülometri eğrisi.....	31
Şekil 2.5. III Nolu mıcır için granülometri eğrisi.....	31
Şekil 3.1. Basınç dayanımı – Zaman ilişkisi.....	36
Şekil 3.2. Slamp deneyi görüntüsü.....	41
Şekil 3.3. Slamp ölçümü.....	41
Şekil 3.4. Slamp değerleri için deneyler.....	41
Şekil 3.5. Sülfat etkisiyle ağır hasar görmüş beton elemanı.....	46
Şekil 3.6. Sahil yolunda (İzmir) deniz suyu etkisiyle iri agregaları açığa çıkmış, kütle kaybına uğramış beton parapet duvarı.....	46
Şekil 3.7. İzmir’ de korozyon hasarına uğramış elektrik direkleri.....	47
Şekil 3.8. ASR hasarına uğramış köprü ayakları (İzmir).....	47
Şekil 3.9. Yarımcı Pektim iskelesinde 1999 Marmara depremi sonrası Deniz suyu ve deprem hasarı, aynı yerde deniz altında kalan betonarme elemanlar	47
Şekil 3.10. Et Balık Kurumunda tuz etkisinde kalmış beton örneği.....	53
Şekil 3.11. Et Balık Kurumunda tuz etkisinde kalmış beton örneği.....	53
Şekil 3.12. Kanalizasyon borularındaki asit etkisi.....	79
Şekil 5.1. Deniz suyundaki elementlerin doğadaki dolaşimleri.....	99
Şekil 5.2. Su moleküllerinin sıcaklığa bağlı geometrisi.....	101
Şekil 6.1. Deney beton numune kapları perspektif görünüm.....	107
Şekil 6.2. Deney beton numune kapları üstten görünüm.....	108
Şekil 6.3. Beton karışımı için gerekli olan agregadan bir görünüm	109
Şekil 6.4. Beton karışımı için gerekli olan agregadan bir görünüm	110
Şekil 6.5. Beton karışımı için gerekli olan agregadan bir görünüm	110

Şekil 6.6. Beton karışımı için gerekli olan karışımdan bir görünüm.....	111
Şekil 6.7. Playwood kalıplardan görünüm.....	112
Şekil 6.8. Playwood kalıplardan yandan görünüm	112
Şekil 6.9. Kalıplara 2 kademedeki numune yerleşimi.....	112
Şekil 6.10. Kalıplardaki beton karışım tesviyesi.....	113
Şekil 6.11. Kalıplara beton harcının koyulurkenki görünüm.....	113
Şekil 6.12. Kalıplardan çıkarılmış küre hazır numuneler.....	114
Şekil 6.13. Kalıplardan çıkarılmış beton numuneler.....	114
Şekil 6.14. Kalıplardan deney için kullanılacak numuneler.....	115
Şekil 6.15. Kırım için hazırlanan deney numuneleri.....	115
Şekil 6.16. Deniz sulu ortamdaki küre bırakılan deney numuneleri.....	116
Şekil 6.17. Şahit numuneler için kür havuzu.....	116
Şekil 6.18. Magnezyum sülfatlı numuneler için kür havuzu.....	116
Şekil 6.19. Beton basınç deney numuneleri.....	117
Şekil 6.20. Beton basınç ölçüm cihazı.....	118
Şekil 6.21. Kırım sonrasındaki numunelerin görüntüsü.....	118
Şekil 6.22. PÇ 42.5 ve 300 dozlu magnezyum sülfat-şahit beton numune ortalama kırım değerleri	126
Şekil 6.23. PZÇ 32.5 ve 300 dozlu magnezyum sülfat-şahit beton numune ortalama kırım değerleri	126
Şekil 6.24. PÇ 42.5 ve 300 dozlu deniz sulu ortam-şahit beton numune ortalama kırım değerleri	127
Şekil 6.25. PZÇ 32.5 ve 300 dozlu deniz sulu ortam-şahit beton numune ortalama kırım değerleri	127
Şekil 6.26. PZÇ 32.5 ve 300 dozlu deniz sulu ortam-şahit beton numune ortalama kırım değerleri	128
Şekil 6.27. PÇ 42.5 ve 300 dozlu deniz sulu ortam-şahit beton numune ortalama kırım değerleri	128
Şekil 6.28. PZÇ 32.5 ve 300 dozlu magnezyum sülfat-şahit beton numune ortalama kırım değerleri	129
Şekil 6.29. PÇ 42.5 ve 300 dozlu magnezyum sülfat-şahit beton numune ortalama kırım değerleri	129

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Basınç dayanım sınıfları.....	4
Tablo 2.2. Beton kıvam sınıfı.....	5
Tablo 2.3. Beton karışım oranları.....	6
Tablo 2.4. Hafif beton türleri, kullanım alanları, malzeme özellikleri.....	11
Tablo 2.5. Karakteristik dayanımına göre değerler.....	14
Tablo 2.6. Basınç mukavemetleri ve kuru birim hacim ağırlıklarına göre değerler.....	15
Tablo 2.7. Gaz beton içeriği yüzdesi.....	16
Tablo 2.8. TS elek sistemine göre beton kumu granülometrisi.....	29
Tablo 2.9. TS elek sistemine göre iri agrega granülometrisi.....	30
Tablo 3.1. Kıvam sınıfları.....	39
Tablo 3.2. Maksimum dane boyutu.....	42
Tablo 3.3. Magnezyum içeriği.....	57
Tablo 3.4. Bazı önemli magnezyum mineralleri.....	59
Tablo 3.5. Amerikan beton enstitüsü tarafından betonarme yapılar için belirtilen minimum pas payı değerleri	67
Tablo 3.6. Avcılar'dan alınan betonlardaki dane boyutu dağılımı	73
Tablo 3.7. Çiçeklemeye yol açan tuzlar ve kaynakları.....	83
Tablo 4.1. Magnezyum elementinin yapısı.....	91
Tablo 4.2. Magnezyumun bazı önemli mineralleri.....	93
Tablo 5.1. Yapılan deneysel çalışmadaki deniz suyunun içindeki iyonlar..	102
Tablo 5.2. Sentetik deniz suyu kompozisyonu.....	103
Tablo 5.3. Deniz suyunda bulunan çözülmüş maddeler.....	104
Tablo 5.4. Tatlı ve tuzlu su bileşenlerinin karşılaştırılması.....	104
Tablo 6.1. Deney numuneleri karışım oranları.....	81
Tablo 6.2. Deniz sulu ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri.....	119

Tablo 6.3. Deniz sulu ortam P.Ç. 42.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri	119
Tablo 6.4. Deniz sulu ortam P.Ç. 42.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri	119
Tablo 6.5. Deniz sulu ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri	119
Tablo 6.6. Magnezyum sülfatlı ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri.....	120
Tablo 6.7. Magnezyum sülfatlı ortam P.Ç. 42.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri.....	120
Tablo 6.8. Magnezyum sülfatlı ortam P.Ç. 42.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri.....	120
Tablo 6.9. Magnezyum sülfatlı ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri.....	120
Tablo 6.10. Deniz sulu ortam P.Ç.Z. 32.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri.....	121
Tablo 6.11. Deniz sulu ortam P.Ç. 42.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri.....	121
Tablo 6.12. Deniz sulu ortam P.Ç. 42.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri.....	121
Tablo 6.13. Deniz sulu ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri.....	121
Tablo 6.14. Magnezyum sülfat ortamı P.Z.Ç. 32.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri.....	121
Tablo 6.15. Magnezyum sülfat ortamı P.Ç. 42.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri.....	121
Tablo 6.16. Magnezyum sülfat ortamı P.Ç. 42.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri.....	122
Tablo 6.17. Magnezyum sülfat ortamı P.Z.Ç. 32.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri.....	122
Tablo 6.18. Deniz sulu ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri.....	122

Tablo 6.19. Deniz sulu ortam P.Ç. 42.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri.....	122
Tablo 6.20. Deniz sulu ortam P.Ç. 42.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri.....	122
Tablo 6.21. Deniz sulu ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri.....	123
Tablo 6.22. Magnezyum sülfatlı ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri.....	123
Tablo 6.23. Magnezyum sülfatlı ortam P.Ç. 42.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri.....	123
Tablo 6.24. Magnezyum sülfatlı ortam P.Ç. 42.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri.....	123
Tablo 6.25. Magnezyum sülfatlı ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri.....	123
Tablo 6.26. Deniz sulu ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri.....	124
Tablo 6.27. Deniz sulu ortam P.Ç. 42.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri.....	124
Tablo 6.28. Deniz sulu ortam P.Ç. 42.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri.....	124
Tablo 6.29. Deniz sulu ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri.....	124
Tablo 6.30. Magnezyum sülfatlı ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri.....	124
Tablo 6.31. Magnezyum sülfatlı ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri.....	125
Tablo 6.32. Magnezyum sülfatlı ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri.....	125
Tablo 6.33. Magnezyum sülfatlı ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri.....	125

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Beton, Basınç Dayanımı, Durabilite, Korozyon, Magnezyum Sülfat, Deniz Suyu, Dayanım.

Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Malzemesi Bilim Dalı' nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada; İnşaat Sektörünün vazgeçilmezi olan Beton yapı elemanın farklı ortamlardaki dayanımı ve dayanıklılığı ile ilgili olan deneyi ve deneysel çalışmanın sonuçlarını inceledik. Betonun zaman içinde, varolduğu ortamdan kaynaklanan deformasyonunu gözlemlemek için en ideali deneyi uzun zamana yayarak incelemektir.

Deney içeriğinde belli oranlarda karışımı yapılmış olan beton, deniz suyunun ve %5 konsantrasyonlu magnezyum sülfatlı su ortamına koyularak deneysel çalışmalar belli şartlar ve esaslar dahilinde gözetim altında laboratuvar ortamında yapılmıştır. Deney sonucunda durabilitenin asitli ortamlarda ve deniz sulu ortamlarda beton ve betonarme yapıları için ne kadar önemli olduğunu anlatmak istedik.

IN CONCRETE RESIST EFFECTS OF SEA WATER AND WITH SULPHATE WATER

SUMMARY

Key words; concrete, the resistance of pressure, durability, corrosion, magnesium sulphate, sea water, resistance.

This work which was prepared as a project of master's degree at the Faculty engineering, main department of Civil Engineering, Construction Materials Department at Sakarya University.

We will deal with the Works about the resistance and endurance of concrete construction materials, which are the indispensable parts of construction sector in different areas. We will observe the deformation of concrete in time due to situation of it in this clinical work in this observation, the most important parts are the results of this work.

Concrete which is mixed in certain amounts, is added to the magnesium sulphate and sea water. This work is done certain conditions and principles as the concrete is thought to be exposed to the acidic environment in nature. At the end of the observation, it is understood that durability has a vital role for the concrete and reinforced concrete structures in acidic environment.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ülkemizde varolan yapılaşmaların bir kısmına hakim olan deniz suyu etkisi, sülfat etkisi ve tuzlu ortamların etkisine karşı yapılan araştırmaların deneysel olarak yapılan bu çalışmada betonu ve beton elemanları ile durabilite konusuna deyineneēiz. Deniz Suyu ve sülfatlı suların beton dayanımına etkileri konusunu inceleyeneēimiz bu tezin amacı deniz suyunun betondaki direkt olan betonun karışımına katılarak ve endirekt olan betonun doēal ortamına koyularak etkilerini görmek ve ayrıca beton un sülfatlı ortamlardaki dayanımlarını gözlemek olacaktır. Tabiki günümüzde sülfatlı ve deniz suyu etkisine maruz kalan yapıların okluēu yapılardaki etkileri daha çok gündeme taşımakta ve bu konuda yapılaması gerekli etkilerin azaltılmasıyla ilgili araştırmalar yapılmaktadır. Bu Konuda yaptığımız araştırmalar ve deneylerin de amacı konu hakkında bilgilerimizi bir anlamda deneysel ortama taşımak. Betonun maruz kaldığı etkiler, basınç dayanımları, betonun dayanıklılıēı yani durabilitesi, betonun içindeki donatının etkisinde kaldığı asitli sülfatlı ortamlar, korozyon etkisindeki donatılar yine bu konuda incelediğimiz bir çok etkenden olacaktır. Konu hakkında Et-Balık Kurumundan aldıığımız resimler ve il belediyeliklerinin araştırmalarından aldıığımız bilgileri kaynaklarımız ve deney sonuçlarımızla beraber birleştirdik. Başlangıç olarak beton konusunu ele alıp sonrasında betonun maruz kaldığı ortamlara deēineēiz.

BÖLÜM 2. BETON NEDİR

2.1. Betonun Tarihçesi ve Tanımı

2.1.1. Betonun tarihçesi

Mısır Piramitleri, Çin Seddi, Ayasofya; Uygarlığın en büyük eserlerinden olan bu yapılar, yüzyıllardır ayakta kalmayı başarmıştır. O yıllarda bu tür yapılar, beton benzeri puzolanik malzemelerle inşa edilirken, günümüzde devasa yapılar beton harcıyla örülmektedir. Pek çok teknolojik işlemde geçirilerek dayanımı artırılan beton; ekonomikliği, fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı gibi birçok avantajıyla en çok tercih edilen yapı malzemeleri arasında yer alıyor.

Beton her zaman yapı malzemesi dünyasında geçerliliğini devam ettiren ve en çok kullanılan malzemedir. Dayanıklılığı, uzun senelere karşı gösterdiği mukavemetten dolayı beton vazgeçilemez bir öge haline gelmiştir. Tarihte beton benzeri puzolanik malzemelerin kullanıldığı yerler arasında Mısır Piramitleri, Çin Seddi, Pantheon Tapınağı ve Ayasofya sayılabilir. 1812 yılında Louis Vicat'ın ilk yapay çimentoyu üretmesiyle başlayan betonun tarihçesi 1824 yılında Joseph Aspdin'in Portland Çimentosunu geliştirmesiyle devam etmiştir. Uzun yıllar Portland Çimentosu kullanılarak üretilen beton; yollarda, binalarda, barajlarda, peyzaj işlerinde ve köprülerde kullanılmıştır.

Betonun tarihçesinde önemli kilometre taşlarından birini oluşturan gelişme ise 1903 yılında Almanya'da ilk hazır beton üretiminin yapılması ile yaşandı. Daha sonra, bu yeni sanayinin gereksinimi olarak betonun nakli ve yerine yerleştirilmesi için transmikser ve beton pompaları geliştirildi ve kullanılmaya başlandı. 1940'lı yıllara gelindiğinde betona çimento, agrega ve su dışında bir bileşen daha katıldı: Kimyasal katkı. Gelişen beton teknolojisi ile birlikte bazı puzolanik malzemelerin (uçucu kül,

silis dumanı vb.) taze ve sertleşmiş beton özelliklerini geliştirdiği ortaya çıktı ve bu malzemeler de “mineral katkı” adıyla beton bileşenleri içinde yer almaya başladı.

Türkiye’de hazır beton ise ilk olarak 1975 – 1980 yılları arasında bazı inşaat şirketleri tarafından kendi inşaatlarında kullanılmak üzere üretilmeye başlandı. 1988 yılında THBB (Türkiye Hazır Beton Birliği) kurularak, hazır beton üreticisi firmaların bir çatı altında toplanması ve henüz gelişmekte olan sektörde ortak hareket etmeleri sağlanmış oldu. 1994 yılında TSE tarafından ilk hazır beton standardı (TS 11222) çıkartılmış olup, bu standart 2001 yılında revize edilmiş ve 8 Aralık 2004 tarihine kadar yürürlükte kalmıştır. Bu tarihten itibaren ise TS EN 206-1 standardı yürürlüğe girmiştir ve halen hazır beton firmaları bu standarda göre üretim yapma yükümlülüğü altındadırlar.

Betonu günümüzün en yaygın taşıyıcı yapı malzemesi yapan özelliklerinden bazıları şunlar: Ucuzluğu, bilgisayar kontrollü santraller, transmikserler, pompalar vb ile üretim, taşıma, yerleştirme aşamalarında büyük gelişmelerin sağlanmış olması, şekil verilebilme kolaylığı, çelik donatı ile çekme dayanımının yetersizliğinin dengelenmesi, yüksek basınç dayanımlarına ulaşılması, fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı, hafif agrega kullanılarak hafifletilebilmesi ve pigment kullanılarak renklendirilebilmesi.

2.1.2. Betonun tanımı

Beton, çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir [9].

Beton oluşturmak üzere yanyana gelmesi gereken 4 ana madde vardır:

- Çimento,
- Agrega (kum, çakıl,kırmataş)
- Su
- Katkı (Kimyasal ve Mineral)

Çimento ile su arasında meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucunda, ayrı halde bulunan agrega taneleri birbirine yapışarak betonu oluşturur.

Bu 4 ana bileşenden biri olan ‘Kimyasal Katkı Maddeleri’ de çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha az olmakla birlikte betona ‘Minera Katkı’adı verilen başka maddeler de katılabilir. Betonun mutlak hacmini %70 oranında agrega (kum, çakıl, mıcır), %10 oranında çimento, % 20 oranında su oluşturur. Gerektiğinde, çimento ağırlığının %5'inden fazla olmamak kaydıyla, katkı malzemesi ilave edilebilir. Basınç dayanım sınıfları betonun basınç mukavemeti standart kür koşullarında saklanmış (20 °C ±2°C kirece doymun su içerisinde), 28 günlük silindir (15 cm çap, 30 cm yükseklik) veya küp (15 cm kenarlı) numuneler üzerinde ölçülür. Hazır betonda basınç dayanımı sınıfları, karşılığı silindir ve küp mukavemetleri aşağıdaki Tablo 2.1.’de özetlenmiştir. (TS 11222) Basınç Dayanımı Sınıfı fck, silindir (N/mm²) fck, küp (N/mm²)

Tablo 2.1. Basınç dayanım sınıfları

Basınç Dayanım Sınıfı	Fck, silindir(N/mm ²)	fck,küp (N/mm ²)
C 14	14	16
C 16	16	20
C 18	18	22
C 20	20	25
C 25	25	30
C 30	30	37
C 35	35	45
C 40	40	50
C 45	45	55
C 50	50	60
C 55	55	67
C 60	60	75
C 70	70	85
C 80	80	95
C 90	90	105
C 100	100	115

Kıvam Sınıfları, betonun işlenebilme özelliği kıvamı ile tayin edilebilmektedir. Kıvam, betonun kullanım yerine (kalıp geometrisi, demir sıklığı, eğim), betonu yerleştirme, sıkıştırma, mastarlama imkanlarına ve işçiliğine, şantiyede beton iletim imkanlarına (pompa, kova) bağlı olarak özenle seçilmesi gereken bir özelliktir. Hazır Beton Standardı TS 11222 de 5 kıvam bulunmaktadır. K1, K2, K3, K4 ve K5 sembolleri ile tanımlanan bu kıvamlar çökme (slump) hunisi deneyi ile ölçülmektedir [9].

Hazır betonda şantiye teslimi kıvam, taşıma süresi ve beton sıcaklığına bağlıdır. Taşıma süresi kıvamı etkilemekte, süre uzadıkça ve hava sıcaklığı yükseldikçe santraldan şantiyeye kıvam kaybı artmaktadır. Bu kıvam kaybının betona su verilerek dengelenmesi mukavemeti düşürmektedir. Kıvam sınıfı Tablo 2.2. de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Beton kıvam sınıfı

Kıvam Sınıfı	Çökme (mm)
K1	0 £ çökme<50
K2	50 £ çökme<100
K3	100 £ çökme<160
K4	160 £ çökme<220
K5	220 £ çökme

Slump (Çökme) Deneyi yapılırken Slump hunisi düz bir zemine konur. Standart slump hunisi üç eşit kademede doldurulup, her kademede 25 kez standart şişleme çubuğuyla şişlenir. Huni tamamen dolunca üst yüzeyi mala ile düzlenir. Huni yavaşça yukarı doğru kaldırılır; bu sırada taze beton kendi ağırlığıyla çöker. Şişleme çubuğu huninin üzerine konur ve çöken betonun üst seviyesinden çubuğun altına kadar olan mesafe ölçülür. Bu uzunluk, taze betonun çökme (slump) değeri olarak adlandırılır. Beton yerleştirme işlemi sırasında vibratör kullanılması kaçınılmazdır. "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik"de vibratör kullanmadan beton dökümü işlemini yasaklamıştır. Şişleme, tokmaktama v.b. elle

sıkıştırma usulleri, yalnızca vibratör kullanımıyla beraber, yardımcı usuller olarak kullanılabilir [10].

Tablo 2.3. Beton karışım oranları

Beton Karışımları						Karışım
Ağırlıkça (Alman)			Hacimce (ABD)			
Çimento kg	Kum kg	Çakıl kg	Çimento lt	Kum lt	Çakıl lt	
1	2,5	3,6	1	1,5	3	zengin
1	3	4,5	1	2	3,5	standart
--	--	--	1	2,5	4	orta
--	--	--	1	3	5	zayıf
Miktarlar			Kullanıldığı Yerler			
Çimento kg	Kum lt	Çakıl lt				
325	400	800	Yüksek mukavemetli kolon, vibrasyon ve su etkisi			
275	400	800	Betonarme döşeme, kiriş, kolon, makine temelleri			
250	500	800	Toprak üstü beton inşaat, temeller			
500	500	850	Kütle betonu, duvar dolgusu			

Betonu günümüzün en yaygın taşıyıcı yapı malzemesi yapan özellikleri şöyle sıralamak mümkündür; ucuzluğu, bilgisayar kontrollü santraller, transmikserler, pompalar vs. ile üretim, taşıma ve yerleştirme aşamalarında büyük gelişmelerin sağlanmış olması, şekil verilebilme kolaylığı, çelik donatı ile (betonarme) çekme mukavemetinin yetersizliğinin dengelenmesi, yüksek basınç dayanımlarına ulaşılması, fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı (uzun ömür, bakım kolaylığı), hafif agrega ile hafifletilmesi, pigmentlerle renklendirilmesi.

Betonu oluşturan hammaddeler özellikleri bakımından kimyasal katkılar veya mineral katkılardır. Kimyasal katkılarla (akışkanlaştırıcı, priz geciktirici,

geçirimsizlik sağlayıcı, antifriz) mineral katkıları (taş unu, tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı) betonun performansını istediğimiz yönde iyileştiren çağdaş teknoloji unsurlarıdır. Çimentoyla suyun karışımından oluşan çimento hamuru zamanla katılaşp sertleşerek agrega tanelerini (kum, çakıl, kırmataş) bağlar, yapıştırır, böylece betonun mukavemet kazanmasına imkan verir. Dolayısıyla betonun mukavemeti, çimento hamurunun mukavemetine, agrega tanelerinin mukavemetine, agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki yapışmanın gücüne (aderans) bağlıdır.

2.1.3. Beton çeşitleri

2.1.3.1. Dolgu ve yalıtım betonları

Bu gruba giren özel betonlar, bünyesinde çeşitli niteliğe sahip agregaların (ince agregasız, hafif agregalı, bitkisel agregalı ve asbestli) yer aldığı veya hava ve gaz boşluklarının bulunduğu, birim hacim ağırlıkları 1600 kg/m^3 ' ten küçük olan hafif betonlardır [8].

Ayrıca ısı geçirimsizlik değerleri yüksek, mekanik işlemlere elverişli ve genellikle prefabrikasyon ürünü olduklarından, işçilik kalitesi ve ekonomi açısından rasyonel malzemelerdir. Mukavemetleri $5-10 \text{ N/mm}^2$ arasında değişir. Yapıda, duvar ve döşeme sistemi içinde kullanılmak amacıyla kalıplama şeklinde bloklar (briket) veya panolar halinde üretilebilir [9].

Bünyesinde sadece 10-20 mm çapında iri agrega bulunan, 200-250 kg dozajlı (mukavemeti $5-15 \text{ N/mm}^2$) ince agregasız betonlar.

Ponza (bims) taşı, tuf, tuğla kırığı, cüruf, vermikülit, perlit gibi hafif yapı agregaları kullanılarak üretilen, hafifliğini bünyesindeki agreganın özelliğinden alan (mukavemeti $2,5-12 \text{ N/mm}^2$, yoğunluğu $0,5-1 \text{ gr/cm}^3$, ısı iletim katsayısı $0,25 \text{ kcal/mh } ^\circ\text{C}$) hafif agregalı betonlar.

Ağaç, pirinç, hindistancevizi kabuğu, saz, şeker kamışı, ahşap artığı talaş gibi bitkisel esaslı agreganın çimento, alçı ve magnezyum esaslı bağlayıcılarla birleştirilerek

basıncılı kalıplama ile elde edilen, 5 x 10 cm kalınlığında (mukavemeti 1,5-2 N/mm², yoğunluğu 0,36-0,6 gr/cm³, ısı iletim katsayısı 0,38 kcal/mh °C), ilk defa heraklith (talaş levha) adı altında üretilen bitkisel esaslı betonlar,

%10-20 asbest liflerinin %40 su ve % 40-50 portland çimentosu ile karıştırılmasından elde edilen ve santrifüjden geçirilerek basınç altında 4-60 mm kalınlıkta, 330-125 cm boy ve 92-120 cm eninde düz veya ondüle edilerek şekillendirilen (ondüle genişliği l=1.77cm, yüksekliği h=7cm, mukavemeti 60 N/mm², eğilme mukavemeti 20 N/mm², yoğunluğu 1,75 gr/cm³, ısı iletimi 0,30 kcal/mh °C), ayrıca 5-60 cm çapında, basınçlı basınçsız boru şeklinde bulunan yanmaya karşı dayanımlı, su geçirimsiz, yapıda çatı ve cephe kaplaması olarak yer alan ilk defa eternith adı altında üretilmiş olan asbest betonları,

Çeşitli hava sürükleyici katkı maddeleri ilavesi ile beton bünyesinde % 2-6 miktarında, 150-300 mikron çapında hava kabarcıkları oluşturulan, yalıtım ve plastiklik özelliklerine sahip hava sürüklenmiş beton,

Kireç ve çimento bağlayıcı kullanarak meydana getirilen karışımın bünyesine alüminyum tozu katılarak kimyasal reaksiyon sonucu hidrojen gazı çıkması ile oluşan boşluklu dokulu, yapıda donatılı veya donatısız durumda döşeme, duvar blokları ve panoları olarak uygulaması yapılan (mukavemeti 1,5-2,5 N/mm², yoğunluğu 0,5-10,65 gr/cm³, ısı iletim katsayısı 0,2 kcal/mh °C, 50x25x7,5 – 15 cm boyutlarında), ilk defa Ytong adı altında üretilen gazlı betonlar, bu grup içinde yer alır.

Bunlardan herhangi biri ile, özel kalıplara dökülmek, dövme, pres veya vibre edilmek suretiyle, yapıda duvar ve döşeme dolgu malzemesi olarak kullanılan beton briketler üretilir. T.S. 406' ya göre, briketler 11-30 x 6-20 x 23-40 cm boyutunda, içi dolu veya delikli, 250-300 kg dozajlı, mukavemeti 3,5-7,5 N/mm², Sa = %20 değerinde olmalıdır.

Yine bu gurup içinde olan hafif beton ise ağırlığı az, ısı yalıtımı yüksek, mukavemeti normal betonlardan biraz düşük ve yanmaz bir malzemedir. Birim ağırlıkları 2,0 kg/lt ' nin altındadır. Birim ağırlığın küçültülmesi ısı iletkenlik katsayısını küçültür ve ses

yutuculuğu artar. Betonun birim ağırlığının azaltılması ise başlıca üç yolla yapılabilir.

Normal agregaların yerine boşluklu olan doğal ve yapay hafif agregaların kullanılmasıyla üretilen hafif agregalı betonlar hafif agrega ile üretilen yalıtım betonunda agrega olarak ponza taşı, genleşmiş perlit, genleşmiş kil, plastik köpüğü veya odun talaşı gibi çok hafif ve çok boşluklu agrega belirli granülometride ve uygun oranlarda çimento ile karıştırılarak kullanılırlar.

Üretilen hafif betonların çoğunluğu öndökümlü blok ve döşemeler şeklindedir ve karışım oranları hacimce yaklaşık 1/6 ile 1/10 (çimento/agrega) arasındadır. Bunlar genellikle iç bölmeler için kullanılırlar, dayanım ve kalınlıklarına göre yük taşıyan veya taşımayan olarak sınıflandırılırlar.

Yalıtım veya taşıyıcı yapıma özelliklerine göre birim ağırlıkları arttırılır veya azaltılabilir. Memleketimizde Nevşehir'de izobims hafif yapı elemanları fabrikaları ponza taşı briket ve hafif taşıyıcı elemanlar üretmektedir.

Beton içinde fiziksel veya kimyasal yolla büyük miktarda boşluk oluşturarak üretilen gaz ve köpük betonlar ; çok ince kum ile yapılmış sulu bir harç içine alüminyum tozu gaz çıkartıcı ve kabartıcı, yahut da çalkalandığı vakit köpürtücü maddeler katmak suretiyle elde edilir. Bu harç sertleşince sünger gibi boşluklu bir yapıya sahip olur.

Gaz veya köpük betonu fazla sulu yapıldığı için rötre ve sünme değerleri yüksektir. İyice kurumadan kullanılmaz. Birim ağırlığı 0,8 kg/lt, yalıtımı yüksek, çivi çakılabilen, testere ile kesilebilen, basınç mukavemetine göre 25-50 kg/cm² gibi sınıfları vardır.

İnce agrega içermeyen beton iri agreganın çimento ve su ile karıştırılması sonucu elde edilir. Agregası normal veya hafif olabilir ve tek büyüklükteki tanelerin baskın olması sağlanmalıdır [10].

Gerçekten agrega taneleri birbirine değme noktalarında saf çimento hamuru ile tutturulmuştur. Çimento hamurunun su/çimento oranı çok kritiktir. Çünkü çok katı olursa agrega tanelerini yeterince kaplamayacak ve çok yumuşak olursa agregalardan süzülerek alt kısımlara toplanacaktır. En iyisi aşırı emici agregaların kullanılmadan önce iyice ıslatılması ve süzülmesidir.

Normal özgül ağırlıkta agrega kullanıldığında karışım hacimce 1/8 ve su/çimento oranı 0,40 veya daha azdır. Karıştırılan betonun yerleştirilmesinde gecikme olmamalıdır. Isı izolasyon özelliklerinden başka yüzeyi sızdırmaz yapıldığında ince agrega içermeyen beton kılcallığa maruz değildir ve bir tabaka kalınlıktan (genellikle 200 mm/8 inç) her türlü hava koşullarına dayanıklı bir duvar elde edilebilir.

Günümüz beton teknolojisinde yeni yeni gelişmekte olan bu beton türünde beton içinde çeşitli yöntemlerle boşluk oluşturmak genel kuraldır. Boşluk oluşturmaya harç içinde veya iri agrega taneleri arasında veya agreganın içinde yapılır.

- Birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının azalması nedeniyle beton kalıbında daha düşük basınç oluşur, üretim ve yerleştirme kolaylaşır.

- Üretilen bu betonların yapıya vereceği yükler azdır, temel ve diğer yapı boyutları küçük boyutlu yapılabilir.

- Isı yalıtımları yüksektir.

- Yangın bakımından daha elverişlidir.

Bununla birlikte bazı sakıncaları da vardır. Bunlar boşluklu olmaları nedeniyle mukavemeti aşınmaya karşı dayanıklılığı azdır. Bu betonlar birim ağırlıklarına göre kullanma yönünden yalıtım betonları, orta mukavemetli taşıyıcı betonlar olarak kullanılırlar.

Ülkemizde hafif agrega olarak Kayseri, Nevşehir ve Van dolaylarında sadece doğal olanları vardır. Bunlardan da ponza taşı en çok bulunanıdır. Ponza taşı ile yapılan

hafif betonlar ise ya yalıtım ya da orta mukavemetli betonlardır. Bu hafif agrega ile daha güvenli taşıyıcı betonlar üretebilmek için ancak yarı hafif türden beton üretmek gerekir. Böylece doğal hafif agregaların daha rasyonel biçimde değerlendirilmesi söz konusudur [14].

Tablo 2.4. Hafif beton türleri, kullanım alanları, malzeme özellikleri

Türü	Hafif agregası Ve Beton türü	Özellikler		
		Birim ağırlık (kg/lt)	Basınç mukavemeti (kg/ cm ²)	Isı iletkenlik katsayısı (kcal/mh °C)
Yalıtım betonu	Genişletilmiş perlit, plastik köpüğü, gaz betonu	0,2 – 0,6	2- 25	0,05 – 0,20
Hem taşıyıcı hem yalıtım betonu	Bims beton, genleşmiş kil, cüruf betonu, gaz betonu	0,6 – 1,2	25-100	0,20 – 0,45
Taşıyıcı hafif beton, betonarme öngerilmeli beton	Genleşmiş kil, yüksek fırın cürufu, uçucu kül	1,2 – 3,0	150-160	0,45 - 100

Hava sürükleyici katkı ve yumuşatılmış beton tipleri ya betonyerde karışıma veya çimentoya katkı maddesi ilavesi ile (genellikle sıvı) yaparak üretilir. Hava sürükleyici katkı beton havalandırılmış veya köpüklü betondan iri agrega kullanılması ile ayrılır. Yine bu da yaklaşık % 3 ile 6 arası gibi küçük oranda hava içermesine rağmen hafif beton değildir. Normal hava veya su boşluklarından farklı olarak, sürüklenen hava dayanıklılığı azaltmayan küçük kabarcıklar halinde yayılmıştır; gerçekten bu beton, donmaya direnci ile ünlüdür. Hava sürükleyici katkı, dayanımda bir azalmaya sebep olmasına rağmen bu durum çoğunlukla sürüklenen

hava ile gelişen işlenebilirlik sayesinde daha düşük bir su/çimento oranı kullanılarak dengelenir.

Yumuşatılmış betonun işlenebilirliği normal yoğun betona göre daha iyidir, bunun sebebi ya katkı maddesinden dolayı karışım suyunun yüzey gerilmesinin azalması veya çok ince tozlardan dolayıdır (yani kireç veya silis). Bazı yumuşatıcılar az miktarda hava sürüklerler.

Hava içeriğinin ölçümü Karışım oranları bilindiği takdirde yumuşatılmış betonlardaki hava içeriği, harçlar için gravimetrik yöntemle tayin edilir. Karışımın ıslak yoğunluğu sıkıştırma faktörü aletindeki silindir ile uygun ölçüm yapılarak bulunur [12].

Bir diğer yaygın yöntem arazi ve laboratuvar deneylerine uygun basınçlı tipteki havametrelerin kullanılmasıdır. Belli hacimdeki normal sıkıştırılmış beton, hava geçirmez bir kap içerisinde basit bir el pompası ile sıkıştırılır. Bu işlem Boyle ilkesine göre hava içeriğinin hacminde azalmaya sebep olacaktır. Ticari havametreler belli bir basınç uygulandığında doğrudan hava içeriğinin yüzdesini verecek şekilde kalibre edilmiştir. Bu yöntemin kullanılması aşırı gözenekli agregalar için uygun olmamakla beraber, diğerleri için güvenilebilir sonuç verir. Yöntemin kullanılışı aşağıdaki deneyde verilmiştir.

Havametre ile betonun hava içeriği ; (Not : Aşağıda verilen yöntem 7,0 lt numune alabilen ve 1 bar basınç uygulandığında doğrudan okuma alınabilecek şekilde doğru kalibre edilmiş tipik ticari aletlerle uygulanabilir.)

Bunun için kullanılan aletler : havametre, numune kabı, kürek, 16 mm çaplı, 600 mm uzunluğunda yuvarlak uçlu çelik çubuk, lastik tokmak (250 gr), huni ve lastik tüp, büyük beher, kurutma bezi. Numune hava sürükleyici katkılı taze beton.

İlk yapılacak iş, beton aletin teknesine 3 tabaka halinde yerleştirilir. Her tabaka 25 defa çubukla tokmaklanır ve daha sonra teknenin dışından 15 defa lastik tokmakla vurulur. Üçüncü tabaka teknenin üzerinden biraz taşmalıdır.

Beton teknenin kenarlarına göre düzeltilir ve aletlerle birlikte verilen metal disk beton yüzeyine yerleştirilir. Teknenin kenarları temizlenir, contalar takılarak kelepçeleri sağlamca tutturulur.

Havametredeki düşey tüpe yarıya kadar su doldurulur (hava deliği açık), alet 300 eğilerek birkaç defa yuvarlatılır ve başlığı lastik tokmakla hafifçe vurularak içerdeki sıkışmış hava çıkartılır. Tüp düşey durumda iken su ile doldurulur ve ölçekteki sıfır göstergesine kadar boşaltılır.

Hava deliği kapatılıp, standart deney basıncı uygulanır ve yeni su seviyesinin verdiği hava içeriği okuması alınır.

Basınç kaldırılır ve su seviyesinin tekrar sıfır göstergesine gelmesi kontrol edilir. Arada fark var ise bu agreganın emiciliğinden dolayıdır ve bu değer ölçülen hava içeriği değerinden çıkarılmalıdır ve aletler temizlenir.

Taze numune ile bir sonraki deney yapılır. Alternatif olarak 1. adım betonun vibrasyonla sıkıştırılarak yapılabilir [15].

Sonuç olarak okuma değerleri ile bulunan toplam görünen hava içeriği elde edilen agreganın su emmesine göre düzeltilmelidir. Bu yine de agreganın emdiği havanın ihmal edilmesini sağlamaz. Genellikle normal yoğun agregalarda % 0,2 ile 1 arasındadır. Gerekirse uygun bir agrega düzeltme faktörü bulunur ve sonuçtan çıkartılır. Bu faktör agregalar ile aynı miktarda beton numuneler kullanılarak ayrı deneyler yapıp kolayca elde edilebilir. Düzeltilmiş iki deney sonucunun ortalaması alınır.

Hava sürükleyici katkısız beton normalde yaklaşık %98 civarında sıkıştırılabilir. Dolayısıyla ölçülen hava içeriğinden %2 çıkartılarak katkı miktarı elde edilir. Alternatif olarak karışımda katkı olmaksızın yapılan deney, çıkartılacak miktarı verecektir. Gazbeton, hem kullanımında ısı yalıtımında hem de üretim süresince enerjinin tasarruf edilmesine katkı sağlayan, hammaddeleri; kuvarsit (kum,kumtaşı) portland çimentosu, sönmemiş kireç ve suyun karışımından oluşan, çoğunlukla

kireçli ve silikatlı ham maddelerden meydana gelen ve basınçlı bir buhar ortamında sertleştirilen kalsiyumsilikathidratların oluşturduğu, yanmayan, özgün, gözenekli bir hafif beton yapı malzemesidir.

Gazbetonun önemli özelliklerinden biri gözenekli yapısıdır. Hacminin % 70-80' i boşluktur. Bu yapı hem düşük birim hacim ağırlığını hem de yüksek ses yalıtımını sağlamaktadır. Gazbetonun karakteristik dayanımına, basınç mukavemeti ve kuru birim hacim ağırlıklarına göre sınıflandırabiliriz. Tablo 2.5. de karakteristik dayanımına göre değerler verilmiştir.

Gazbeton ülkemizde G1, G2, G3, G4, G6 olarak isimlendirilir. Bu isimler malzemenin basınç mukavemet değerlerine bağlıdır. Sınıf işareti ise birim hacim ağırlığa göre belirlenir [16].

Tablo 2.5. Karakteristik dayanımına göre değerler

Özellik	Düşük	Orta	Yüksek
Basınç dayanımı(Mpa)	<1,8	1,8 – 4,0	>4
Elastisite modülü(Mpa)	<900	900-2500	>2500
Kuru birim ağırlık(kg/m ³)	200-400	300-600	500-1000
Isıl iletkenlik(kuru) (w/mk)	>0,10	0,06 – 0,14	>0,12

Tablo 2.6. Basınç mukavemetleri ve kuru birim hacim ağırlıklarına göre değerler

Sınıf	Basınç mukavemeti ortalama asgari değer (kgf/cm ²)	Basınç mukavemeti en küçük değer (kgf/cm ²)	Birim hacim ağırlık	Ortalama birim hacim ağırlık	Sınıf işareti
G1	15	10	0,4 – 0,5	0,31 – 0,40 0,41 – 0,50	G 1/0,4 G 1/0,5
G2	25	20	0,4 – 0,5	0,31 – 0,40 0,41 – 0,50	G 2/0,4 G 2/0,5
G3	35	30	0,5 – 0,6	0,41 – 0,50 0,51 – 0,60	G 3/0,5 G 3/0,6
G4	50	40	0,6 – 0,7	0,51 – 0,60 0,61 – 0,70	G 4/0,6 G 4/0,7
G6	75	60	0,7 - 0,8	0,61 – 0,70 0,71 – 0,80	G 6/0,7 G 6/0,8

Günümüzde gazbeton üretimi çeşitli oranlardaki bağlayıcı malzemelerle yapılabilmektedir. Bu üretim kireç ve çimentonun miktarlarının oranlarının birbirine göre fazla veya az olmasına göre kireç esaslı veya çimento esaslı üretim diye de sınıflandırılabilir.

Gazbeton üretim süresince hammadde hazırlama esnasında çimento hazır gelmektedir. Kum veya kuvarsit değirmende istenilen inceliğe getirilmektedir. Kireç ise hazır gelebilir veya parça kireç kullanılıyorsa değirmende istenilen inceliğe getirilir. Kum veya kuvarsitin bilyalı değirmenlerde yaş öğütme sistemiyle öğütülmesi yaygındır.

Gazbetonun bileşenlerini Kum/Kuvarsit, Kireç, Çimento, Alüminyum oluşturmaktadır. Bu malzemelerin kimyasal reaksiyonları, malzemenin düşük yoğunluktaki yüksek basınç mukavemeti buhar sertleşmesi ve oktaklavdaki buhar sertleşmesi sonucunda meydana gelir [9].

Tablo 2.7. Gaz Beton içeriği yüzdesi

	Yüzdesi(%)
CaO (kalsiyumoksit)	18-36
SiO (silisyumdioksit)	32-58
Al ₂ O ₃ (alüminyumoksit)	2,4
MgO (magnezyumoksit)	<2
Fe ₂ O ₃ (demiroksit)	2
Alkali	<1
Diğer	1-4
Ateşte kayıp	8-12

Alüminyum tozu dışarıdan alınmaktadır. Çimento ve kireç fabrikanın kendi diğer bölümlerinden alınmaktadır ve üretim tesisinin çatı kısmındaki özel olarak hazırlanmış silolarda depolanmaktadır. Kum (silis kumu), kum değirmenlerinde öğütülerek 90 mikron incelik boyutuna getirilmektedir.

Değirmende öğütülen kuvarsit; çimento kireç, alüminyum tozu ve su ile karıştırıldıktan sonra elde edilen gazbeton harcı 6 metre boyundaki formelere dökülür. Gazbeton harcı, içinde bulunan kirecin su ile reaksiyona girmesi sonucu yüksek ısı açığa çıkar. Açığa çıkan bu ısı alüminyum tozunun kabartıcı etkisiyle gazbeton hamurunun kabarmasını ve gözenekli bir yapı kazanmasını sağlar.

Kabaran ve gözenekli bir yapıya sahip olan bu kütle belli bir sertlik kazandıktan sonra otomatik kesme makinasında çelik teller yardımıyla TSE normlarına uygun ölçülerde kesilir.

Önyapımlı donatılı elemanların çelik hasırları, otomatik punto kaynak makinalarında hazırlanır. Hazırlanan çelik hasırlar bitümle kaplanır ve döküm kalıplarına önceden monte edildikten sonra üzerlerine gazbeton harcı dökülür.

Kesim işlemleri tamamlanan gazbeton kütlesinin düşük yoğunluk ve yüksek basınç mukavemetine erişmesi için otoklavlarda 12 atmosfer basınç ve 190 °C sıcaklıktaki doymuş buharla 11-12 saat süre ile sertleştirilir.

Malzeme otoklavlardan çıktıktan sonra TSE normlarına uygun mukavemet ve hacim sertliğine ulaşmış olur. Bundan sonra otomatik boşaltma makinalarında boşaltılır ve stok sahasına alınır, bir gün bekletildikten sonra sevk edilir [15].

Özellikleri şu şekildedir. Betondan 13, delikli tuğladan 2-4 kez daha fazla ısı yalıtımı özelliğine sahiptir. Bu nedenle kalorifer ilk tesis masraflarından ve yapı ömrüncü yakıttan önemli tasarruf sağlar. Gazbeton ile yapı yazın serin, kışın sıcak olur.

Gazbeton'un ısı yalıtımını sağlayan unsuru, küçük gözenekler arasında sıkıştırılmış kuru havadır. Hacminin % 84'ü kuru havadan oluşan ve kuru birim hacim ağırlığı 400 kg/m³ olan gazbeton, doğal olarak başka hiçbir yalıtım malzemesine gerek duymadan ısı yalıtımını sağlayan bir yapı malzeme ve elemanıdır.

Yapılarda gazbeton kullanımı ek hiçbir zahmet getirmediği gibi pek çok konuda kolaylıklar sağlamaktadır. Örneğin; milimetrik ölçülere sahip olduğundan sıva kalınlıkları azaltılabilmekte, işlenmesi kolay olduğu için muhtelif tesisat işleri kolaylaşmakta, kesilebildiği için malzeme kaybı en aza inmekte, hafif olduğu için binaya fazla yük binmesi önlenerek dolayısıyla diğer malzemelerden de tasarruf sağlanmaktadır.

Gazbeton betondan 6, tuğladan 3 kez daha hafif olması nedeniyle; nakliyeden, demir ve çimentodan önemli tasarruf sağlar. Yapı hafiflediği için deprem emniyeti artar, her türlü zemin şartlarında güvenle inşa edilebilir.

Yapı malzemeleri birim ağırlıklarına bağlı olarak farklı özellikler gösterirler. 100 kg/m³ birim ağırlığa kadar olan malzemeler yüksek ısı yalıtım özelliğine sahip olmalarına karşı taşıma güçleri yoktur. Buna karşın 800-2000 kg/m³ birim ağırlıktaki yapı malzemeleri ise yüksek taşıma gücüne karşı kötü ısı tutucu malzemelerdir.

Bu özellikleri dolayısı ile bu iki grup malzemenin yapıda ancak birlikte ve çok katmanlı veya sandviç tabir edilen boşluklu duvar tipinde kullanılması zorunlu olmaktadır. Nitekim bu gruba giren delikli blok tuğla ısı yalıtımı şartlarını yerine getirebilmek için yalıtım takviyesi ile çok tabakalı olarak kullanılabilir. Çok tabakalı duvar ise işleme güçlüğü, maliyet, detay sorunları, deprem güvenliği, buhar kondenzasyonu gibi sorunları da beraberinde getirmektedir [14].

Deprem kuşağı üzerinde bulunan ve yangına karşı alınan tedbirlerin de yeterli olmadığı ülkemizde, bu sistemle inşa edilen yapılarda, deprem yönetmeliğinin istediği şartlar ve yangına karşı emniyet tedbirleri, yeterli denetim ve yaptırımlar etkili olmadığı için hiçbir şekilde uygulanmamakta, muhtelif facialar gözardı edilmektedir. Nitekim, benzer facialar çok yakın geçmişte çevremizdeki ülkelerde yüzbinlerce kişinin ölümüne, milyarlarca dolarlık maddi kayba neden olmuştur.

Deprem Araştırma Enstitüsü, yaptığı araştırma ve çalışmalarda, aşağıdaki noktalara dikkat çekmektedir.

Tuğla yığma yapıların genellikle deprem açısından zayıf yapılar olduğu bilinmektedir. Bunların duvarlarının arasında hava boşluğu bırakılarak çift katlı yapılması ile birbirinden bağımsız iki duvar ortaya çıkmaktadır. Bu iki duvarın birtakım usullerle birbirine bağlanması mutlaka gereklidir. Bu duvarların deprem açısından durumu konusunda en son Amerikan ATC Taslak Yönetmeliği, bu tip yapıların özellikle duvar düzlemine dik deprem kuvvetleri karşısında çok zayıf olduklarını ileri sürmekte ve sadece önemsiz ve az katlı yapılarda kullanılması önerilmektedir. Isı tecridi için daha modern ve daha başka ekonomik yöntemlerin kullanılması önerilmektedir

Gazbeton ise 400-600 kg/m³ birim ağırlıkta malzemeler grubuna girmekte, her iki grubun da özelliklerine sahip bulunmaktadır. Nitekim bugün gazbeton Türkiye'de ve Dünyada hem ısı yalıtım yönetmeliklerinin öngördüğü yalıtım şartlarını karşılayabilmekte hem taşıyıcı görevini yerine getirmekte hem de yapılarda deprem güvencesi sağlamaktadır [15].

Gazbeton, beton sınıfına girmesine karşın ahşap gibi kolayca işlenebilir. Testere ile kesilebilir, matkap ile delinebilir, rendelenebilir, çivi çakılıp vidalanabilir, tesisat için kolaylıkla kanallar açılabilir. Kesilebildiği için malzeme kaybı en aza inmektedir.

Gazbeton fabrikada özel makinelerle milimetrik hassasiyetle boyutlandırılır. Böylece malzemenin düzgün olması nedeniyle yalnız perdah sıva ile yetinilmesini sağlar. Sıva kalınlıklarının azaltılmasıyla işçilik ve zamandan tasarruf sağlamaktadır.

Kaplama Betonları ise Şantiyede, yerinde dökme betonu ile, düzeltme harcı üzerine 2,5-5,0 cm kalınlıkta, en uzun kenarı 1,5 m ve alanı $2m^2$ 'den fazla olmayacak şekilde derzli olarak dökülen, döküldükten 3-5 gün sonra bünyesindeki agrega (mermer pirinci veya aynı sertlikte renkli doğal taş pirinci) yüzeyleri ortaya çıkacak şekilde karborondum disklerle silmeye tabi tutulan Dökme Mozaik ve üst katı oluşturan beton içine doğal taş veya mermer parçalarının elle yerleştirilip aralarının harçla doldurulması sonucu elde edilen Palladiyen Döşemeyi bu grup içinde saymak mümkündür.

Kaplama beton tipi olan mozaik betonu Bu yoğun bir beton olup özellikle döşeme yüzeylerinde sürtünme ve aşınmaya karşı dirençlilik için yapılır. Düşük su içerikli zengin karışımlar gerekir. İri agrega özellikle tane şekli iyi (pul pul veya uzun değil), sert ve dayanıklı olmalıdır ve silt ve çok ince taneler içermemelidir. Uygun tipte olanlar bazalt, gabro, hornfel, bazı kireç taşları, porfir (somaki taşı) ve kuvarsit içerir. İnce agrega doğal kum kırma çakıl veya iri agregaya uygun taşlardan birinin kırması olabilir. Mozaik betonunun dökülmesi ve yüzey bitimi için kalın döşeme dolgusundaki adımlar takip edilir [15].

2.1.3.2. Dekoratif yüzeyli betonlar (brüt beton)

Brüt beton, bilinçli olarak önceden tasarlanmış, üst yüzeyi görülecek şekilde doğal görünümü ile bırakılan veya çeşitli dokusal etkilerin arandığı, yüksek kaliteli ve kalıp sisteminde aşırı özen gösterilen beton yüzeylerdir.

Brüt beton yüzeyler, taşıyıcı beton sisteminin bir yüzeyi şeklinde düşünülmemekte veya taşıyıcı sisteme bir kaplama elemanı olarak uygulanmaktadır. Brüt beton yüzeylerin oluşmasında önemli rol oynayan kalıp yapımında metal, plastik, suni ahşap ve geçmeli doğal ahşap gibi malzemeler kullanılır. Ayrıca çeşitli dokusal yüzeylerin meydana getirilmesi için bu kalıp sistemi içinde alçı, kanaviçe, plastik, ahşap veya metal kalıp astarları da yer almaktadır. Kalıp sistemleri yatay ve düşey hareketli veya aşırı özen gösterilmiş klasik sistemle olabilir. Ancak klasik sistemde geçmelere, takviyelere ve genellikle bulonlu birleşimlere önem verilmelidir. Elde edilen brüt beton yüzeyler üzerinde üretimden sonra gerektiğinde yıkama, fırçalama, kırma veya asitle silme gibi işlemler yapılabilir. Brüt beton uygulamasında meydana gelecek herhangi bir hatanın giderilmesi çok zor ve hatta imkansızdır.

2.1.3.3. Püskürtme betonlar

Püskürtme betonu hazırlanan bir beton karışımının basınçla püskürtülmesi esasına dayanır. Ancak püskürtülen bu karışımın püskürtüldüğü yüzeyde kalıcı olabilmesi için çok kısa bir sürede prize başlaması gereği ortaya çıkmaktadır. Püskürtme betonunun prize başlaması saniye ile ifade edilmektedir. Püskürtme betonunun prize başlaması 75 sn, prizın tamamlanması ise 150 sn olarak belirlenmiştir.

Püskürtme beton kuru yada ıslak olarak hazırlanan karışımın basınçlı veya pompalarla boru hortum içinde 300 – 500 m. uzaklığa ve 100 m. yüksekliğe kadar taşımak ve oradan basınçlı hava ile püskürtmek mümkündür. Bu özelliklerinden dolayı püskürtme beton yüzme havuzu, sıvı depoları, kabuk çatılar, tünel kaplamaları vs. başka özellikle onarım ve takviye işlerinde öncelikle kullanma alanına girer.

Püskürtme betonlar üç çeşittir ; Portland çimentosu, normal agrega ve gerektiğinde alışımlı katkı maddesi karışımından oluşan normal tip püskürtme betonu. Kullanım alanları yeni inşa edilen su tankı, kanal, tavan, duvar, yüzme havuzu ve kanalizasyon sistemleridir. Ayrıca kaplama maddesi olarak ve eski yapıların tamirinde kullanılmaktadır.

1920 'li yılların ortasından bu yana kullanılmakta olan kolay işlenemeyen püskürtme betonu. Bu tip püskürtme betonu başlangıçta sanayi yapılarının tamiratında kullanılmaktaydı. Bu gün ise kimyasal, mineral ve seramik üretim santrallerinde uygulanmaktadır. Birkaç metre kalınlıkta uygulamak mümkündür.

Paslanmaya ve kimyasal etkilere dayanıklı olması gereken yerlerde uygulanan özel tip püskürtme betonu. Portland çimentosu, agrega ve özel karışım katkı maddelerinden oluşur. Sodyum ve potasyum silikat, magnezyum fosfat ve polimeri içerir. Priz hızlandırıcı ve geciktirici katkı maddesi ve puzzolan kullanılır. Genellikle asidik ve bazik malzeme depolarında, bacalarda, kimyasal atık alanlarında ve fazla aşınmaya maruz yapılarda uygulanmaktadır.

2.1.3.4. Vakum, pompa ve prepekt Beton

Vakum betonu betonda yeterli işlenebilirlik, uygun su/çimento oranı ve gereğinden fazla katılan su önemli problemlerdendir. Bu problemin çözüm yollarından birisi, betonun vakum işlemine tabii tutulmasıdır. Bu amaçla, kalıba yerleştirilen taze betonda bulunan fazla su, yüzeye uygulanan vakum sayesinde belirli derinlikten alınarak uzaklaştırılır. Bu işlem sonucu, kolay işlenebilme amacı ile katılan suyun bir kısmı alınarak beton dayanım ve dayanıklılığında önemli iyileşmeler sağlanabilmektedir.

Beton yapımında karışıma giren suyun çimento ile kimyasal reaksiyon (hidratasyon) meydana getirerek betonun dayanım kazanmasını sağlamak ve betonun işlenebilmesini temin etmek amacı ile katıldığı bilinmektedir.

Jel fazı kılcal boşluklar tarafından kesilmektedir. Kılcal boşluklar hidratasyon olayı için gerekli olan sudan fazla su (işlenebilme suyu) katılması nedeni ile meydana gelmektedir. Eğer karışıma giren su hidratasyonun gerektiği kadar olsaydı kılcal boşlukların olmaması gerekirdi. O halde, işlenebilme için katılan suyun bir kısmının geri alınması durumunda, kılcal boşlukların azalması nedeni ile betonun dayanımında artış olması kaçınılmazdır.

Pompa betonu, yerleştirme yerlerine kadar basınçlı borular içinde iletilen betonlardır. Pompa betonlarının kesintisiz dökülmesi gerekir. O amaçla basınçlı borular içinde hava kabarcıkları oluşmaması ve betonun donmaması çok önem arz etmektedir.

Pompa betonlarında agreganın maksimum tane çapı iletim borusu çapının 0,40 katından fazla olmamalıdır. Pompa betonlarında mıcır kullanılması tercih edilmemeli, bunun yerine yuvarlak agra tercih edilmelidir. Maksimum tane çapı 20 mm'yi aşmamalıdır. Pompa betonlarında kıvam akıcıya yakın plastik seçilmelidir. Karışıma giren çimento inceliğinin yüksek, kum miktarının yeterli olması gerekmektedir. Fazla oranda su katılarak kıvamın yükseltilmesi yerine bazı katkı maddelerinden yararlanarak kohezyonun (kendini tutma) özelliğinin artırılması yoluna gidilmelidir.

Pompa betonları oluşturan elemanların hassas olarak ölçümleri ve mikserlerle daha homojen karışımları sayesinde dayanımları daha yüksek betonlar üretilebilmektedir. Diğer taraftan hızlı döküm, işgücünü azaltması ve şehir içlerindeki yapıların beton dökümü sırasında verdiği bazı olumsuzlukları önlemesi bakımından pompa beton çok önemlidir.

Prepekt Betonuna prepekt agregalı beton denilmesi daha doğru olabilir. Çünkü bu yöntemde, hazırlanan kalıpların içersine 3-5 cm çapında harç doldurma boruları yerleştirilir ve kalıpların içi iri agregalarla doldurulur (tane çapı en az 12 mm), mümkünse sıkıştırılır. Maksimum tane çapı 2 mm'yi aşmayan çok yüksek dozajlı harç ($500-600 \text{ kg/m}^3$) doldurma boruları yardımı ile enjekte edilir. Bu betonlar süreksiz granülometreli agregalarla yapıldığı için süreksiz granülometreli beton türü olduğu anlaşılmaktadır.

Prepekt betonlar onarım işlerinde, deniz altı beton dökümlerinde ve kesonlar içine dökülen büyük kütle betonlarında kullanılır. Prepekt beton harcının ince ve koheziv değerrinin yüksek olması için çimento tanelerinin çok iyi bir şekilde dağılması ve topaklanmaması gerekir.

2.2. Betonun Bileşenleri

2.2.1. Agregası

2.2.1.1. Agregası nedir

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelerin genel adı agregasıdır. Beton agregası, beton veya harç yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı malzeme ile birlikte biraraya getirilen, organik olmayan, doğal veya yapay malzemenin genellikle 100 mm'yi aşmayan (hatta yapı betonlarında çoğu zaman 63 mm'yi geçmeyen büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış tanelerin oluşturduğu bir yığındır. Beton yapımında kullanılan çeşitli agregalardan bazı örnekler şunlardır: kum, çakıl, kırmataş, yüksek fırın cürufu, pişmiş kil, bims, geliştirilmiş perlit ve uçucu külden elde edilen uçucu kül agregası.

Agregalar betonun hacminin yaklaşık olarak %70-75 ini oluşturur. Betonda agregası kullanılması 'ekonomik' ve 'teknik' özellikler bakımından büyük yararları bulunmaktadır. Çimento, agregası ve su karışımından yapılan betonun, hacim olarak yaklaşık 3/4'ü agregası tarafından oluşturulmaktadır [21].

Betonda agregası kullanılması sağladığı teknik özelliklerin başında, sertleşen betonun 'hacim değişikliğini' önlemesi veya azaltması sertleşmiş betonun 'aşınmaya karşı dayanımını' artırması, çevre etkilerine karşı 'dayanıklılığını' artırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı 'dayanımı' sağlayabilmesi gelir [2].

Betonda kullanılan agregasının dayanıklılığı, gözenekliliği, su geçirgenliği, mineral yapısı, tane şekli, gradasyonu, tanelerin yüzey pürüzlülüğü, en büyük tane boyutu, elastiklik modülü, termik genişleme katsayısı, agregada kil olup olmadığı ve agregasının temizliği gibi birçok özellik beton dayanıklılık türlerinin bir veya daha fazlasını etkilemektedir. Şekil 2.1. de örnek olarak bir agregası ocağında görünüm yer almaktadır.



Sekil 2.1. Agreganın ocağından görünümü

Agreganın fiziksel özellikleri denildiğinde göz önüne alınan başlıca özellikler; Agregadaki mevcut rutubet durumu ve agreganın su emme kapasitesi, özgül ağırlık, birim ağırlık ve boşluk oranı, porozite (gözeneklilik), donma-çözülme ve diğer fiziksel etkenlere karşı dayanıklılık [21].

Agrega üretim merkezlerinde, beton santrallerinde ve şantiyelerde agreganın yığınlarının depolanmasında ve taşınmasında aşağıdaki hususlara dikkat etmek gerekmektedir.

Agrega tanelerinin kirlenmemesi için önlem alınmalıdır. Agreganın kirlenmemesi veya dikkatsizlik sonucu agreganın içerisine zararlı maddelerin girmemesi için gerekli önlem gösterilmelidir. Agreganın yığınları oluşturulurken, mümkünse sert ve temiz bir zemin seçilmeli veya beton döşeme hazırlanarak agregalar bu döşeme üzerine yığılmalıdır; Tabana önceden kum, çakıl veya kaya parçaları da serilerek agreganın yığını böyle bir zemin üzerine oturtulabilir. Agregadaki suyun yığından dışarıya kolayca drenajını sağlayabilecek önlemler alınmalıdır. Çevredeki gevşek toprak tanelerinin rüzgar etkisiyle agreganın tanelerinin arasına karışmamasına dikkat edilmelidir [3].

Ayrılmaya neden olunmamalıdır. Agregaların bir yere yerleştirilmesi, depolanması veya taşınması esnasında iri agregaların ve ince agregaların bir yığın içerisinde adeta ayrı ayrı kümeler oluşturarak 'ayırışma (segregasyon)' yapmasını önleyecek önlemler alınmalıdır [4].

Beton içinde hacimsel olarak %60-75 civarında yer işgal eden agrega önemli bir bileşendir. Agregalar;ince (kum,kırma kum..gibi) ve kaba (çakıl,kırmataş...gibi) olarak ikiye ayrılır.Agregalarda aranan en önemli özellikler şunlardır:

- Sert dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler içermemeleri (Deniz kabuğu, odun, kömür parçası..vb..)
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları
- Toz,toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri
- Alkali reaksiyonu göstermemeleri

Beton agregalarında elek analizi,yassılık,özgül ağırlık ve su emme gibi deneyler uygun aralıklarla yapılarak kalite sürekliliği takip edilmelidir.

2.2.1.2. Agreganın çeşitleri ve özellikleri

Agrega, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımı ile biraraya getirilen, organik olmayan, kum, çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın curufu, genişletilmiş perlit, kenleştirilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemelerdir [21].

Agreganın beton yapımında ekonomik ve teknik yönden çok önemli bir konumu bulunmaktadır. Agreganın maliyeti çimentoya göre oldukça düşük olduğundan, agrega betonda kullanılan ve oldukça ucuz olan bir dolgu malzemesi olarak kabul edilmektedir. Betonda agrega kullanılması, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemekte veya azaltmakta, çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığını arttırmakta ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonda gerekli dayanımın sağlanmasına yardımcı olabilmektedir. Agreganın kaba ve ince agrega olarak iki kısımda incelenebilir. Şantiyelerde kaba agrega "mıncır" yada "çakıl", ince agrega

"kum" olarak isimlendirilir. Bu iki bileşeni tane büyüklüğü olarak birbirinden ayırmak için kullanılan kriter 4 mm boyutudur. 4 mm den iri boyuttaki tanelerden oluşan kısma kaba agrega, 4 mm den küçük boyuttaki kısma ince agrega denir. Beton hacminin %60-80'ini agrega bileşeni meydana getirdiği için, seçiminde titizlik gösterilmesi gerekmektedir. Agregası, gereken mukavemete sahip olmalı ve dış etkenlere dayanabilmelidir. Agreganın fiziki ve mekanik özellikleri istenilen şartları karşılayabilecek nitelikte olmalıdır. Aşınmaya maruz kalacak bir betonun agregası yatarlı aşınma mukavamatine sahip olmalıdır. Don yapan iklimlerde kullanılacak betonun agregası ise dayanıklılık bakımından don etkisi için konmuş standartları karşılamalıdır. Agregası bileşeninin uygun bir tane boye dağılımı (granülometri) göstermesi çok önemlidir. İyi bir granülometriye sahip agrega içindeki hava boşluğu, daha az olacaktır. Dolayısı ile, yoğunluğu da artacaktır. Bu şekilde, toplam beton hacmi içinde çimento-su harcı daha ekonomik olarak kullanılabilir ve beton istenilen yere kolaylıkla, kalitesi bozulmadan yerleştirilebilir. Betonun sıkıştırılmasındaki kolaylık veya zorluğuna işlenebilirlik denir. "Segregasyon" diye tabir edilen husus betonda agrega ile harcın ayrışmasıdır. Ağır olan agrega aşağı kısımda kalırken ince harç ve su betonun üst kısmında toplanır. Dolayısı ile arzu edilen dayanıklılığa erişilemez.

Betonda agrega kullanılmasının sağladığı teknik özelliklerin başında; sertleşen betonun "hacim değişikliği" önlenmesi veya azaltılması, sertleşmiş betonun "aşınmaya karşı" dayanımını artırması, çevre etkilerine karşı "dayanıklılığını" artırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı gerekli "dayanımı" sağlayabilmesi gelir. İçerisinde agrega bulunmayan bir sisteme göre çok daha az hacim değişikliği (büzülme) gösterir. Yani, çimento hamurunun zamanla kurumması nedeniyle yapacağı büzülme ve meydana gelebilecek çatlamlar agrega tarafından belirli bir ölçüde engellenmiş veya sınırlandırılmış olur.

Agregası (Kum-Çakıl) doğal yapay veya her iki cinsi yoğun mineral malzemesinin genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış ve/veya kırılmış tanelerinin bir yığındır. Aşağıda agrega çeşitleri ve özellikleri hakkında temel tanımlar verilmektedir. Doğal agrega doğal taş agrega; teraslardan, nehirlerden, denizlerden, göllerden ve taş ocaklardan elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregadır [5].

Yapay Agregada yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır. (Yapay taş veya Yapay kum da denir.) İri Agregada 4 mm açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır. Çakıl kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregadır. Kırmata kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadır. Kum kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Kırmata kum kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Çakılın kırılması ile elde edilir. Karışık agregada ince ve iri agregada karışımıdır. Doğal karışık agregada (tuvenan agregada), agregada ocağından, kırıcıdan veya sanayiden doğrudan doğruya elde edilen karışık agregadır.

Maksimum tane büyüklüğünden büyük taneleri ayırmak için elenmiş agregalara da doğal karışık agregada denir. Hazır karışık agregada ince ve iri agreganın veya birkaç tane sınıfına ayrılmış bu agregaların belirli tane dağılımı (granülometri) sağlayacak şekilde beton yapımı sırasında yerinde birbirine karıştırılması ile meydana gelen agregadır. Agregada standartları agregada kullanma yeri ve amacına göre, granülometrik bilişim, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, dona dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından TS 706 standartının gereklerini yerine getirmelidir. Ayrıca, suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir [2].

Tane dağılımı agreganın tane dağılımı, granülometri eğrileri (elek eğrileri) ve gerektiğinde bu eğrilere bağlı olarak tayin edilen incelik modülü, özgül yüzey ve su istek katsayıları ile belirtilir. Beton yapımında kullanılan agregalara ait tane dağılımları Şekil 2.2., Şekil 2.3., Şekil 2.4. de verilen değerlere uygun olmalıdır.

Tane şekli agregada tanelerinin şekli, olabildiği kadar küresel ve kübik olmalıdır. Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'den büyük olan tanelere şekilce kusurlu taneler denir. Şekilce kusurlu taneler (yassı veya uzun taneler) oranı, 8 mm'nin üzerindeki agregalarda ağırlıkça %50'den çok olmamalıdır.

Tane dayanımı agregada taneleri, istenilen özellikli bir betonun yapımına elverişli olacak kadar dayanıklı olmalıdır. Bu özellik, doğal olarak oluşmuş kum ve çakılda veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalarda, doğada uğradıkları ayıklanma olayı

ile sağlanmaktadır. Betonun yapımında kullanılacak agregalar %30'dan, diğer agregalar için ağırlıkça %45'den az kayıp bulunmuş ise agrega yeterli olarak kabul edilir.

Dona dayanıklılık bir agreganın dona dayanıklılığı öngörülen kullanma amacı için yeterli olmalıdır. Doğal olarak oluşmuş kum ve çakıl veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalar, doğada uğradıkları ayıklanma olayı dolayısıyla çoğunlukla çok az miktarda dona duyarlı taneler içerir. Sürekli donma ve çözünme olamayan yörelerde bu özellik aranmaz [21].

Zararlı maddeler betonun prizine (katılaşmasına) veya sertleşmesine zarar verem, betonun dayanımını veya doluluğunu (kompositesini) azaltan, parçalanmasına neden olan veya donatının korozyona karşı korunmasının tehlikeye düşüren maddelerdir. Dağılıp ve miktarlarına bağlı olarak zararlı etkiyen maddeler şunlardır. Yıkanabilir maddeler, organik kökenli maddeler, sertleşmeye zarar veren maddeler, bazı kükürtlü bileşikler, yumuşayan, şişen ve hacmi artıran maddeler, klorürler gibi korozyona sebep olan maddeler ve mikalar.

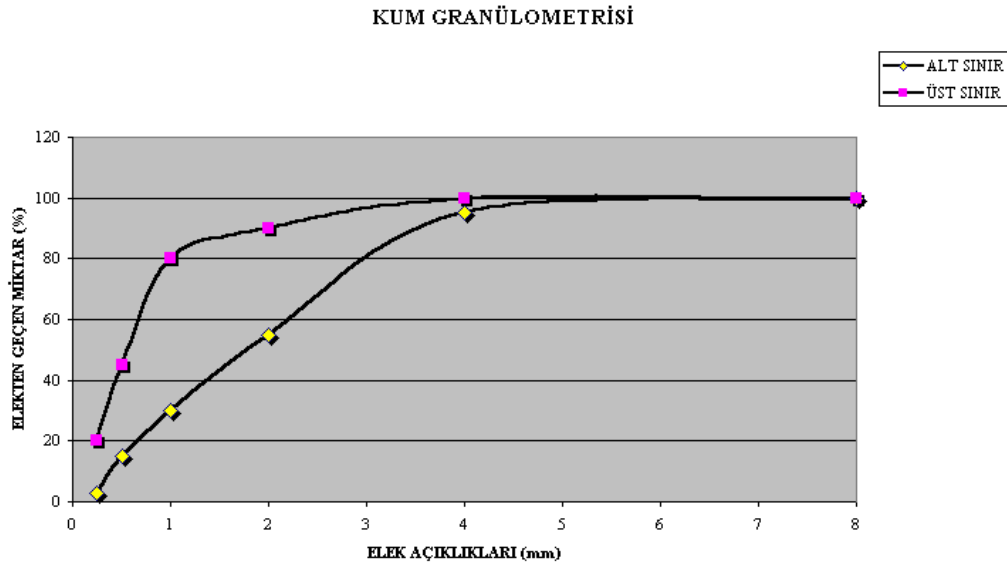
Yıkanabilir maddeler yıkanabilir maddeler, agregada ince halde dağılmış veya topak halinde veya agrega tanelerine yapışık olarak bulunabilir. Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unudur. Organik kökenli maddeler humuslu ve diğer organik maddeler ince dağılmış halde iken betonun sertleşmesine zarar verebilirler. Taneli halde buldukları zaman renk değişmesine veya şişerek betonun yüzeyinde patlamalara neden olabilirler [2].

2.2.1.3. İnce ve iri agregalar için granülometrik dağılım (TS530)

Beton dökümünde kullanılan kumlar belli bir tane boyutu dağılımına sahip olmalıdır. Yani, eleme sonunda elekten geçen malzeme yüzdeleri Tablo 2.8.'e uygun olmalıdır. Ayrıca Şekil 2.1.'de beton kumları için granülometrik dağılım eğrisi verilmiştir [5].

Tablo 2.8. TS elek sistemine göre beton kumu granülometrisi

Elek Açıklığı (mm)	Elekten Geçen Malzeme (%)	
	Min.	Max.
8	100	100
4	95	100
2	55	90
1	30	80
0,50	15	45
0,25	3	20



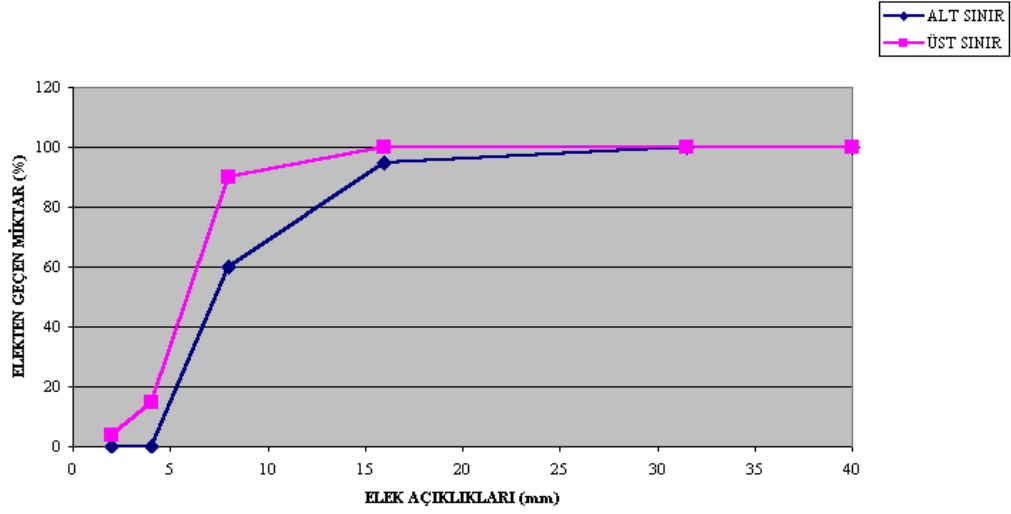
Şekil 2.2. İdeal kumun granülometrik dağılımı

İri arega içinde tane boyutu dağılımı çok önemlidir. Eleme sonunda elekten geçen malzeme yüzdeleri Tablo 2.8.'e uygun olmalıdır. Ayrıca Şekil 2.2., 2.3. ve 2.4.'de iri agregalar için granülometrik dağılım eğrileri verilmiştir [6].

Tablo 2.9. TS elek sistemine göre iri agrega granülometrisi

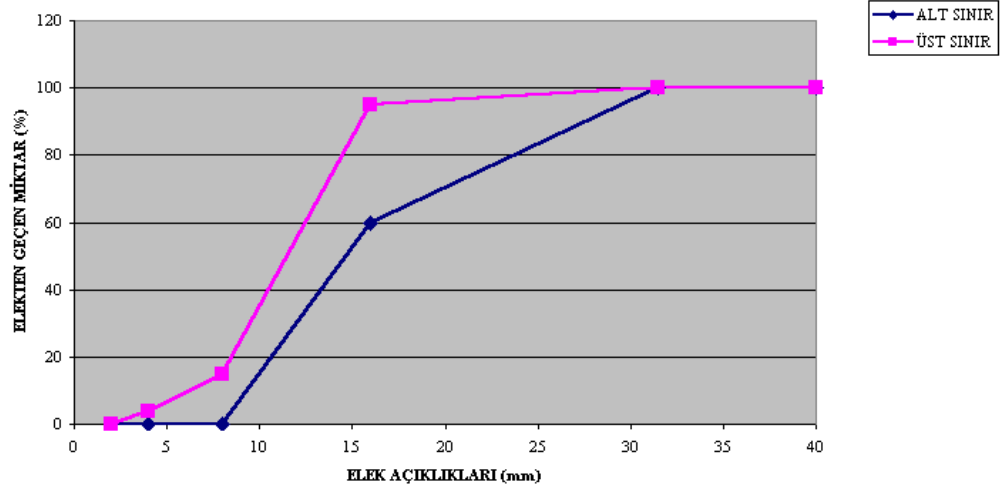
Elek Göz Açıklığı (mm)	ELEKTEN GEÇEN MALZEME (%)				
	I Nolu Mıdır	II Nolu Mıdır	III Nolu Mıdır	Balast Tuvenan	Çakıl veya Karışık Mıdır
40	100	100	100	100	100
31,5	100	100	100	0-20	95-100
16	95-100	60-95	0-20	0-10	50-70
8	60-90	0-15	0-5	0-3	20-34
4	0-15	0-4	-	-	0-10
2	0-4	-	-	-	-

NO I MİCİR GRANÜLOMETRİSİ



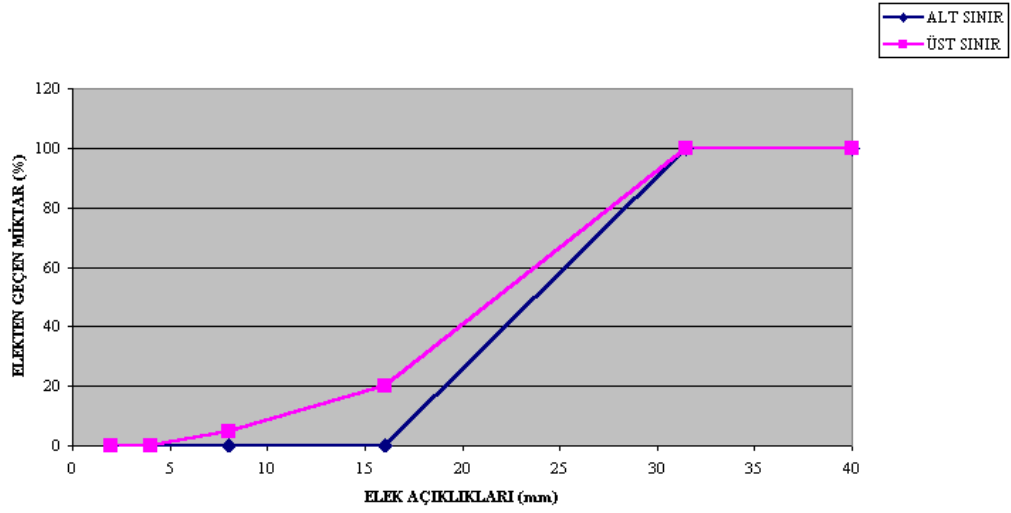
Şekil 2.3. I nolu mıdır için granülometri ğrisi

NO II MICIR GRANÜLOMETRİSİ



Şekil 2.4. II nolu micir için granülometri eğrisi

NO III MICIR GRANÜLOMETRİSİ



Şekil 2.5. III nolu micir için granülometri eğrisi

2.2.2. Çimento

2.2.2.1. Çimentonun tanımı

"Çimento", Latincedeki "COEMETUM"dan Fransızcaya "CEMENT", Almancaya "ZEMENT" olarak geçmiş, Türkçeye de İtalyancadaki "Çimento"dan girmiştir. Su ile tepkimesinde sertleşerek etrafındaki maddeleri birbirine yapıştırma özelliğine sahip malzemelere "Hidrolik Bağlayıcı" adı verilmektedir. Çimento; suda sertleşen ve sertleştikten sonrada suda çözünmeyen hidrolik bağlayıcı bir maddedir. Çimento uluslararası standart sanayi tasnifinde (ISIC) 309 ana grup ve 3692 kod numarası ile sanayide kullanılan esas kimyasal maddeler grubunda yer almaktadır. Çimento; başlıca Silisyum (Si), Alüminyum (Al), Kalsiyum (Ca) ve Demir oksitleri (Fe₂O₃) içeren hammaddelerin, teknolojik yöntemlerle sinterleşme derecesine kadar pişirilmesi ile elde edilen yarı mamul madde klinkerin tek veya daha fazla katkı maddesi ile öğütülmesi yoluyla üretilen hidrolik bağlayıcıları içeren bir malzemedir.

Çimentonun kullanımı MÖ 2000'li yıllara kadar uzanmaktadır. Eski Mısırlıların kalsine edilmiş killi jipsten oluşan bir tür çimento kullandıkları, Anadolu'daki Hattusas ve Bogazkale gibi antik Hitit kentlerinde de kireç ile doğal puzzolanik toprakların karıştırılarak harç yapıldığı bilinmektedir. Avrupa'da ise ilk kez İtalya'da, Büyük Roma İmparatorluğu'nda Sezar döneminde (MÖ 12-14 yy.) Caligula Wharf yapılarında çimento kullanılmıştır. 1756 yılında John Smeaton, İngiltere'nin Cornwall sahilindeki Eddystone deniz fenerinin yeniden yapımında yumuşak kalker ve kilden üretilen bir çimento kullanmıştır. 1802 yılı Fransa çimento sanayiinin başlangıcıdır. İlk olarak 1824 yılında İngiltere'de üretilen çimento bu tür yapı malzemeleri arasında en önemli yeri tutmaktadır. Amerika'daki ilk portland çimentosu üretimi ise 1871 yılında David O.Saylor tarafından gerçekleştirilmiştir.

Türkiye'de ilk çimento fabrikası 20.000 ton/yıl kapasite ile 1911 yılında İstanbul-Darıca' da kurulmuştur. Daha sonra bu fabrika 1923 yılında genişletilerek kapasitesi 40.000 ton/yıl'a yükseltilmiştir.

Çimento hammaddeleri kil ve kireç taşı (kalker)dır. Çimento fabrikadan genellikle hammaddenin çıkarıldığı taş ocaklarına yakın yerlerde kurulur. Bunun nedeni hammaddenin nakliye maliyetini düşürmektir.

Kırılıp inceltilen kil ve kireç taşı karıştırılarak silindirik şekilli bir döner fırının içine yüklenerek pişirilir. Meydana gelen ürüne klinker denir. Daha sonra klinkere biraz alçı taşı (%2-3) katılarak çok ince toz halinde öğütülürse portland çimentosu elde edilir. Betonda kullanılan portland çimentosu modern bina yapımında ana malzeme olup prefabrik yapılarda demirli ve demirsiz beton konut ve sanayi yapılarında, su mühendisliğinde, yol, pist, park, depo sahası yapımında yaygın şekilde kullanılır.

2.2.2.2. Çimento çeşitleri

Portland çimentosu ve katkılı portland çimentosu (TS 19) portland çimento klinkerinin alçıtaşı ile % 10'a kadar herhangi bir doğal yada yapay puzolanik madde ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen bir hidrolik bağlayıcıdır.

Yüksek fırın cüruf çimentoları (TS 20) ani soğutma ile granüle haline getirilmiş bazik yüksek fırın cürufuyla portland çimento klinkeri ve alçıtaşının belirli oranlarda karıştırılarak öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır.

Tras çimentosu (TS 26) ağırlıkça 20-40 kısım kurutulup öğütülmüş tras ve portland çimento klinkerinin bir miktar alçıtaşı ile birlikte öğütülmesinden oluşan hidrolik bağlayıcıdır.

Beyaz portland çimento (TS 21) kireçtaşı ile pişirildiğinde beyaz olan kaolen yada profillit ile bir miktar alçıtaşının birlikte öğütülmesi sonucu oluşan hidrolik bağlayıcıdır.

Harç çimentosu (TS 22) en az % 40 portland çimentosu klinkeri ile çözünmeyen kalıntı miktarı en çok % 50 olacak şekilde doğal puzolanlar ve uçucu kül gibi çeşitli maddelerin bir miktar alçıtaşı ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır.

Sülfatlı cüruf çimentosu (TS 809) alüminyum içeriği fazla olan yüksek fırın cürufunu % 80, portland çimentosu klinkerini % 5 ve alçıtaşını da % 15 oranlarında içerir. Ayrıca uçucu küllü çimento (TS 640) ve erken dayanımı yüksek çimentolar da sektör kapsamına giren ürünlerdir. Tablo 1'de türlerine göre çimento özellikleri verilmiştir.

2.2.3. Katkı maddeleri

Betonun özelliklerini geliştirmek üzere üretim sırasında veya dökümden önce transmiklere az miktarda ilave edilen maddelere katkı adı verilir. Katkı maddelerini kökenine göre kimyasal ve mineral katkıları olarak ikiye ayırmak mümkündür.

Su azaltıcılar (akışkanlaştırıcılar) betonda aynı kıvamın veya işlenebilirliğin daha az su ile elde edilmesini sağlarlar. Taze betonda kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artar. Azalttığı su miktarı ile orantılı olarak normal ve süper olarak ayrılırlar. Priz geciktiriciler taze betonun katılaşmaya başlama süresini uzatırlar. Uzun mesafeye taşınan betonlar veya sıcak hava dökümleri için yararlıdır.

Priz hızlandırıcılar priz geciktiricilerin aksine, bu katkıları betonun katılaşma süresini kısaltırlar. Bazı uygulamalarda, erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don olayı başlamadan betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar. Antifrizler suyun donmasını zorlaştırır ve don neticesi çimentonun mukavemet kazanmasındaki aksamaya engel olurlar. Bu katkıların betondaki miktarı hava sıcaklığına göre ayarlanabilir.

Hava sürükleyici katkıları beton içinde çok küçük boyutlu ve eşit dağılan hava kabarcıkları oluşturarak betonun geçirimsizliğini ve dona karşı direncini ve işlenebilirliğini artırır.

Su geçirimsizlik katkıları sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılarıdır ancak yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır.

Bazı betonlarda birden fazla katkı türü birlikte kullanılabilir. Ancak bu katkıların birbirlerinin etkilerini bozmadıkları denenmelidir. Kimyasal katkıları, yukarıda bahsedilen etkilerinden dolayı bütün inşaat sektöründe betonun ayrılmaz parçası olmuştur.

Mineral katkıları çimento gibi öğütülmüş toz halde silolarda depolanan cüruf , uçucu kül , silis dumanı, taş unu... vb. çeşitli maddelere 'Mineral Katkı' adı verilir. Mineral katkıları tek başına iken çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımazlar fakat birlikte

kullanıldıklarında çimentoya benzer görev yaparlar, dolayısıyla çimento ekonomisi sağlarlar. Mineral katkılardan yüksek dayanımlı beton üretiminde de yararlanılır.

2.2.4. Karışım suyu

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi vardır:

1. Kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmek.
2. Çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlelerin sertleşmesini sağlamak.

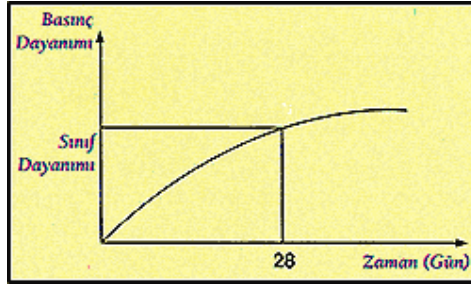
Kıvam m^3 'e giren su miktarına bağlıdır. Beton mukavemeti su/çimento oranına bağlıdır. İşte bu sebeple şantiyeye teslimi yapılan taze betona daha fazla kıvam kazandırmak amacıyla fazladan su katmak betonun mukavemetini yokeder. Genel olarak içilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanıma uygundur. Ancak, betonda kullanılacak suyun içilebilir özellikte olması şart değildir. Bir takım ön deneyler yapılmak kaydıyla, içilemeyen sularla gayet kaliteli beton üretilebilir. Bununla birlikte karışım suyu içinde bulunabilecek tuz, asit, yağ, şeker, lağım ve endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonda istenmeyen etkiler yaratabilir. Karışım suyunun analizlerle belirlenmesi ve kalitesinin belli aralıklarla denetlenmesi şarttır. Betonun bünyesinde çimento ile reaksiyona girmeyen fazla suyun bıraktığı boşluklar yalnız dayanımı düşürmekle kalmamaktadır. Boşluklardan içeri giren zararlı unsurlar (klor, sülfat vb. zararlı etkenler) beton ve donatıya zarar vermekte ve betonun ömrünü kısaltmaktadır.

BÖLÜM 3. BETONDA ARANAN ÖZELLİKLER

3.1. Beton Dayanımı

3.1.1. Beton basınç dayanımı

Yapı servis yüklerini ve deprem etkilerini belirli bir güzenlikle taşıyabilmelidir [21]. Betonun mekanik özelliklerden en önemli ve değeri en büyük olanı basınç dayanımıdır. Bunun yanı sıra betonun tüm olumlu nitelikleri basınç dayanımı ile paralellik gösterir. Bu nedenle betonun basınç dayanımını saptamakla betonun kalitesi ve betonun sınıfı belirlenir. Betonun basınç dayanımı uygun koşullarda Şekil 3.1.'deki gibi zamanla artar.



Şekil 3.1. Basınç dayanımı - Zaman İlişkisi

Şekilden anlaşılacağı gibi yapıların dizaynında 28 günlük dayanım esas alınır. Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörler aşağıda belirtilmiştir.

Çimento tipi ve miktarı çimentonun cinsi ve dozajı (1 m³ betondaki çimento ağırlığı), beton basınç dayanımını etkiler. Yüksek dayanımlı çimentoların kullanıldığı ve çimento dozajının fazla olduğu durumda, beton kalitesinin arttığı bir yere kadar doğru olmakla beraber, beton basınç dayanımını belirleyen en önemli unsur su-çimento oranıdır. Karışım suyu'nun kalitesi ve miktarıda önemlidir.

Beton üretiminde en uygun miktarlarda su kullanılmalıdır. Suyun en uygun değerden az veya fazla kullanılması beton dayanımını düşürür.

Sıkıştırmanın etkisi taze betonun yerleştirildikten sonra yeterince sıkıştırılmaması, boşluk oranının artmasına ve dayanımın düşmesine neden olur. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelikte de bahsedildiği gibi vibratörsüz beton yerleştirilmesi yapılmamalıdır. Beton hernekadar usulüne uygun hazırlanmışsa da kalıba yerleştirilmesi sırasında vibratör kullanılmıyorsa, basınç dayanımında %30 lara varan düşmeler görülür.

Dış etkiler - kür koşulları betonun prizi ve sertleşmesi aşamasında çevre koşullarının etkisi çok büyüktür. Taze beton yeterli dayanımı kazanıncaya kadar, mümkün olduğunca yüksek nemli ortamda korumak gerekir. Taze beton için en olumsuz hava koşulları; yüksek sıcaklık, rüzgarlı ve kuru ortamlardır. Benzer şekilde sıfırın altındaki sıcaklıklarda önlem alınmaksızın beton dökümü sakıncalıdır. Taze betonun sıcaklığının +5 derece ile +32 derece arasında kalması istenir. Bu derecelerin altında ve üstündeki sıcaklıklarda önlem alınması gereklidir.

Deney koşulları - örnek şekil ve boyutları Beton örneklerinin formu, boyutları ve deneydeki yükleme hızları ve yüzey pürüzlülüğü gibi faktörler beton basınç dayanımını etkiler. Beton basınç dayanımı silindir (15/30) , küp(15 cm ve 20 cm boyutlu) örnekler üzerinde belirlenir. Farklı form ve boyuttaki örneklerin basınç dayanımlarının, standart örneklerin eşdeğer dayanımlarına dönüştürülmesi gerekir.

Betondan istenen bir diğer özellik olan dayanım ile ilgili yine TS EN 206-1’de beton basınç dayanım sınıfları ve bu sınıfların karakteristik silindir ve küp basınç dayanım değerleri belirtilmiştir. Buna göre sınıflandırılan betonlar C 8/12’den başlayarak C 100/115 sınıfına kadar sıralanmaktadır.

Betonun basınç dayanım sınıfını gösteren notasyonda “C” betonun İngilizcesi olan “concrete” kelimesinin ilk harfini, ilk rakam betonun karakteristik silindir dayanımını (N/mm^2), ikinci rakam ise betonun karakteristik küp dayanımını (N/mm^2) temsil etmektedir.

Aynı standart beton kabul kriterlerini de belirterek başlangıç imalatı ve sürekli imalat için ayrı ayrı istatistiksel değerlendirme hakkında bilgi vermektedir.

TS EN 206-1'de belirtilen beton sınıfları ve bu sınıflara ait karakteristik dayanım değerleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Şantiyede betonun dökümü esnasında ve sonrasında betonun mukavemetini etkileyen faktörler arasında beton imalinde kullanılan su miktarı (bir başka deyişle su/çimento oranı), betonun yerleştirilmesi sırasında vibratör kullanımı, soğuk veya sıcak hava gibi ortam şartları, kalıp sökme zamanı ve betonun korunması sayılabilir. Betondan numune alma ve basınç dayanım deneyi esnasında da bazı faktörler betonun mukavemetini etkiler. Bunlar; numunenin kalıplara yerleştirilmesi, saklama ve kür koşulları, numune kalıplarının boyutları, eğer yapıldıysa başlığın durumu, betonun yaşı, presin kalibrasyon durumu ve kırım koşullarının standarda uygunluğudur.

Bir hazır beton firmasına verilen beton siparişinin aşağıdaki bilgileri içermesi gerekir. Bunlar; sipariş verenin bilgileri (müşterinin ve işin adı), adres ve telefon numarasının ardından; beton sınıfı, döküm günü ve saati, beton miktarı, pompa ile dökülecekse pompanın tipi ve çalışma alanının uygunluğu, çevresel etki sınıfı, klor sınıfı, kıvam sınıfı, maksimum agrega dane büyüklüğü ve beton dökülecek yapı elemanının tanımı gibi bilgilerdir.

Beton dökümünden önce, betonun taşınması, dökülmesi ve sıkıştırılarak yerleştirilmesi için gerekli ekipmanın (özellikle vibratör) hazır olması, donatı ve kalıbın hazır olması ve betonun yerleştirilmesi için yeterli sayıda elemanın olması dikkat edilmesi gereken hususlar arasındadır.

3.1.2. Beton dayanımını oluşturan etkiler

Beton Dayanımını etkileyen faktörleri şu şekilde sıralayabiliriz; su/çimento oranı, karma suyunun kalitesi, çimentonun özellikleri, agreganın özellikleri, kür koşulları, yerleştirme sıkıştırma özellikleri, betonun yaşı. Karma işlemi yapılırken bunlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

3.2. Betonun İşlenebilme Özelliği

Taze betonun homojenliğini kaybetmeden karıştırılabilmesi, taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve perdelanması özelliklerine "işlenebilirlik" denir. Taze betonda işlenebilirliğin döküm boyunca korunması gerekir. İşlenebilir bir beton da vibratör kullanılarak boşluksuz yerleştirilebilir. İşlenebilirliğin ölçüsü kıvamdır. Beton Kıvamları ve Çökme Değerleri (TS 11222) içeriğinde mevcuttur.

Betonun işlenebilme özelliği kıvamı ile tayin edilebilmektedir. Bu konuyu daha önceki bölümlerde kısmen belirttik. Kıvam, betonun kullanım yerine (kalıp geometrisi, demir sıklığı, eğim), betonu yerleştirme, sıkıştırma, mastarlama imkanlarına ve işçiliğine, şantiyede beton iletim imkanlarına (pompa, kova) bağlı olarak özenle seçilmesi gereken bir özelliktir. TS 11222 Hazır Beton Standardında 5 kıvam sınıfı bulunmaktadır. K1, K2, K3, K4 ve K5 sembolleri ile tanımlanan bu kıvamlar çökme (slump) deneyi ile tayin edilmektedir.

Kıvamı etkileyen parametreler, bileşenlerin özellikleri, mix dizayn, kimyasal katkılarıdır. Taşıma süresi ve hava sıcaklığı daha çok kıvam kaybını etkileyen özelliklerdir.

Tablo 3.1. Kıvam sınıfları

Kıvam Sınıfı	Çökme (mm)
K1	$0 \leq \text{çökme} < 50$
K2	$50 \leq \text{çökme} < 100$
K3	$100 \leq \text{çökme} < 160$
K4	$160 \leq \text{çökme} < 220$
K5	$220 \leq \text{çökme}$

Slump (Çökme) Deneyi yapılırken ; Slump hunisi düz bir zemine konur. Standart slump hunisi üç eşit kademede doldurulup, her kademede 25 kez standart şişleme çubuğuyla şişlenir. Şekil 3.2. de ki gibi uygulamaya devam edilir. Huni tamamen

dolunca üst yüzeyi Şekil 3.3 de görüldüğü üzere mala ile düzlenir. Huni yavaşça yukarı doğru kaldırılır; bu sırada taze beton kendi ağırlığıyla Şekil 3.4.de gibi çöker.

Şişleme çubuğu huninin üzerine konur ve çöken betonun üst seviyesinden çubuğun altına kadar olan mesafe ölçülür. Bu uzunluk, taze betonun çökme (slump) değeri olarak adlandırılır.

Beton yerleştirme işlemi sırasında vibratör kullanılması kaçınılmazdır. "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" de vibratör kullanmadan beton dökümü işlemini yasaklamıştır. Şişleme, tokmaktama v.b. elle sıkıştırma usulleri, yalnızca vibratör kullanımıyla beraber, yardımcı yöntemler olarak kullanılabilir.

Betonu Taşınması Sırasında Kıvam Kaybının Muhtemel Nedenleri

- Betonun yalancı priz yapması. Bunun önüne karıştırma işlemine devam edilerek geçilebilir.
- Uzun taşıma süreleri. Süre uzadıkça buharlaşma nedeniyle oluşan su kaybı kıvam kaybına neden olur.
- Taze beton sıcaklığı
- Sıcak hava şartları

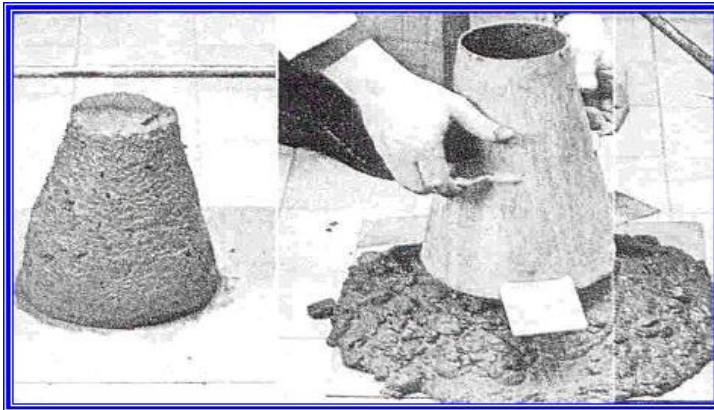
Özellikle yapı sektöründe beton işçiliğinde bilinç ve eğitim düzeyi düşük olduğundan taşıma, yerleştirme ve mastarlama işlemlerinin kolaylığı açısından K2 veya K3 kıvam sınıfında tasarlanmış betona, şantiyede fazladan su ilavesi ile daha yüksek kıvamlı karışım elde etme eğilimi oldukça yüksektir. Bu eğilimin mukavemet düşürücü zararlı sonucunu yok etmek için Türkiye Hazır Beton Birliği Yönetim Kurulu bir karar alarak üyelerine şantiye teslimi beton kıvamını K4 düzeyinde (çökme >16 cm) tutmalarını tavsiye etmiş, bunu yaparken su/çimento oranına (dolayısıyla mukavemete) dikkatlerini çekmeyi de ihmal etmemiştir. Bu konuda bilgilenen ve bilinçlenen müşteriler K4 kıvamlı beton sipariş vermektedir.



Şekil 3.2. Slamp deneyi görüntüsü



Şekil 3.3. Slamp ölçümü



Şekil 3.4. Slamp değerleri için deneyler

3.3. Agregada Maksimum Dane Boyutu

Beton içinde kullanılacak en iri agregada tane büyüklüğünün kalıp en dar boyutu, döşeme derinliği, pas payı, en sık donatı aralığı gibi unsurlarla uyumlu biçimde, TS 500 de belirtilen şekilde seçilmesi ve beton içinde kullanılacak en iri agregada dane büyüklüğünün en dar kalıp boyutu, döşeme derinliği, pas payı, en sık donatı aralığı gibi unsurlarla uyumlu biçimde seçilmesi gerekir.

İzmir ve Ege'de en çok kullanılan $D_{max} = 25$ mm. dir. Çok sık donatılı veya ince kesitli elemanlarda bazı bilinçli müşteriler " 1 No Agregalı " hazır beton siparişi vermektedir.

Tablo 3.2. Maksimum dane boyutu

En Büyük Agregada Tane Büyüklüğü Sınıfı	D_{max} . (mm)
D1 (1 No.lu)	12
D2 (2 No.lu)	22
D3 (3 No.lu)	32
D4 (4 No.lu)	64

$D_{max} = 12$ mm. olan 1 No Agregalı beton üretimi biz dahil Ege' de yoktur. Bunun karşılığı $D_{max} = 15$ veya 16 mm. dir.

3.4. Betonda Dış Etkenlere Karşı Dayanıklılık (Durabilite)

Durabilite yani kalıcılık, bir yapının içinde bulunduğu-bulunacağı çevre etkileri altında, servis ömrü boyunca, dayanım ve diğer işlevlerini koruyabilmesi özelliğidir. ACI 116R - Amerikan şartnamesine göre durabilite, betonun hava koşullarına, kimyasal etkilere aşınma ve diğer kullanım koşullarına dayanabilme yeteneğidir. AS 1480-Avusturalya şartnamesine göre ise, beton, beklenen kullanım koşulları altında özellikle, aşınma, sülfat etkisi ve su geçirirliliğine karşı yeterli dayanıklılığa sahip olması gerekmektedir.

Yapı projelerinde dayanım, beton sınıfı olarak yer alır (C20, C30 gibi). Dayanıklılık için projede, maksimum su/çimento oranı, minimum çimento dozajı, çimento cinsi ve sürüklenen hava miktarı gibi bilgiler verilir. Ülkemizde yapılan projelerde ise, dürabilite ile ilgili çok az bilgiye rastlanır. Dürabilite açısından TS 500 ile ACI 318' i karşılaştıracak olursak, ACI 318' de ayrı bir dürabilite bölümü bulunmaktadır. Fakat TS 500' de böyle bir bölüm bulunmamaktadır. Örneğin, ACI 318' de, donma-çözülme etkisi, minimum sürüklenmiş hava miktarıyla belirtilmesine karşılık TS 500' de bu konuda bilgi yoktur. Sülfat etkisine karşı beton bileşimi, ACI 318' de çimento cinsi, maksimum su/çimento oranı ve minimum beton sınıfları ile belirlenmiş, TS 500' de bu konu "TS 3440 - Zararlı Kimyasalların Etkilerine Maruz Betonlar İçin Yapım Kuralları" standardına refere edilmiştir. Korozyon etkisi için ise ACI 318' de, betonda maximum klor içeriği, su/çimento oranı sınırı ve minimum beton sınıfları belirtilmiş fakat TS 500' de korozyon ile ilgili bölüme yer verilmemiştir.

Yapay bir malzeme olan betonarmenin olumlu özelliklerini sürdürebilmesi dış etkilere dayanıklı olmasına bağlıdır. Beton ve betonarme elemanların, bazen işlevleri gereği taşımaları gerekli dış yüklerin etkisi dışında zamanla zararlı dış etkilerle bozulmaları mümkündür. Betonarme elemanların bazıları çok uzun süreler sonunda işlevlerini yerine getiremez konuma gelmesine karşın bazılarının ise çok kısa sürelerde bozulmaya başladıkları görülmektedir. Yapıların uzun ömürlü olması sadece doğru taşıyıcı sistemin seçimi, projelendirilmesi ve imal edilmesine bağlı değildir. Aynı zamanda, yapının mantıklı bir zaman süreci içerisinde "kalıcı" denecek kadar uzun ömürlü olmasını sağlayacak önlemler alınmalı ve en az bakımı gerektirecek şekilde yaşlanması yavaşlatılmalıdır. Bu da ancak betonun, betonarme veya öngerilmeli yapıların bozulmasına neden olan etkenlerin bilinmesi ve bunlara karşı gereken önlemlerin alınmasıyla mümkündür. Sadece malzeme özelliğini iyileştirmek ile çevrenin yapı üzerindeki olumsuz etkilerini gidermek bazen olanaksız olabilir. Yapının kalıcı olması malzeme ile birlikte, mimari yapısal düzenlemelere, detaylara, işçilik kalitesine, denetime ve bakım işlemlerine bağlıdır. Bu nedenle yapıları dizayn eden mimar ve mühendisler önemli bozulma nedenleri ve bunları etkileyen faktörler hakkında temel bilgilere sahip olmalıdır.

Ülkemiz, Avrupa' da çimento üretimi bakımından ön sıralarda yer almasına, yapı üretimi bakımından üst düzeyde teknolojiye ve bilgi birikimine sahip olmasına

rağmen, uygulamada yapıların büyük çoğunluğunun denetimsiz, gelişigüzel inşaa edildiği görülmektedir. Bu durum betonarme yapıların istenilen dayanım ve dayanıklılıkta olmamasının ana nedenidir. BS 7543' de yapılar sınıflandırılarak servis ömürleri verilmiştir. Bu standarda göre binalar ve kamu yapılarının servis ömrü 50 yıl, anıtsal binalar, köprüler ve önemli inşaat mühendisliği yapılarının servis ömürleri ise 100 yıldır.

Beton tasarımı altındaki işlevini uzun yıllar boyunca hasar görmeden ve yıpranmadan sürdürebilmelidir. Böyle bir betonun dayanıklı olduğu söylenir. Betonarme yapıların çeşitli bozulma süreçleri nedeniyle kısa sürede işlevselliğini kaybetmeleri ekonomik ve teknik problem yaratmanın yanı sıra, kaynakların verimsiz kullanımına ve çevresel ve ekolojik problemlere yol açar. Uygulamada önemli olan yapının işlevini, yeterince uzun süreli olarak verimli bir şekilde yerine getirebilmesidir. Yapının uzun zaman yeterli performansta olması, başlangıçtaki kalitesine ve bakım işlemlerine bağlıdır. Tüm bu faktörler yapının ekonomik ömrünü ve işletme giderlerini etkiler [22].

Betonun boşluksuz ve geçirimsiz olması dürabilite bakımından önemlidir. Betonda dürabilite ve geçirimsizlik birbiriyle yakından ilgili olan iki olaydır. Betonun akışkan geçirimsizliği; basınçlı su geçirimsizliği, kılcal yolla su emme ve buhar geçirimsizliğinden oluşur. Geçirimsizlik bakımından gerekli önlemlerin alınmaması durumunda betonlarda bu üç geçirimsizlik aynı yönde ve olumsuz biçimde yüksek değerlere ulaşır ve bu da dürabilite bakımından sorunlara yol açar [3]. Betonun geçirimsizliğindeki en büyük etkenler de dışa açık büyük boşluklar ve çatlaklardır. Geçirimsizlikte olumsuz etki yapan bu boşluklar ve çatlaklar betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega-çimento hamuru temas yüzeyinde daha belirgindir [3]. Çimento hamuru ve betondaki çatlak ve boşluklar; çoğunlukla beton teknolojisi ve kurallarına uyulmaması sonucu, yetersiz sıkıştırma, yetersiz kür, kimyasal reaksiyona girmeyen fazla suyun terleme, buharlaşma olayları veya katkı maddeleri eklenmesi gibi nedenlerle oluşur. Çimento hamurundaki ve betondaki boşluklar, mikro, kapiler ve makro olarak gruplandırılabilir. Kalıcılığı büyük yönde etkileyen kılcal (kapiler) ve makro boşluklardır [22].

Çimento hamurunun ve betonun geçirimliliğini etkileyen en önemli parametre su/çimento oranıdır. Yapılan araştırmalar, %93 oranında hidrasyonunu tamamlamış çimento hamurlarında su/çimento oranının 0.7' den 0.3 değerine düşmesi çimento hamurunun geçirimlilik katsayısının yaklaşık 100 kat azalmasına yol açtığını göstermiştir. Ayrıca su/çimento oranının 0.4 değerini aşmasıyla birlikte kapiler gözenekler arasındaki bağlantının kesilmemesi nedeniyle geçirimliliğin hızla arttığı görülmüştür [22].

Bununla birlikte, aynı su/çimento oranına sahip betonlarda betonun özellikle ilk 7 gün içinde bakım ve kürüne özen gösterilmemesi halinde beton geçirimsizliği bakımından önemli sakıncalar ortaya çıkmaktadır. Özellikle puzolanlı çimentoların kullanılması durumunda betonun bakım ve kürüne daha çok özen gösterilmeli ve kür süresi normal çimento ile üretilen betonlara göre daha da uzatılmalıdır [23].

Çimento hidrasyonun tam olgunluğa ulaşabilmesi için gerekli süre, büyük ölçüde su/çimento oranına ve ıslak kür süresine bağlıdır. Aynı kür koşullarında saklanan çimento hamurlarında kapiler boşlukların arasındaki bağların kesilmesi (bloke edilmesi) için gerekli süre su/çimento oranına bağlı olarak artmaktadır. Örneğin su/çimento oranı 0.40 değerinde kapiler boşlukların bloke edilmesi için gerekli olgunluk süresi 3 gün iken su/çimento oranı 0.70 değerine ulaştığında bu süre 1 yıldır [22].

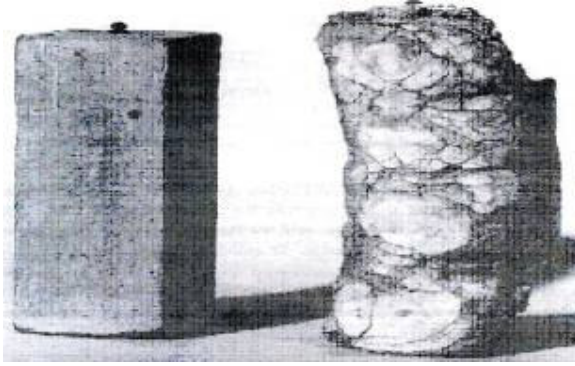
Betonun dürabilitesinin azalmasından dolayı oluşan hasarlar; fiziksel, kimyasal, biyolojik veya mekanik kökenli olabilir. Betonda hasarların nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Beton hasarlarının fiziksel nedenleri; Donma-çözülme etkisi, buz çözücü tuzların etkisi, ıslanma-kuruma, aşınma, erozyon, oyulma, yüksek sıcaklıklar ve yangın, agrega ve çimento arasındaki ısıl uyumsuzluk, betonda rötreye duyarlı agregaların kullanılması, plastik rötreye, kuruma rötresi veya rötreye çatlağı, don etkisine duyarlı agregaların kullanılması
2. Beton hasarlarının fiziksel-kimyasal nedenleri; Betonda çelik donatının korozyonuna bağlı çatlama, alkali-silika reaksiyonuna bağlı hasar
3. Beton hasarlarının kimyasal nedenleri; Klor etkisi, deniz suyu etkisi, asit etkisi,

yer altı suyundaki veya yerel ortamdaki sülfat etkisi, alkali-silika reaksiyonu, alkali karbonat reaksiyonu, betonda ikincil etrenjit oluşumu

4. Beton hasarlarının biyolojik nedenleri; Biyolojik oluşumlar ve çiçeklenme [22]-[24].

Hasarın şiddeti betonun kalitesine bağlı olmakla birlikte, çok şiddetli etkiler altında kaliteli betonlar dahi dış korumaya gereksinim duyabilirler. Ancak, betonun bozulması çoğunlukla birden fazla nedene bağlıdır.



Şekil 3.5. Sülfat etkisiyle ağır hasar görmüş beton eleman



Şekil 3.6. Sahil yolunda (İzmir) deniz suyu etkisiyle iri agregaları açığa çıkmış, kütle kaybına uğramış beton parapet duvarı



Şekil 3.7. İzmir’ de korozyon hasarına uğramış elektrik direkleri



Şekil 3.8. ASR hasarına uğramış köprü ayakları (İzmir)



Şekil 3.9. Yarımcı Pektim iskelesinde 1999 Marmara depremi sonrası deniz suyu ve deprem hasarı, aynı yerde deniz altında kalan betonarme elemanlar

3.4.1. Durabiliteye etki eden fiziksel faktörler

3.4.1.1. Donma ve çözülme etkisi

Beton karıştırıldıktan sonra hemen don etkisine maruz kalırsa, su donarken hacmi yaklaşık % 9 artar ve buz beton içindeki boşluklara doğru hareketlenir. Bu oluşum sonucunda taze beton içindeki katı tanecikler yer değiştirirler. Yer değiştirme sonucunda ise agrega taneleri ile harç arasındaki bağlar kopar.

Beton içindeki su çimento tanecikleri ile birleştiğinde bir ısı meydana gelir. Su daha soğuk bölgelere kayar ve donarak buz kütlelerinin büyümesine neden olur. Pratikte bir önlem alınmazsa – 12 C° den düşük sıcaklıklarda betonun dayanım kazanmadığı kabul edilir. Hava sıcaklığı yükseltmeye başlayınca buzlar çözülür ve taze beton içersinde boşluklar ortaya çıkar. Agrega ile çimento harcı arasındaki yapışma olayı da, mukavemeti, istenilen mukavemetin altında çıkarır.

3.4.1.2. Erozyon etkisi

Erozyon ise içinde askı halinde parçacıklar bulunan sıvıların özellikle yüksek hızlarda beton yüzeyini çizerek yine abrasif yolla aşındırmasıdır. Bu olaya daha çok su yapılarında ve beton borularda rastlanır. Etkinin şiddeti katı tanelerin miktarı, şekli, sertliği ve suyun akış hızına bağlıdır. Katı tanelerin miktarlarının ve büyüklüklerinin az olması, suyun akış hızının 1.8 m/s değerini aşmaması halinde erozyonun ihmal edilebilir mertebelerde kaldığı ifade edilmektedir.

3.4.1.3. Aşınma etkisi

Beton yüzeylerinin kuru sürtünme etkisi ile zamanla kütle kaybıdır. (Yaya trafiği, araçlar, su gibi) Genellikle basınç dayanımı yüksek olan betonlar aşınmaya karşı da dirençlidirler. Ancak sürtünme şartlarına göre C30, C40 gibi betonlar tercih edilmelidir.

Diğer önlemler aşınmaya karşı dayanıklı agrega kullanmak Vakumlu beton üretmek (düşük, su / çim oranı) Sürtünmeyi azaltıcı katkı malzemeleri veya boya kullanma Beton yüzeyinde ,yüzey sertleştirici malzemeler kullanmak.

3.4.1.4. Kaviteasyon etkisi

Kaviteasyon, su yapılarında rastlanan oyulma olayıdır. Suyun hızla aktığı su yapılarında yüzey geometrisinde herhangi bir değişiklik akımın sürekliliğini bozup, düşük basınç bölgeleri oluşmasına yol açar. Akan suyun statik basıncı, sudaki buhar basıncından daha düşükse bu bölgede içi hava dolu kabarcıklar oluşur. Oluşan kabarcıklar suyun statik basıncının yüksek olduğu bölgelere taşındığında buhar su damlacıkları şeklinde yoğunlaşır aniden dibe çöker böylece beton yüzeyinde patlama etkisine benzer şekilde, su darbeleri ve basınç dalgaları meydana gelir. Bu olayın sürekliliği beton yüzeyinde oyulmalara yol açar, özellikle dik açılı yüzeylerde bozulmalar görülür. Deneyimler, suyun hızının açık kanallarda 12 m/s, kapalı kanallarda 7 m/s değerini aşması halinde şiddetli oyulma etkisinin ortaya çıkabileceğini göstermektedir. Değişik yüzeysel aşınma türleri olduğundan, aşınma dayanıklılığının belirlenmesine yönelik standart tek tip deney yoktur. Yüzeylerin aşınmasında; dönen tablalar, tekerlekler ve su içinde tahrik edilmiş çelik bilyalar esasına dayanan üç değişik deney yöntemi geliştirilmiştir. Bu konuda ayrıntılı bilgiler ilgili standartlardan elde edilebilir.

3.4.1.5. Asfalt ve beton yollarda kullanılan tuzların etkisi

Buz çözücü olarak, en çok NaCl ve CaCl₂ kullanılmaktadır. Bazen üre (NH₂CONH₂) bu amaçla tüketilir. Üre betona NaCl ve CaCl₂ kadar zarar vermez ancak buz çözücü etkisi de diğerleri kadar güçlü değildir. Amonyum tuzları ise düşük yoğunluklarda bile zararlı olduklarından kullanılmamaları önerilir.

Tuzların ve bu amaçla kullanılan bazı kimyasalların buz çözücü etkisi, suyun donma noktasını düşürmeleridir. Belirli miktarda buz çözmek için en uygun tuz eriyiğı miktarlarının saptanması gerekir. Fazla atılan tuzun yararı olmadığı gibi zararı da vardır. Buz tabakası üzerine atılan tuzlar, buzun çözülmesi nedeniyle yüzeyde önemli bir termal şok oluşmasına yol açarlar. Beton yüzeyindeki ve iç bünyesindeki sıcaklık farklılığından kaynaklanan gerilmeler nedeniyle yüzeyde çatlaklar meydana gelir. Tuzların, boşluk çapları küçüldükçe beton içinde ilerlemelerinin güçleşir. Böylece buz çözücü tuzla maruz betonda, boşluk çaplarına bağlı olarak donma derecelerinde görülen farklılık azalmaktadır. Beton yüzeyinden derinlere inildikçe beton

sıcaklığının ve buz çözücü tuzların miktarlarının değişken olması, beton tabakalarının farklı zamanlarda donup çözülmesine yol açar. Bu durumda betonda kabuk halinde soyulmalar ve dökülmeler görülebilmektedir. Buz çözücü tuzların beton üzerindeki olumsuz etkileri yalnızca donma-çözülme olayının şiddetini artırmaları ile sınırlı değildir. Aynı zamanda betonarme donatısında klorür korozyonuna yol açarlar.

Soğuk iklimlerde yolların buz tutmaması için yapılan tuzlama işlemleri sırasında, kullanılan tuzların bazıları betonun üst tabakaları tarafından emilir. Bu da yüksek bir osmotik basınç yaratarak donmanın başladığı en soğuk bölgeye su akımının başlamasına yol açar. Bu olay sonucu betonun donma-çözülme olayından gördüğü zararın boyutu artar.

Geçirgenlik belirli bir hızdaki sıvı veya gazın gözenekli bir ortamdan geçmesidir. Bitümlü sıcak karışımlarda (BSK) geçirgenlik, kaplamanın içine hava veya suyun nüfuz etmesinin bir ölçüsüdür. BSK'larda geçirgenliğe; agrega gradasyonu, agrega şekli, hava boşluğu, kaplama kalınlığı ve sıkıştırma yöntemleri etki etmektedir [1,2]. Bu faktörlerden en önemlisi gradasyon ve boşluk oranıdır. Zube [3] ve daha sonra da Brawn, yaptıkları çalışmalarda yoğun gradasyonlu kaplamaların %8 hava boşluğunun üzerinde, açık gradasyonlu kaplamaların % 8'den daha düşük değerlerde aşırı geçirgen olduğunu tespit etmişlerdir. Ontario'da yapılan çalışmalarda %2-%3 boşluk oranında dizayn edilen bitümlü sıcak karışımların suya karşı hemen hemen geçirimsiz olduğu belirtilmiştir. Kaplamadaki boşluk miktarı ile boşlukların irtibatı kaplamanın üstünden altına kadar su ve havanın geçmesi için gerekli koridorları oluşturur. Bu koridorlar sayesinde kaplamaya giren su ve hava sadece kaplamayı değil üstyapıyı da etkilemektedir. Üstyapıya giren su donma çözülme etkileri ile kaplamada, çatlamalara, kabarmalara ve taşıma kapasitesinin azalmasına neden olmaktadır. BSK'ların içine giren suyun ve havanın farklı etkileri olmaktadır. Hava genel olarak bitümlü bağlayıcının yapısındaki hidrokarbonlarla zaman içinde birleşerek oksitlenme meydana getirir. Bu oksitlenme sonucunda kaplama sertleşir ve trafik etkisiyle ayrışmalar meydana gelir. Su ise kaplamanın durabilitesine etki etmektedir. Kaplamanın durabilitesi yani dayanıklılığı, trafik ve çevre şartlarının aşındırma etkisine karşı direnç göstermesidir. Kaplamaya giren su agrega ve bitüm arasındaki adezyonu azaltmakta ve soyulmalara neden olmaktadır. BSK'larda

soyulma ve setleşmeyi önlemek amacıyla yüksek asfalt yüzdesi, kalın film tabakası ve yoğun gradasyon kullanılmaktadır. Fakat asfalt miktarı fazla olursa sıcak havalarda kusma-terleme ile kaplamanın kayma direnci azalmaktadır. Yoğun gradasyonlu karışımlarda ise kaplama soğuk havalarda esnekliğini kaybetmekte ve büzülme çatlakları meydana gelmektedir. Hem kusmayı önlemek hem de esnekliği kaybetmemek için BSK tasarımında aşınma tabakası için %3 – 5, binder tabakası için % 4 – 6 boşluk oranı elde edilmeye çalışılmaktadır.

Hamad %4 ve %6 boşluk oranında hazırladığı numuneleri kirli ve temiz sularda %50 ve %100 doygun hale getirip, çekme gerilmelerini, rijitlik modüllerini ve yorulma ömürlerini incelemiştir. Sonuçta bu özelliklerin doygunluk derecesinin artması ile düştüğünü ve kirli suda bu düşüşün daha fazla olduğunu tespit etmiştir.

Deniz kıyısındaki yollar ve kış mevsiminde don etkisini azaltmak ve önlemek amacıyla tuzlanan yollar, kaplamanın içine nüfuz eden su ve tuza maruzdurlar. Yollarda kar ve buz mücadelesinde kullanılan kimyasallar, kar ve buz eriterek yol yüzeyinde bir çözelti oluştururlar. Bu çözeltilerin, kaplamanın geçirgenlik özelliğinden dolayı esnek kaplamalar üzerinde çeşitli etkileri olabilmektedir.

Kar ve buz kontrolünde etkili bir çözüm bulmak, değişkenlerin çokluğundan dolayı kolay değildir. Farklı hava durumları, üstyapı sıcaklığı, üstyapı tipi, ortam sıcaklığı, trafik hacmi, taşıt hızları, rüzgar yönü ve hızı, yağış tipi, topografya, göl veya okyanus etkisi, güneş görmeyen bölgeler bu faktörlerdendir. Bu etkenlerin çeşitliliğinden dolayı kar ve buz mücadelesinde farklı kimyasallar değişik yöntemler ile kullanılır. En çok kullanılan kimyasallar CaCl_2 , MgCl_2 , CMA ve NaCl 'dir.

CaCl_2 ve MgCl_2

Su içinde hızlı ve kolay bir şekilde erirler. -29 °C'ye kadar düşük sıcaklıkta uygulanabilirler. Bütün buz eritici tuzlar iyonlarına ayrışarak kar ve buz eritirler. Cl iyonunun genel olarak çevreye ve betona zarar verdiği bilinmektedir. CaCl_2 ve MgCl_2 bir Ca ve Mg iyonuna karşılık iki Cl iyonu serbest bırakır. Bu sayede kar ve buz eritmekte daha hızlı ve etkili fakat çevreye daha zararlı olmaktadır. Ayrıca CaCl_2 ve MgCl_2 uygulandıktan sonra yol yüzeyinde temizlenmesi zor ve kaygan bir kalıntı bırakırlar.

İngiltere’de yoğunluğu yaklaşık 0,06 gr/cm³ olan taze karın 1 cm kalınlığı ve 0 °C’nin altındaki her derecesi için m²’ye 5 gr tuz dökülür. Fransa’da bu miktar $P=16.t.r$ formülüyle hesaplanır. P: gr/m² olarak gerekli tuz miktarı, t : 0°C altındaki yerin ısısı, r: kg/m² olarak kar ağırlığıdır. 3 cm kalınlığındaki 1 m² karı eritmek için İngilizlere göre 75 Fransızlara göre 144 gr tuz gerekmektedir. Ülkemizde taze karı eritmek için m²’ye 5 gr tuz dökülmektedir. NaCl yolda buzlanmayı önleyici olarak 15-20 gr/m² oranında kullanılır. Buz teşekkül ettiği zaman eşit zaman aralıkları ile bu miktar 4 defa uygulanır. Sonuç olarak genel ve yaygın bir anlayış, buz çözücü olarak kullanılan tuzların beton asfalt kaplamaya zarar vermediği, tuzun sadece çevreye, korozif özelliğinden dolayı da araçların metal aksamlarına zarar verdiği şeklindedir. Fakat beton asfalt kaplamanın geçirgenliğine bağlı olarak içine nüfuz eden tuzlu çözelti, kaplamanın özelliğini etkileyebilmektedir. Bu çalışmada %2,5 tuzlu çözeltiye maruz beton asfalt kaplamaların rijitlik modülünün %35, yorulma dayanımlarının %41 düştüğü tespit edilmiştir. Numunelerin %1-1,5 tuzlu çözelti içerisinde rijitlikleri, temiz suda bekleyen numunelere göre artmıştır. Bitümlü sıcak karışımlarda düşük rijitlik ne kadar istenmez ise yüksek rijitlik de o kadar zararlıdır. Sertleşme, bitümlü karışımların gerilmelere maruz kaldığı durumda esnek davranış göstermemesine ve kaplamada çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Kaplamanın tuz etkisi ile sertleşmesi, kış mevsiminde kaplamanın esnekliğini kaybetmesi sonucunda oluşan düşük ısı çatlaklarının etkisini artıracaktır. Bu şekildeki her tuzlamadan sonra oluşan sertleşme periyotları kaplamada ek gerilmeler oluşturacaktır. Trafik kazaları ve dolayısıyla insan hayatı ve ekonomik kayıplar düşünüldüğünde, yolların tuzlanması vazgeçilemez. Kaplamanın içine tuzlu çözeltinin girmesine engel olmak amacıyla kaplama üzerinde geçirimsizliği sağlayacak bir uygulama faydalı olacaktır.

3.4.1.6. Sanayi yapılarıdaki tuz etkileri

Etbalık kurumlarındaki et ve diğer et ürünleri ile balıkları derilerini v.s. koruma yada önlem altında isimlendirilen taban kaplamalarının değiştirilerek fayans yada benzeri maddelerle kaplanması ile beton korunmaya çalışılmakta ancak zamanla ortaya koyulan etkileri görülmektedir. Aşağıda resmi ile çekilen etkiler görülmektedir. Zaman içinde tahrip gücü yüksek olan ve balık ve et gibi besinlerin korunması amacıyla kullanılan tuzun tahribini görmekteyiz. Beton içinde yer alan donatı da

betonun tahribatında etkilenmekte ve korozyona maruz kalmaktadır. Bu etkinin azalması adına yapılan çalışmalar beton koruyucu katkı malzemeleri ile kaplanan beton yüzeyleridir.



Şekil 3.10. Et Balık Kurumunda tuz etkisinde kalmış beton örneği



Şekil 3.11. Et Balık Kurumunda tuz etkisinde kalmış beton örneği

3.4.1.7. Deniz suyu etkisi

Deniz sularında değişik türlerde ve miktarlarda tuzlar yer almaktadır. Deniz sularındaki sülfatların sertleşmiş betonun içerisine girmesi ile oluşan reaksiyonlar deniz sularının içerisindeki sülfatların betonda yarattığı yıpratıcı etki, topraktaki ve yeraltı sularının içerisindeki sülfatların etkisi kadar şiddetli olmamaktadır. Deniz sularının içerisinde klorür iyonunun bulunuyor olması, sülfat reaksiyonları sonucunda ortaya çıkan ürünlerin daha az genişleme yaratmasına neden olmaktadır. Zira, klorür, sülfat hücumu sonunda betonun içerisinde oluşan alçıtaşının ve etrenjitin bir miktarının çözünerek, betonun yüzeyine çıkmasına yol açmaktadırlar. Böylece, alçıtaşının ve etrenjitin, sertleşmiş betonun içerisinde genişleme-yaratıcı etkileri birazcık azalmış olmaktadır. Deniz suyu etkisine maruz kalan betonlar, sülfat hücumunun yanısıra, gözeneklerinde çökelen (biriken) tuz kristallerinin yarattığı basınç nedeniyle de genişip, yaranabilmektedirler. Sertleşmiş betonun gözeneklerinde tuz birikmesi, betonun içerisine giren deniz suyunun kapiler hareketle yukarı çıkması ve buharlaşması sonucunda oluşmaktadır. Bu olay, betonun, su seviyesi üzerinde kalan bölgelerinde gelişmektedir. Deniz sularının gel-git hareketiyle yükselip alçalması sonucunda beton yüzeyinin bir bölümü, ıslanma-kuruma devirlerinin etkisinde kalmaktadır. Bu tür ıslanma-kuruma durumu ile karşı karşıya kalan beton devamlı olarak su içerisinde bulunan betona göre daha çok hasar görmektedir. Öte yandan, deniz suyunun içerisinde bulunan magnezyum sülfat, betondaki bağlayıcı özellikteki kalsiyum-silika-hidrat jelinin çözünmesine neden olmakla birlikte, bu çözünme oldukça yavaş tempoda yer almaktadır. O nedenle, gözeneklerde biriken magnezyum sülfat kristalleri, gözeneklerin bir ölçüde tıkanmasına ve böylece dışarıdan daha az su sızabilmesine yol açmaktadır. Deniz suyunun etkisine maruz kalacak betonların üretiminde kullanılan su/çimento oranı 0.45'i geçmemelidir. Şayet, eşiklerde, denizliklerde ve kaldırım betonlarında olduğu gibi beton kesiti ince ise , veya betonarme betonlarındaki donatının pas payı 2.5 cm'den az ise, su/çimento oranı 0.40'dan yüksek olmamalıdır [22].

Deniz sularının beton yapılara esas zararı, bu tür sularda bulunan klordan kaynaklanmaktadır. Deniz suyundaki klor, betonun içerisindeki demir donatıların korozyonunu (paslanmasını) hızlandırmakta betonun parçalanmasına yol açabilmektedir [22].

3.4.2. Durabiliteye etki eden kimyasal faktörler

3.4.2.1 Asit ve asit yağmurlarının etkileri

Rutubetli ortamda, kükürt dioksit (SO_2) ve karbondioksit (CO_2), hatta atmosferde bulunan diğer bazı gazlar; çözünmek suretiyle asitleri oluşturarak ve çimento klinker bileşikleri ile reaksiyona girerek yumuşak-çok zayıf bir beton kitlesi oluşmasına neden olabilirler. Hasar verici yoğun paslanma; yollarda buz eritici tuzlarının kullanımı, asit yağmuru, asit sisi ve kuru asit kalıntıları formunda asit birikintilerine neden olan kükürt dioksit ve azot dioksit (SO_2 ve NO_2) nedeniyle meydana gelebilmektedir. Hemen hemen bütün asitler kireç, çimento, harç ve beton üzerine değişik şekillerde etki ederler. Beton yapının aside maruz kalmasındaki en alışılmış sebepte betonun yer altı madenlerine çok yakınlıkta bulunmasıdır. Bu madenlerden çıkan drenaj sularının içerdiği asit bazen ansızın düşük pH değerlerine iner. pH 7 seviyesi nötr, 7'den yüksek değerlerde bazik, 7'den düşük değerlerde ise asidik olarak tanımlanmıştır. Yüzde 15-20 oranında sülfürik asit çözeltisinin pH değeri 1 olacaktır. Bu tür çözeltiler betona çok çabuk hasar verirler. pH 5-6 değerindeki seviyelere sahip asidik sularda eğer betona uzun süre temas ederlerse hasar verebilirler.

Pratikte tesir derecesi, asidite yükselmesi (pH düşüşü) ile yükselir. Normal olarak asit tesiri, yaklaşık pH=6,5 değerinde gerçekleşir, 4,5 pH'lık değer altında ise şiddetli bir şekilde meydana gelir. Asitler PH'larının 7'den küçük olmaları ile tanınan sıvılardır. 6-6.5 PH değerinden itibaren asitler betonu etkilerler, bu değer azalmasıyla etki şiddeti daha artar. Asitlerin yol açtığı hasarlar kolaylıkla saptanabilir. Asit betonun portland çimento harcı matrisiyle reaksiyona girer ve çimentoyu kalsiyum tuzlarına dönüştürür ve bundan akıtılan sularla yıkanarak atılabilir. Kaba agrega genellikle zarar görmemiş fakat maruz kalmış olarak kalır. Asit hasarlı betonun görünümü bir dereceye kadar aşınım hasarlarına benzerlik gösterir, yalnız kaba agreganın maruz kalması daha belirgin olmakta ve parlak görünmemektedir. Şekil 3.1. ve Şekil 3.2. aside maruz kalan betonun tipik bir görünümünü göstermektedir. Asit hasarları betonun maruz kalan dış yüzeyinde başlar ve belirginleşmeye başlar fakat azalan mesafelerle yapının iç kısımlarına

doğru genişlemeye devam eder.Asit genellikle yüzeyde yoğunlaşır. Betonun içine işlediğinde ise Portland çimento ile tepkimeye girerek nötrale olur. Yapının derinliklerindeki çimento tepkimelerle zayıflamaya başlar.

3.4.2.2. Tuzların etkileri

İçerdiği yüksek sülfat iyonu konsantrasyonu ile deniz suyu, beton üzerinde sülfat etkisi yapar. Ayrıca deniz suyu geçirimli bir betonda çimento bileşenlerini karbonik asit etkisiyle çözer.

Örneğin ABD’de deniz ortamındaki beton kazıkları karbonit asit etkisiyle, 55 cm olan çapları 30 cm’ye düşmüştür. Deneyimler, deniz suyu ile temas halindeki veya buz çözücü tuzlara maruz betonarme yapılarda, kaliteli bir betondan 5 – 7 cm kalınlığında pas payı kullanılması halinde bile klorürlerin donatıya ulaşmalarının sadece zaman meselesi olduğunu göstermektedir.

Ayrıca tuz,yağ,turşu,gibi beton için zararlı asitler içeren endüstri kollarında yapılacak beton işlerinde mutlaka gerekli önlemleri almak gerekmektedir.

Ek önlem olarak Yapı koruyucu bir tabaka ile kaplanmalıdır. Düşük su/çim oranlı betonlar kullanılmalıdır. Uygun çimento seçimi yapılmalıdır. Beton üretiminde puzolonik özelliği olan mineral katkıları kullanılmalıdır. Kimyasal katkıları kullanılmalıdır.

3.4.2.3. Magnezyum sülfat etkileri

Magnezyum; yer kabuğunda en yaygın olarak bulunan, periyodik tabloda il grubunda yer alan toprak alkali bir elementtir. Magnezyum elementinin:

Tablo 3.3. Magnezyum içeriği

Simgesi	: Mg
Atom numarası	: 12
Atom ağırlığı	: 24.312
İyon değeri	: +2
Kaynama noktası	: 1107 °C
Ergime noktası	: 650 °C
Yoğunluğu	: 1.74gr/cm ³
Elektron düzeni	: 3S ²
Kristal yapısı	: hekzagonal
Kovalent yarıçapı	: 1.36 °A
Atom yarıçapı	: 1.60 °A (12 koordinasyon sayılı metalik durumda)
İyon yarıçapı	: 0.65 °A (6 koordinasyon sayılı kristaldeki)
Atom hacmi	: 14.0 (atom ağırlığı/yoğunluk)
Birinci iyonlaşma enerjisi	: 176 kcal/mol
Özgül ısı	: 0.25 cal/g °C
Isı iletkenliği	: 0.38 cal/cm ² , s.cm. °C (oda sıcaklığında)
Elektrik iletkenliği	: 0.224 mikroohm -1 (0° ile 20 °C arasında)
Erime ısı	: 2.14 kcal/atomgram
Asid-Baz özelliği	: baz

Magnezyum, gümüş renkli, hafif ve parlak bir metaldir. Havada hemen mat renkli ince bir oksit tabakası ile kaplanır. Şayet 500°C'nin üstünde ısıtılırsa parlak bir alev ile yanarak MgO (MAGNEZYA)'ya dönüşür. Bu özelliğinden dolayı fotoğrafçılıkta kullanılır. Kolaylıkla şekil verilip ince plaka haline getirilebilir.

Magnezyum elementine, refrakter malzemelerin temel niteliğini kazandıran husus oksijene olan yüksek alakası (afinitesi) ve oksijen ile meydana getirmiş olduğu Magnezya (MgO)'nın 2800 °C sıcaklıklara kadar ergimeyip katılığını muhafaza edebilmesidir. Oksijen ile tabiattaki en yaygın oksijen bileşiği olan SiO₂ ile daha

kolay bileşik meydana getirebilmektedir. Yüksek kimyasal reaksiyon kabiliyetinden dolayı tabiattaki saf olarak magnezyum'a rastlanmamaktadır. Tabiattaki, bilinen magnezyum minerallerinin yaklaşık 2/3'ü silikatlardan oluşmaktadır.

Doğadaki Bulunuşu magnezyum elementinin doğada asıl bulunuş şekli, suda çözünmeyen bir cisim olan, dolomit $\{(Mg,Ca)CO_3\}$ ve Magnezit $(MgCO_3)$ ile suda çözünen ve kaya tuzu maden ocaklarında, kaya tuzunun üzerindeki tabakaları oluşturan $MgCl_2$ ve $MgSO_4$ ve bunların potasyum bileşikleriyle yaptıkları çifte tuzlar olan Kainit $(KCl.MgSO_4.3H_2O)$, Şönit $\{K_2SO_4.MgSO_4.6H_2O\}$ ve Karnalit $(MgCl_2.KCl. H_2O)$ 'tir. Bundan başka magnezyum karışık silikatlar şeklinde Talk'ı ve Amyant'ı oluşturur. Deniz suyunda % 0.11 kadar Mg-3 iyonu vardır. Sofra tuzunun nemli yerlerde ıslanması bunun içinde nem kapısı madde olan $MgCl_2$ 'ün bulunuşundan ileri gelir. Biyolojisi magnezyum iyonları vücut sıvılarında bulunan iyonlardan biridir. İnsan kanındaki Mg+2 iyonu miktarı 100 ml'de 2.3 mg'dır. Magnezyum tuzlarından bazıları ve özellikle $MgSO_4$ müşhil olarak kullanılır (günlük dozu 5-20 g).

Tablo 3.4. Bazı önemli magnezyum mineralleri

Mineralin Adı	Bileşimleri
Karnalit	$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$
Bisofit	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$
Periklaz (Magnezya)	MgO
Sellait	MgF_2
Spinel grubu	$MgO \cdot Al_2O_3$
Brusit	$Mg(OH)_2$
Magnezit	$MgCO_3$
Dolomit	$MgCO_3 \cdot CaCO_3$
Ankerit	$(Mg,Fe)Ca(CO_3)_2$
Artinit	$Mg_2(CO_3)(OH)_2 \cdot 3H_2O$
Hidromagnezit	$Mg_5(CO_3)(OH)_2 \cdot 4H_2O$
Epsomit	$MgSO_4 \cdot 6H_2O$
Asarit	$MgHBO_3$
Borasit	$5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 7B_2O_3$
Forsterit	Mg_2SiO_4
Olivin	$(Mg,Fe)_2SiO_4$
Hümit	$Mg_7(SiO_4)_3(OH,F)_2$
Pirop	$Mg_2Al_2(SiO_4)_3$
Enstatit	$MgSiO_3$
Tremolit	$Ca_2Mg_5(SiO_{11})_2(OH)_2$
Aktinolit	Demirli tremolit
Sepiyolit	Lületaşı - $Mg_2Si_4O_{11} \cdot H_2O \cdot nH_2O$
Talk	$Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_8$
Serpantin	$Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$
Flogopit	Mg'lu mika
Biyotit	Mg'lu mika
Penin	Mg'lu klorit
Vermikülit	Mg kili
Kainit	$KClMgSO_4 \cdot 11/4H_2O$
Polihalit	$K_2SO_4 \cdot Mg_5O_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$

Yukarıda sıralanmış olan magnezyumlu minerallerin hepsinden magnezyum elde etmek ekonomik olarak imkansızdır. Daha sonraki bölümlerde, hammadde olarak üretim yapılabilen magnezyumla mineraller sırası ile anlatılacaktır.

Magnezyum elementinin kayalar içerisindeki dağılımı incelendiğinde, büyük farklılıklar göze çarpmaktadır. Mağmatik kayalar içerisinde ortalama Mg oranı en fazla olan kayaç grubu, % 34'lük bir değerle peridotitlerdir. Kayaların SiO₂ oranı arttıkça, yarı asitleştikçe Mg oranı hızla azalmaktadır. Ayrıca, püskürük kayalarda, derinlik eşdeğerine nazaran daha az Mg bulunur. Örneğin derinlik kayacı Diorit'te ortalama % 6.42 Mg oranı mevcut iken, onun püskürük eşdeğeri olan Andezit'ler de bu oran % 5.49'dur. Ancak derinlik ve püskürük kayalardaki Mg farkı, kayaların asitleşmesi ile gittikçe azalmaktadır. Örneğin Diorit ile Antresit arasındaki fark % 0.93 iken asidik Granit ile Riyolit arasındaki fark sadece % 0.25'dir. Gerek Ultrabazik kayalardaki yüksek Mg oranı ve gerekse derinlik kayalarında püskürük kayalara nazaran daha fazla Mg rastlanmasının tek nedeni Mg elementinin oksijene karşı çok yüksek afiniteye sahip olması (Litofil olması) ve bu özelliği sonucu meydana gelen MgO'nun yüksek ergime sıcaklığına sahip olmasıdır. Böylece MgO ve onun meydana getirmiş olduğu bileşiklerle (önce silikatlar) mağmatik differansiyasyonun (meydana geliş hareketinin) daha ilk safhalarda kristalleşerek konsantre olmasıdır.

Aynı şey oluşum sıcaklığı yüksek olan ultrabazik magmalar içinde geçerlidir. Oluşum sıcaklığı düşük olan asidik magmada Mg çok az bulunduğu için (eriyik içerisinde, asidik magmanın meydana getirmiş olduğu kayalarda da çok az miktarda Mg oranları bulunmaktadır.)

Metamorfik kayalardaki ortalama Mg oranları da oldukça değişik olup, genel olarak metamorfizmasının şiddeti arttıkça kayalardaki Mg oranı da artmaktadır (Ancak Gnaysların daha şiddetli metamorfizma sonucu oluştuğu bilinmektedir).

Tortuş kayalarda ise en yüksek Mg oranı karbonatlardadır. Dolomit bu grupta olup % 23'e kadar MgO içerebilmektedir. Genelde normal karbonatlar % 4.7 Mg içerirken deniz karbonatlarında bu oran % 4'e düşer ki bu da deniz diplerini oluşturan tortullar içerisindeki Kalsit'in bol olması ve Mg'un kalsitin oluşumu sırasında Kalsit kristal kafesine güç girebilmesi ile açıklanabilir [19].

Sülfat çimentonun bazı bileşenleri ile reaksiyona girerek betonun zamanla bozulmasına neden olur. Sülfat saldırısına uğramış betonun karakteristik görünümü,

özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm kütleyle yayılan beyaz lekeler, çatlaklar ve dökülmelerdir. Beton kolayca ufalanır ve yumuşar.

Sülfat iyonları topraktan yada zemin suyundan beton içine girebilir. Çalılık dışında bitki ağaç yetiştirmeyen yüzeylerde beyaz lekeler, tuz birikintileri görülen çorak topraklarda sülfat etkisinden şüphe edilmelidir.

Başlıca Önlemler beton üretiminde sülfata mukavim çimento kullanılması, puzalonik özellikte mineral katkı kullanılması, kimyasal katkı kullanılması, betonun geçirimsizliliğinin sağlanması, çok zararlı etkilerde en az 360 kg/m² çimento kullanılması, en büyük su / çim oranı 0,45 olmasının sağlanması, gerektiğinde yapının bohçalanarak zeminden tamamen korunması.

Klorür etkisindeki betonun basınç ve çekme dayanımı arasındaki ilişki betonun da çekme ve basınç etkisi altındaki davranışı farklılıklar gösterir. Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının 1/8 ile 1/14'ü arasında değişen değerler alır, bu nedenle beton, bir yapı elemanında basınç gerilmelerine çalıştırılır ve betonun çekme gerilmeleri altında hemen çatladığı ve iş görmediği varsayılır. Havaalanı betonlarında olduğu gibi, uçakların yaptığı zımbalama etkisi ve zemindeki hareketler nedeni ile beton eğilmeye çalıştırılır ve betondan yüksek eğilme dayanımı beklenir. Bu tür yapılarda betonun kontrolü çekme dayanımının denetlenmesi ile sağlanmaktadır. Betonun çekme dayanımı, prizmatik numunelerde eğilme deneyi yapılarak veya silindir numunelerde yarma deneyi ile dolaylı olarak belirlenmeye çalışılır. Bu deneyler ile elde edilen verilerden çekme dayanımının belirlenmesi için katsayılar ihtiyaç duyulur ve elde edilen sonuçlar kesinlik taşımaz. Bu nedenle betonun pek çok özelliğinde olduğu gibi çekme dayanımının belirlenmesinde de basınç dayanımından yararlanır. Konu ile ilgili çalışmalarda ve standartlarda betonun yarmada çekme dayanımının, basınç dayanımının karekökü ile doğru orantılı olduğu (1) bağıntısı ile ortaya konulmuştur

$$f_{ct} = k \cdot f_{ck} \quad (1)$$

f_{ct} : Betonun yarmada çekme dayanımı

f_{ck} : Betonun basınç dayanımı

α_f : Beton çekme dayanımı için katsayı

Bağıntıdaki (1) α_f katsayısı için TS500'de 0.53 [2]; ACI'da 0.59 değeri [3] verilmektedir.

Iravani, ACI'nın verdiği bağıntının yüksek dayanımlı betonlar için de kullanılabileceğini deneysel olarak araştırmış, α_f 'in 0.57 değerini alacağını göstermiştir [4]. Yüksek performanslı betonun kullanımı ile TS500'de verilen bağıntı geçerliliğini yitirmiştir. Bu bağıntı biraz daha geliştirilerek, Yerlici ve Ersoy tarafından yapılan çalışmada (2) bağıntısı ile Arıoğlu tarafından yapılan çalışmada (3) bağıntısı ile gerçeğe daha uygun hale getirilmiştir [5,6].

$$f_{cs} = 0.36 \cdot f_{cc} \quad (2)$$

$$f_{cs} = 0.321 \cdot f_{cc} \quad (3)$$

Bu çalışmada, betonun basınç ve çekme dayanımı arasındaki bağıntıların geçerliliği, son yıllarda beton üretiminde ülkemizde de kullanım alanı bulan silis dumanının etkinliği ve donatı korozyonu için önemli sorunlardan biri olan klorür iyonunun etkisi bakımından, deneysel olarak araştırılmıştır.

3.4.2.4. Karbonatlaşma ve alkali etkileri

Bazı agregalar belirli ortamlarda aşırı genleşme gösteren reaksiyonlara yol açıp, betonun zamanla çatlamasına, bozulmasına neden olabilirler. Bu tür etkiler arasında en yaygın görüneni alkali agrega reaksiyonu adıyla bilinir. Bu tür reaksiyonlar İzmir'de bazı betonarme köprülerde rahatça görülebilirler. (Çatlaklar bal peteğine benzer)

Önlem olarak nit ve gediz nehirlerinin kumları gibi alkali reaksiyona neden olan agregalar kullanmamak Na_2O (sodyum oksit) değeri % 0.6 dan düşük çimentolar kullanmak. Beton üretiminde ince taneli puzolonik mineral katkı kullanılması düşük su/çim.oranı kullanılması, geçirimsiz beton elde etmek için diğer önlemlerin alınması.Ayrıca alkalilerin çimento ve agrega dışında karışım suyu, beton katkı maddeler, bu çözücü tuzlar zemin suyu, deniz suyu, beton kür suyu ve endüstriyel atık suları aracılığıyla beton bünyesine girebilirler.

Betonun içindeki çeliğin paslanmaması büyük ölçüde betonun içinde bulunan ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) sönmüş kireç tarafından sağlanır. Fakat bu olumlu özellik zaman içinde karbonatlaşma adı verilen kimyasal bir işlem sonucu yok olabilir. Özellikle sönmüş kireç havada bulunan (CO_2) karbondioksit ile birleşerek kireçtaşına dönüşür. İşte bu birleşme betonun pH'ını düşürür ve donatının paslanmasına neden olur. Karbonatlaşma beton yüzeyinden iç bölgelere doğru hızı azalarak devam eder. Bu nedenle pas payı bölgelerinde yoğunlaşır. Ne yazık ki birkaç santimetre kalınlıkta olan pas payları donatının paslanmasına neden olur.

Yapılan ölçümlerde basınç dayanım 30 Mpa (C 30) altındaki betonlarda büyük olasılıkla 1.5 santimetrelilik karbonatlaşma miktarına birkaç yılda ulaşacağını ortaya koymaktadır.

Bu durum 2 – 3 cm lik pas payı tabakalarının ne kadar yetersiz kaldığını göstermektedir. C20 sınıfı bir beton elemanlarda 30 yılda 4.5 cm karbonatlaşma derinliği oluşur. Deprem bölgelerinde kullanılması zorunlu olan en düşük beton sınıfı (C 20 'nin bu konuda yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır.)

Önlem olarak düşük S / Ç oranı, en az 300 kg/m³ çimento betonun kücü, yeterli paspayı, en düşük dayanım sınıfı olarak C30 kullanmak, nemli ortamlardan korunmak gerekir.

3.4.2.5. Sülfat etkisi

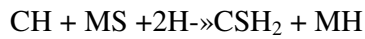
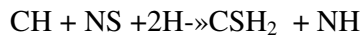
Yeraltı sularında, bazı killi topraklarda, ve cüruflla doldurulmuş arazilerde oldukça yüksek miktarlarda sodyum sülfat, kalsiyum sülfat, magnezyum sülfat ve potasyum sülfat gibi tuzlar bulunabilmektedir. Sertleşmiş betonun içerisine dışarıdan sızan sularla birlikte giren sülfatlar, betonun genleşip çatlamasına yol açan kimyasal olayların gelişmesine neden olmaktadır. Sülfatların betonda yarattığı yıpratıcı etki, "sülfat hücumu" olarak adlandırılmaktadır. Sülfat hücumuna maruz kalan betonların yüzeyi, karakteristik olarak, beyazımsı bir görünüm almaktadır. Sülfatların yıpratıcı etkisi, genel olarak, beton blokların kenarından ve köşelerinden başlamaktadır. Daha sonra, bu etki, betonun iç kısımlarına doğru yoğunlaşarak, beton yüzeyinin tabaka tabaka büyük parçalar halinde parçalanmasına neden olmaktadır. Yapıların temel

betonları, istinat duvarı betonları, kanal kaplama betonları, ve beton borular, sülfat hücumunun çok sık rastlandığı betonlardır.

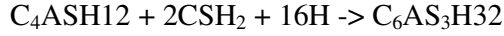
Sülfat Hücumu Karşısında Betonda Yer Alan Reaksiyonların Mekanizması: Portland çimentosu klinkerinin küçük bir miktar alçıtaşı ile öğütülmesi sonucunda elde edilen portland çimentosunda, C_2S , C_3S , C_3A ve C_4AF gibi anabileşenler yer almaktadır. Çimento ve suyun birleşmesiyle, bu anabileşenler su ile ayrı ayrı reaksiyona girmekte ve değişik hidratasyon ürünlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Çimentodaki C_2S ve C_3S anabileşenlerinin. hidratasyonu, çimento hamuruna bağlayıcılık sağlayan kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jellerinin yanısıra, kalsiyum hidroksit (CH) oluşmasına yol açmaktadır. C_4AF ve özellikle C_3A ile çimento içerisinde yer alan alçının, ve suyun arasındaki reaksiyonlar ise, etrenjit ($C_6AS_3H_{32}$), ve kalsiyum-alumino-monosülfohidrat (C_4ASH_{12}) gibi ürünlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır, özetle, çimento ve su arasındaki reaksiyonlar sonucunda, çimento hamurunun yapısında yer alan başlıca hidratasyon ürünleri, C-S-H, CH, ve kalsiyum-alumino-sülfohidratlardır.

Hem C_4ASH_{12} , hem de $C_6AS_3H_{32}$, çimento hamurunun genleşmesine yol açmaktadır, özellikle, $C_6AS_3H_{32}$, çok büyük genleşme yaratma kapasitesine sahiptir. Sertleşmiş betonun içerisine sızan sularda sodyum sülfat (Na_2SO_4) veya magnezyum sülfat ($MgSO_4$) gibi sülfatlar bulunduğu takdirde, betonda iki tür (veya iki aşamalı) reaksiyonların yer almasına neden olmaktadır: Bunlar,

(1) Sertleşmiş çimentonun bünyesinde hidratasyon ürünü olarak yer almakta olan kalsiyum hidroksit ile sülfatlar arasındaki reaksiyonlar sonucunda alçıtaşı oluşmasına yol açan reaksiyonlar,



(2) Sertleşmiş çimentonun bünyesinde bulunan yarı-kararlı yapıdaki C_4ASH_{12} ile sülfat etkisiyle oluşmuş olan alçıtaşı arasındaki reaksiyonlar sonucunda $C_6AS_3H_{32}$ oluşmasına yol açan reaksiyonlar.



(Yukarıdaki formüllerdeki CH, N S, H, CSH₂, MS, NH, MH, C₄ASH₁₂ ve C₆AS₃H₃₂, sırasıyla, kalsiyum hidroksitin, sodyum sülfatın, suyun, alçıtaşının, magnezyum sülfatın, sodyum hidroksitin, magnezyum hidroksitin, kalsiyum-alümino-monosülfohidratın ve etrenjitin çimento, kimyasındaki sembollerle gösterilmiş halidir.)

Sertleşmiş betonun içerisinde alçıtaşı oluşması bir miktar genleşmeye yol açmaktadır. Ancak, asıl genleşme, alçıtaşı ve yarı kararlı durumdaki kalsiyum-alümino-monosülfohidrat arasındaki reaksiyonlar sonucunda yer almaktadır. Sertleşmiş betonun içerisinde etrenjit kristallerinin oluşması, çok büyük genleşmeler yaratmakta, betonun çatlayıp parçalanmasına yol açmaktadır.

Sodyum Sülfatın ve Magnezyum Sülfatın Etkilerinin Karşılaştırılması: Yukarıda anlatıldığı gibi, hem sodyum sülfat, hem de magnezyum sülfat, betonun içerisinde alçıtaşı oluşmasına, ve yarı-kararlı durumdaki C₄ASH₁₂ ürünlerinin etrenjit durumuna gelmesine yol açmaktadırlar. Ancak, magnezyum sülfatın beton içerisindeki reaksiyonları alçıtaşının oluşmasına yol açan reaksiyonlarla sınırlı değildir. Magnezyum sülfat, çimento hamurunun bağlayıcılığını sağlayan kalsiyum-silika-hidrat (C₃S₂H₃) jelleri ile de reaksiyona girmekte, bu jellerin bir miktarının çözünmesine neden olmaktadır:



Bu reaksiyon sonucunda oluşan SHX (silis jeli), magnezyum hidroksit (MH) ile oldukça yavaş bir reaksiyona girerek bağlayıcılık değeri olmayan kristal magnezyum silikat oluşmasına yol açmaktadır.

Özetlenecek olursa, betonun içerisine sızan sularda bulunan magnezyum sülfat, sodyum sülfat gibi genleşme yaratmakta ve ayrıca betondaki çimentonun bağlayıcılık değerini azaltabilmektedir.

Öte yandan, magnezyum sülfatın neden olduğu reaksiyonlar sonucunda oluşan ürünlerin hacmi sodyum sülfatın reaksiyonu sonucu oluşan ürünlerinkinden daha

büyüktür. Ancak, magnezyum sülfatın kalsiyum hidroksitle veya kalsiyum-silika-hidrat ile yaptığı reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkan magnezyum hidroksit (MH), betonun içerisindeki boşlukların içerisine yerleşmektedir. Magnezyum hidroksitin betondaki boşlukların içerisine yerleşmesiyle, boşluklar belirli ölçüde kapatılmakta, betonun içerisine daha fazla sülfatın sızması önlenmiş olmaktadır. O bakımdan, magnezyum sülfatın betonda yarattığı genleşme, sodyum sülfatunki kadar yıpratıcı değildir.

Suda ve Toprakta Yer Alan Sülfat Konsantrasyonunun Sülfat Hücumunun Hızına Etkisi: Betonla teması bulunan topraktaki ve sudaki sülfat miktarı ne kadar yüksek olursa, sülfat hücumu daha şiddetli olmakta, beton daha kısa süre içerisinde hasar görmektedir. Sudaki sülfat konsantrasyonu, toplam SO_3 veya SO_4 miktarının, ağırlık olarak, bir milyonda kaç kısım oluşturduğu belirtilerek ifade edilmektedir. Atom ağırlıklarına göre, $SO_4 = SO_3 \times 1.2$ 'dir. Topraktaki sülfat miktarı, çözünebilir SO_3 veya SO_4 'ün % olarak ifadesi şeklinde olmaktadır.

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI), suda veya toprakta bulunabilecek sülfat konsantrasyonuna bağlı olarak, betonun sülfat hücumuna maruz kalacağı ortamları, "az etkili (yumuşak) ortam", "etkili ortam", "çok etkili ortam" ve "aşırı etkili ortam" olarak Tablo 3.5 'da gösterildiği gibi tanımlamaktadır. Bu Tablo'da, değişik sülfat ortamlarında kullanılacak betonlar için önerilen maksimum su/çimento oranlarına da yer verilmektedir [22].

Tablo 3.5. Amerikan beton enstitüsü tarafından tanımlanan sülfat ortamları ve önerilen su/çimento oranları

Sülfat Ortamı	Topraktaki	Sudaki	Betondaki
	suda çözünebilir SO ₄ miktarı (%)	SO ₄ miktarı (ppm)*	Maksimum Su/Çimento Oranı
Az Etkili	0.00- 0.10	0-150	
Etkili	0.10- 0.20	150-1500	0.50
Çok Etkili	0.20- 2.00	1500-10000	0.45
Aşırı Etkili	>2.00	> 10 000	0.45

*ppm = part per million = bir milyon içerisindeki kısım

Sülfat Hücumunu Azaltıcı Önlemler: Sülfat hücumunu azaltabilmek için alınacak başlıca önlemler şunlardır:

- (1) Beton, mümkün olabildiği kadar, "geçirimsiz" olarak üretilmeli, ve
- (2) Beton üretiminde, uygun türde bir çimento ve/veya puzolanik özellikli mineral katkı maddesi kullanılmalıdır.

Betonun "Geçirimsiz" Olmasının etkisi : Topraktaki ve yer altı sularındaki sülfatlar, betonun içerisine sızan sularla birlikte girmektedir. O nedenle, betonun geçirimsizliğinin az olması , betona girecek sülfat miktarının az olmasını sağlamaktadır.

Tablo 3.5.'dan da görülebileceği gibi, sülfat konsantrasyonu yüksek olan ortamlarda kullanılacak betonların üretiminde, su/çimento oranı 0.45'den daha fazla olmamalıdır.

Çimento Tipinin Etkisi : Çimentodaki C₂S anabileşenin hidratasyonu sonucunda oluşan kalsiyum hidroksit miktarı C₃S anabileşenin hidratasyonu sonucunda oluşan

kalsiyum hidroksit miktarından daha az olduğuna göre, C_2S miktarı nispeten yüksek olan çimentoların kullanılması, bu çimentoların hidrasyon sonucunda daha az kalsiyum hidroksit meydana gelmesine yol açmaktadır. ASTM Tip II, Tip IV ve Tip V çimentolarda, nispeten daha fazla C_2S bulunmaktadır. Böylece, sülfat hücumu etkisiyle, daha az miktarda alçıtaşı oluşabilmektedir. Bilindiği gibi, portland-puzolan tipi çimentolar, çimento üretimi esnasında klinkerle birlikte bir miktar puzolanın da öğütülmesi sonucunda elde edilmektedir. Bu tip çimentoların içerisindeki puzolanlar, bağlayıcılık kazanabilmek için, çimentodaki kalsiyum-silikatlı anabileşenlerin hidrasyonu sonucunda oluşmuş olan kalsiyum hidroksitle kimyasal reaksiyona girerek yeni kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jelleri üretmektedirler. Böylece, portland-puzolan tipi çimentolarla yapılan betonların içerisinde, puzolan içermeyen çimentolarla yapılan betonun içerisinde bulunan kalsiyum hidroksitten daha az kalsiyum hidroksit bulunmaktadır. Portland-puzolan tipi çimentolarla yapılan betonların içerisinde, sonradan sülfat hücumu ile, alçıtaşı oluşması ve genleşmelere yol açan reaksiyonlara devam etmesi imkanı daha düşüktür. (ASTM İP, IS, ve Türk çimentolarından katkılı çimento KÇ 32.5, traslı çimento TC 32.5, cürüflü çimento CÇ 32.5 ve CÇ 42.5, bu tip çimentolardır.) Daha önce bahsedildiği gibi, dışarıdan sızan sülfatların betonun içerisinde oluşturduğu alçıtaşı, çimento hamurunun içerisindeki yarı-kararlı durumda mevcut olan kalsiyum-alumino-monosülfohidrat C_4ASH_{12} ile reaksiyona girerek çok büyük genleşme gösteren etrenjit ($C_6AS_3H_{32}$) oluşmasına yol açmaktadır. Normal olarak, çimento hamurunun içerisindeki kalsiyum-alumino-sülfohidratlar, çimento anabileşenlerinden C_3A ile çimentodaki alçıtaşının su ile reaksiyonu sonucunda ortaya çıkmaktadırlar. Çimentonun içerisindeki C_3A oranı düşük olduğu takdirde, doğal olarak, hidrasyon sonucunda oluşan etrenjit ve kalsiyum-alumino-monosülfohidrat miktarı da az olacaktır. Bir başka deyişle, bu tür bir çimentonun hidrasyonu sonucunda oluşan kalsiyum-alumino-sülfohidrat oranı azdır; dolayısı ile, sülfat hücumu etkisiyle daha az miktarda etrenjit oluşmaktadır. O nedenle, sülfata dayanıklı beton üretiminde, C_3A miktarı düşük olan çimentolar kullanılmaktadır. (ASTM Tip V ve ASTM Tip II'deki maksimum C_3A miktarı, sırasıyla %5 ve %8 olarak sınırlandırılmıştır.)

İnce Taneli Puzolanik Katkı Maddelerinin Etkisi : Öğütülmüş tras, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı, ve uçucu kül gibi, puzolanik katkı

maddeleriyle üretilen betonlar, sadece portland çimentosu ile üretilmiş betonlara göre, genel olarak daha az miktarda portland çimentosu içermektedirler. Bir başka deyişle, puzolan katkılı betonlarda, sülfat reaksiyonuna yol açabilecek C_3A miktarı daha azdır. Ayrıca, daha önce de bahsedildiği gibi, puzolan katkılı betonlardaki hidrasyon, önce, portland çimentosu ile su arasında başlamaktadır. Puzolanların reaksiyon gösterebilmeleri C_3S ve C_2S anabilesenlerinin; hidrasyonu ile ortaya çıkan kalsiyum hidroksit kullanılmasıyla gerçekleşmektedir. Yani, puzolan katkılı betonlarda, daha az miktarda kalsiyum hidroksit yer almaktadır. Bu da, sülfat ve kalsiyum hidroksit, arasındaki reaksiyon sonucunda oluşabilecek alçıtaşı miktarının az olmasına neden olmaktadır [22].

3.4.3. Durabiliteye göre tasarım ve üretim

Üzerinden yedi sene geçen Marmara Bölgesi'ndeki depremler sonrasında en çok konuşulan bölgenin jeolojik yapısı oldu. Özellikle de bundan sonraki büyük şokun ne zaman gelebileceği üzerine senaryolar üretildi. Ülke insanı konuşulanları ve tartışmaları televizyonlardan ve basından ilgiyle izledi, çoğu insanımız adını ilk kez duyduğu Jeofizik ve Sismoloji konularıyla bilgi edinmeye başladı. Depremler sonrası televizyonlarda gece saat üçlere dördüye kadar yerbilimcilerinin konuşmaları izlendi. Ancak, göçen yapılarıdaki hasarların nelerden kaynaklandığı konusunda maalesef çok az bilgi edinildi ve yapılan hatalar konusunda kamuoyu yeteri kadar bilgilendirilemedi. Depremler sonrası yıkılan veya ağır hasar gören yapılarla ilgili bir envanterin çıkarılmamasını kaçırılan bir fırsat olarak değerlendiriyorum. Uzun bir geçmişe sahip olan Yapı Mühendisliği ülkemizde de gelişmiş olmasına, geçmişte ve günümüzde sadece ülkemizde değil ülke sınırları dışında da önemli yapıları başarıyla inşa etmemize karşın Marmara Depreminde yaşananların sorgulanması, gerekli önlemlerin zaman kaybına neden olmadan alınması zorunludur. Gerek nüfus yoğunluğunun, gerek sanayinin büyük bir bölümü deprem kuşağında olan Türkiye bu bölgeleri terketmeyeceğine göre bilgi ve bilim ile yaşamayı öğrenmesi, geçmiş depremlerden çıkarılmayan derslerin en azından bu büyük felaketlerden sonra çıkarılması gerekmektedir. Maalesef şimdiye kadar yapılanlar yapılması gerekenleri düşündükçe yetersiz kalındığı anlaşılmaktadır. Bu konuşmamda şimdiye dek izlediklerinizden farklı olarak daha çok önemli bir taşıyıcı malzeme olan betondan,

yapılan hatalardan ve betonun sahip olması gereken uzun süreli performansından bahsetmek istiyorum.

Bir yapıdan beklenenler, bir yapıdan beklenen; dayanım, dürabilite (dayanıklılık), ekonomi, fonkiyon ve estetiğin sağlanmasıdır. Yapıyla ilgili mimar ve mühendisler bu unsurları birleştirmek durumundadır. Bir yapı üretilirken şu aşamalardan geçmelidir:

Yapı tasarımı; yer seçimi, zemin etüdü, sistem seçimi, projelendirme ve projenin detaylandırılması.

Malzeme seçimi ve malzemenin denetimi, kullanılan malzemelerin davranışı, seçilen malzemelerin amaca uygun olup olmadığı, kullanılan malzemelerde kalite denetim süreci, İnşaat süreci, tasarım ile uyumlu bir yapı üretim teknolojisi, montaj ve işçilik.

Yapı servis ömrünü tamamlayıncaya kadar projenin sürdüğü düşünülmelidir. Ülkemizde yeterince önem verilmeyen ancak Marmara Depremiyle önemi ortaya daha belirgin olarak çıkan binaların bakımı ve onarımı aşamalarını da bu sürece eklemek gerekir, çünkü yapı bir entegre sistemdir. Ülkemizde bu aşamalara gereken özenin gösterilmediği bir kez daha ortaya çıkmıştır. Kullanılan malzemelerde kalite denetim süreci çok aksamıştır. Ayrıca inşaatın tasarımla uyumlu bir yapı üretim teknolojisine göre yapılmadığı anlaşılmıştır. Özellikle montaj ve işçilik büyük ölçüde aksamıştır. Esasen geçmişte büyük yararları olan tekniker okullarını da kapatmış bir ülkeyiz. Eğitimsiz gruplar inşaatları yapmıştır. Yatırımların Marmara Bölgesi'nde teşvik edilmesi, böylece büyük kentlere kırsal kesimlerden hızlı bir göçün olması, ve buna denetimsizlik de eklenince felaketin boyutu büyük olmuştur.

Genel olarak betonun performansı, taze betonun işlenebilirliğinde agrega biçiminin ve en büyük boyutunun önemli işlevi vardır. Özellikle agreganın en büyük boyutu betonarme kalıbındaki donatı durumuna uygun olmalıdır. Sertleşmiş betondan beklenen ise dayanımlı, dayanıklı ve ekonomik olmasıdır. Son depremler sırasında büyük hasar gören yapılar incelendiğinde yapılaşmanın hızlı olduğu bu bölgede betonla ilgili temel bilgilerin kullanılmadığı ve gerekli denetimlerin yapılmadığı belirgin biçimde ortaya çıkmıştır. Beton hacminin yaklaşık %75' ini oluşturan agreganın betonun performansında etkisi belirgindir. Maksimum su /çimento oranı

ile minimum çimento içeriğindeki sınırlamalar betonun dayanım ve dayanıklılığını önemli ölçüde etkiler. Bu iki sınırlamanın gerçekleşmesinde agreganın kaliteli ve boyut dağılımının uygun olması zorunludur. Genel olarak betonun çevresel etkilere diğer bir deyişle dürabiliteye göre tasarımı bu iki parametreye göre yapılır. Betondaki maksimum su/çimento oranı ve minimum çimento dozajı gibi kısıtlamaların ne ölçüde gerçekleşebileceği (yani çevresel etki sınıfına bağlı olarak maksimum su/çimento oranı belirli bir değeri aşamaz ve çimento dozajı da öngörülen minimum değer altına inemez) doğrudan beton agregasının türüne, granülometrisine ve standartlarına uygun olmasına bağlıdır. Deprem bölgelerindeki betonlarda granülometriye ve beton kalitesine özen gösterilmediği, yeterli pas payının oluşturulmadığı, böylece betonun betonarme çeliğini koruyamadığı görülmüştür. Betonarme içindeki demiri koruyan betondur. Beton, hem basınç gerilmelerini karşılar hem de demirin korozyona uğramasını önler. Depremler sonrası bazı kesimlerce betonarmeyi yeren, çelik yapıyı savunan beyanlar oldu. Beton kalitesiz, yani boşluklu ve geçirimli olursa demiri koruyamaz. Bu, betonarmenin kusuru olarak değerlendirilmemelidir. Başka bir anlatımla, betonarme elemanda demiri koruyamayan bir işçiliğin olduğu ülkemizde çelik yapı korozyona karşı nasıl korunacak, yangına karşı nasıl önlemler alınacak biçimindeki soruların yanıtlanması gereklidir. Betonda donatı korozyonuna bağlı çatlama ile sismik yükler arasında sıkı bir ilişkinin olduğu kesinlik kazanmıştır. Beton; agregası, çimento hamuru ve agregası-çimento hamuru temas yüzeyinden oluşan bir malzeme olarak düşünülürse en zayıf halkanın arayüzeyler olduğu ortaya çıkar. Beton teknolojisindeki gelişmenin anahtarı çimento hamuru ile agregası arasındaki arayüzeylerin güçlendirilmesidir. 1970 li yıllara kadar 28 günlük silindirik basınç dayanımı 40 MPa'ı aşan betonlar yüksek dayanımlı beton kabul edilirken günümüzde bu kavram önemini yitirmiştir. Dayanım ve dayanıklılık için en önemli gereksinim olabildiğince az boşluklu ve geçirimsiz beton üretmektir. Özellikle 1980 li yıllarda süper ve daha sonra da hiper akışkanlaştırıcıların ve ultra incelikli mineral katkıların kullanılması 2000 li yıllara gelindiğinde yalnız betonların 28 günlük basınç dayanımlarının 200 MPa (2000 kgf/cm²)'a erişebileceği kanıtlanmıştır.

Belirli bir granülometriye sahip olan beton agregasının ince bölümünü kum oluşturur. İri agregalarda olduğu gibi kumların da temiz, kimyasal etkilere karşı

dayanıklı ve dayanımının yeterli olması istenir. Ayrıca, kumun inert olması diğer bir deyişle çimento ile kimyasal reaksiyona girmemesi gerekir. Ülkemizde beton agregalarında aranan özellikler TS 706' da belirtilmiştir. Kum için söz konusu özellikler; elek analizi, dayanım, kil ve silt içeriği, organik madde içeriği, alkali agrega reaktivitesi deneysel olarak belirlenir. Ancak bu deneylerden olumlu sonuç alınması halinde, söz konusu agreganın betonda kullanılmasına izin verilir. Kumda çok ince kil ve silt tanelerinin varlığı betonun dayanımını düşürmektedir. Çoğunlukla zirai toprak kökenli organik maddeler, kil toprakları, kömür taneleri, yumuşak taneler, standardın üzerinde suda çözünen klorür miktarı ve sülfatın varlığı da betonun davranışını olumsuz etkilemektedir.

Deprem sonrasında dikkati çeken bazı açıklamalar, marmara depreminde orta ve ağır hasar görmüş binalardan alınan beton örnekleri üzerinde yapılan bir araştırmada genel olarak sürekli granülometriye uyulmadığı, en büyük agrega boyutunun 8 mm ya da bunun biraz üzerinde olduğu görülmüştür. Yine aynı araştırmada denenen 5 ayrı yapıya ait betonlardan 4 ünde kum sınırı olarak kabul edilen 4 mm'den geçen malzeme miktarının %65'in üzerinde bazılarında %91'e varan değerlerde olduğu saptanmıştır. Bu şekilde ince agregalarla üretilen betonların su gereksinimi aşırı yükselir, bunun sonucu olarak da su/çimento oranı artar, ince agrega tanelerini sarmak ve aralarındaki boşlukları doldurmak için daha çok çimentoya gerek duyulur, bu da bilindiği gibi yaygın biçimde esirgenmiştir. Aşağıdaki tabloda sözkonusu araştırma sonucuna göre Avcılar'dan alınan betonlardaki tane boyutu dağılımı görülmektedir.

Tablo 3.6. Avcılar'dan alınan betonlardaki dane boyutu dağılımı

Elekten Geçen (%)			
31,5mm	16mm	8mm	4mm
100	98	87	70
100	97	91	83
100	100	99	91
100	80	59	51
100	84	80	65

Bu tablonun incelenmesinden görüldüğü üzere depremler sırasında saptanan düşük dayanımların nedeninin kamuoyunda yanlış birkaç açıklamanın yolaçtığı kanının aksine deniz kumu kullanılmadığı, malzemenin betondan çok, düşük kaliteli bir harç olduğu gerçeğidir. Nitekim, Avcılar'da ağır hasar gören yapılardan alınan karot örneklerine dayanarak bulunan ortalama eşdeğer küp basınç dayanımları da ancak 8 MPa olmuştur. Böyle bir malzeme taşıyıcı olmadığı gibi dış etkilere karşı dayanıklı da değildir. Geçirimli olduğu için donatıyı da koruyamamaktadır. Gerçekten, depremler sonrası yapılan incelemeler bölgedeki betonarme yapılarda karbonatlaşma rötresi ile klor diffüzyonunun neden olduğu korozyon çok fazladır. Bunlar da depremlerde göçme riskini artırıcı nitelik taşımaktadır.

Çevresel etkilerin göz önüne alınması gerekir. Betonarme sadece dayanıma göre tasarlanmamalıdır, yani yapı önce dürabilite gözönüne alınarak tasarlanmalıdır. Günümüzde yapı sahibi ile proje müellifinin biraraya gelip yapının ömrü ne olacak diye tartışmaları zorunludur; bu kavramlar artık standartlara girmiştir. Betonarme yapı tasarlanırken çevresel etki sınıfı belirlenecek, karbonatlaşma veya klor etkisinden kaynaklanan korozyon, sülfat ve donma çözülme etkileri gibi bütün bunların önceden belirlenmesi gerekmektedir. Yerbilimcileri hep fay hattının nereden geçeceğini saatlerce tartışıyor, ancak Gölcük'de fay hattından sadece birkaç metre uzağındaki binaların ayakta kalanları da vardır. Demek ki usulüne uygun yapılmış yapılar depremler sırasında yıkılmayabilir. Deprem yönetmeliğini hazırlayan arkadaşlara da biraz sitem etmek istiyorum. Beton sınıfı 20 (C20) dürabilite

bakımından kesinlikle yeterli değildir. Dürabiliteye göre tasarım için C30'un üzerindeki betonları kullanmamız gerekmektedir. Beton geçirimli ise karbonatlaşma olur, demir korozyona uğrar. Beton geçirimli ise dürabilitesinden söz edilemez, yani önce dürabiliteye göre tasarım sonra dayanım sözkonusu olmalıdır.

Son olarak birkaç cümlemin altını çizmek istiyorum. Yapıların deprem etkisi sonucu yıkılması bir çok faktöre bağlıdır. Bunlar; zemin durumu, uygun temel seçilmemesi, deprem hesabını da içeren statik bir projenin bulunmaması ya da yeterli olmaması, projenin değiştirilerek uygulanması, yumuşak kat ya da kısa kolon gibi yapısal sorunlar, projede belirtilen sınıfta beton kullanılmaması, çelik donatı sınıfının yeterli olmaması, çelik donatının doğru çapta, sayıda ve şekilde yerleştirilmemesi, filiz boylarının yeterli olmaması, etriyelerin yerleştirilmesinde ve işçiliğindeki hatalar olarak sayılabilir [27].

Betonun dürabilitesi de betonun kalitesine bağlı olup, performansta bileşen malzemeler, karışım oranları, üretim yöntemi, betonun bakım ve kürü gibi süreçler ile çevre koşulları etkilidir. Çevresel etki sınıfları göz önüne alınarak tasarımın gerektiği unutulmamalıdır. Beton uygun şekilde kür edilmemişse mukavemet yaklaşık %30 düşebilir, ancak dürabilite daha da olumsuz etkilenir; kür edilmemiş betonun geçirimliliği yaklaşık 10 kat artabilir. Bu da korozyonu olumsuz biçimde etkiler. 9 yıl önce inşa edilen bir çok binada şiddetli donatı korozyonu olaylarına rastlanıldı. Kısaca, amaca uygun malzeme seçilmeli, su da dahil bütün bileşenler standartlara uygun olmalı, karışım iyi tasarlanmalı ve taze betonun yeterli biçimde yerine yerleştirilmesi sağlanmalı, özellikle ilk sertleşme sürecinde yüksek sıcaklık farklarından kaçınılmalı, beton iyi korunmalı ve gerekli kür aksatılmadan yapılmalıdır [27].

Taze beton çatlakları taze betonda bazı önlemlerin alınmaması halinde istenmeyen plastik rötre veya oturma çatlakları oluşabilir. Ayrıca, betonda kısıtlanmış rötre çatlaklarına rastlanabilir. Bu çatlakların nedenleri, alınacak önlemler ve onarımları ile ilgili genel bir değerlendirme aşağıda sunulmaktadır.

Taze beton çatlakları, betonun kalıba yerleştirilmesini izleyen ilk 30 dakika ile 5 saat arasında, genelde döşeme gibi geniş yüzeye uygulanan betonlarda görülür. Bu

çatlaklar 10 cm'ye erişen derinlikte ve birkaç cm'den başlayarak 2 m'ye varan uzunlukta olabilir. Oluşan çatlaklar betonun özellikle dürabilitesi açısından zararlıdır. Taze beton çatlakları farklı oturmalarından, plastik rötrede veya kısıtlanmış rötrede kaynaklanabilir.

Oturma çatlakları, bu çatlaklar genellikle kirişlerde üst yüzeye yakın donatıların (demirlerin) hemen üstünde oluşurlar. Taze betonda iri agrega taneleri dibe çökerken su yüzeye doğru hareket eder. Yüzeye yakın donatılar bu harekete karşı koyar ve oturmasını tamamlayamayan üst beton tabakası zaten düşük olan çekme dayanımını kaybederek çatlar. Böylece, beton yüzeyindeki çatlaklar yüzeye yakın donatıların buldukları hatlar boyunca uzanırlar.

Bu tür çatlaklar; mantar başlıklı bir kolonun baş kısmına yakın yerde veya beton derinliğindeki değişmenin olduğu nervürlü döşemelerde de görülebilir.

Plastik rötre çatlakları, bu çatlaklar geniş yüzeyli olan döşeme, yol, park ve havaalanı betonları gibi uygulamalarda oluşabilir. Beton yüzeyindeki suyun buharlaşma hızı, betonun içindeki suyun yükselme hızından fazla ise, betonun yüzeyi kurumaya, dolayısıyla büzölmeye başlar. Altındaki beton bu büzölmeye uyum sağlayamadığı için, üst tabakasında çekme gerilmeleri oluşur ve çekme şekil değiştirme kapasitesinin de düşük olması nedeniyle beton çatlar. Aynı çatlaklar, yeni dökölen betonun altındaki eski ıslatılmamış betonun veya asmolentli tabliyelerdeki briket gibi diğer malzemelerin beton suyunu emmesi sonucu da oluşabilir [26].

Kısıtlanmış rötre, betonda gözlenen plastik rötre ve oturma çatlaklarından başka sık sık kısıtlanmış rötre çatlaklarına da rastlanır. Böyle bir rötre basit bir deneyle açıklanabilir: Çelik bir çember etrafına beton dökölüp sertleştikten sonra incelendiğinde serbestçe büzölmesi önlenen betonda düşey çatlakların oluştuğu görülür; bunlar kısıtlanmış rötre çatlakları olarak adlandırılır. Bu rötre çatlakları genellikle perdelerde görülür. Özellikle temeller üzerine oturan kolonlar arasındaki geniş perdelerde, tünellerde, eski beton üzerine dökölen yeni betonda bu tür çatlakları görmek mümkündür. Böyle çatlaklar perde içindeki boşluklar civarında belirgin biçimde gelişebilir. Önlemler olarak kısıtlanmış rötre çatlaklarını azaltmak mümkündür. Önlemlerden bazıları şöyle sıralanabilir; donatı miktarını arttırmak,

çelik tel veya polietilen fiber kullanmak, dayanımı sağlayabilmek kaydıyla çimento miktarını biraz azaltmak, dökümden hemen sonra doğru ve yeterli kür uygulamak ve gereken koruma önlemlerini almak, hidrasyon ısısı düşük çimento kullanmak, betonun su/çimento oranını düşürmektir [27].

Beton yüzeyindeki suyun buharlaşma hızını arttıran etkenler, betonun sıcaklığı, düşük bağıl nem oranı, yüksek rüzgar hızı, ortam sıcaklığıdır.

Beton ve hava sıcaklığının, ortamdaki bağıl nem ve rüzgar hızının beton yüzeyinden buharlaşan su miktarına ortak etkilerinden mevcut bazı abakları kullanarak aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir.

Hava sıcaklığı arttıkça buharlaşma artar. Beton havadan daha sıcaksa buharlaşma daha da artar. Buharlaşan su miktarı 0,5 kg/m²/saat değerini aşınca, plastik rötre çatlaklarının oluşması olasılığı vardır, bu da önlem almayı gerektirir. Sıcaklığın 50 C artması buharlaşmayı %100 arttırabilir.

Hava sıcaklığı 200 C, havadaki bağıl nem %60, beton sıcaklığı 24,5 0C ve esen rüzgar hızı 25 km/saat ise buharlaşan su miktarı yaklaşık 1 kg/m²/saat olur.

Havadaki rutubetin %90'dan %50'ye düşmesi buharlaşmayı %100 arttırır. Rüzgarın hızı saatte sıfırdan 20 km'ye çıktığında buharlaşma yaklaşık dört kat artar. Beton yüzeyi güneş ışınlarına açıksa, betonun yüzeyindeki sıcaklıkla beraber buharlaşma da artar.

Plastik rötre sonucu oluşacak çatlak yoğunluğunun suyun buharlaşma hızı ile orantılı olacağı beklenir.

Taze beton çatlaklarına karşı alınacak önlemler, beton bileşenleri bakımından alınacak önlemler, betonda yüzey/hacim oranı yüksek olan ince malzemeler fazla ise, betonda plastik rötre riski vardır. Belirli bir su/çimento oranı için, ince malzeme ve çimento dozajı arttıkça, plastik rötre arttığı deneylerle kanıtlanmıştır. Betonda yeterli kadar ince malzeme var ve beton az boşluklu ise beton terleme suyunun yukarı çıkması güçleşir. Yüzeyden buharlaşan suyun yerine terleme suyu gelemeyince beton yüzeyi kurur ve çatlaklar oluşur. Böyle bir durumda başka etkileri

göz önüne alarak, ince malzeme ve gereğinden fazla çimento kullanılmasına sınırlama getirilebilir. Oturma çatlaklarının oluşumunda ise aşırı su kullanımının işlevi büyüktür. Böyle bir durumda da su tutucu maddelerin miktarını arttırmak gerekir. Diğer bir deyişle dozaj ve ince agrega arttırılabilir, puzzolanlar da yarar sağlayabilir, böylece kohezyon artar. Hava sürükleyici katkının kullanılması terlemeyi azaltır, dolayısıyla oturma çatlağı önlenir.

Beton döküm ve bakımında alınacak önlemler, gölgede 320C’yi aşan sıcaklıklarda betonun döküm ve bakımında aşağıdaki önlemleri almak gerekir, betonun döküleceğı zemin, donatı ve kalıpta göllenmeye meydan vermeyecek şekilde ıslatılır, ıslatma suyu buharlaşır buharlaşmaz döküm yapılır. Böylece sıcak bir havada hem donatıların hem de kalıbın sıcaklığı düşürülür, ayrıca zemin ve asfalten gibi su emici yüzeylerin de beton suyunu emmesi önlenir. Aşırı sıcak havalarda beton dökümünün geceleri yapılması, taze beton sıcaklığının düşürülmesi, malzemelerin (su, agrega) soğutulması, hidrasyon ısı düşük çimento kullanılması ve geciktirici katkı kullanılması tercih edilebilir [22].

Taze beton çatlaklarına karşı alınacak en önemli önlemlerden biri, betonun dökümü sırasında iyi işlenmesi ve daha sonra gerekli bakımın yapılmasıdır. Beton aşırı akışkan olmamalı ve vibrasyonu gerektirecek bir kıvamda olmalıdır. Beton kalıbına vibratörle yerleştirildikten sonra hemen ilk mastarlama yapılır. Daha sonra bir insan beton üzerine çıktığında yaklaşık 2 mm derinlikte iz oluşunca ikinci mastarlama işlemi yapılır. Mastarlama işleminin yavaş ve düzgün yapılmasına özen gösterilmelidir.

Rüzgara karşı korumak için rüzgar kırıcı engeller oluşturulur. Beton yüzeyini doğrudan güneş ışınlarından korumak için beyaz renkli yansıtıcı plastik örtüler ile kaplamak gerekir.

Beton yüzeyine “curing compound” adı verilen maddeler de sürülebilir. Bu işlem yüzeydeki parlaklık sona erinceye kadar beklendikten sonra yapılmalıdır.

Diğer bir yöntem ise, spreyle su püskürterek veya suya doymuş talaş, ıslak kum gibi maddeler ile kaplayarak yüzeyin nemli tutulmasını sağlamaktır.

Taze betonun kür süresi de değişik etkenlere bağlıdır. Ancak normal betonarme yapılarında bu süre yaz aylarında en az bir hafta olmalıdır. Bu süre içinde ise günde en az üç kez sulama yapılmalıdır. Sulama için kullanılacak su, şehir suyu değilse içinde betonarme elemanları için zararlı olacak sülfat, asit, tuz gibi kimyasal maddeler bulunmamalıdır.

Kısıtlanmış rötreyi azaltmak için gerekli önlemler, kısıtlanmış rötre çatlakları aşığıdaki önlemler alınarak azaltılabilir; betonda su/çimento oranı düşük tutulmalı, kalıp alma süresi uzatılmalı, doğru ve standard kür uygulaması yapılmalı, üretim sırasında sadece perde gibi betonarme elemanları için beton içine kısa kesilmiş polietilen lif veya çelik tel katılmalı, perdelerdeki düşey ve özellikle yatay donatıların yeterli olup olmadığı kontrol edilmelidir.

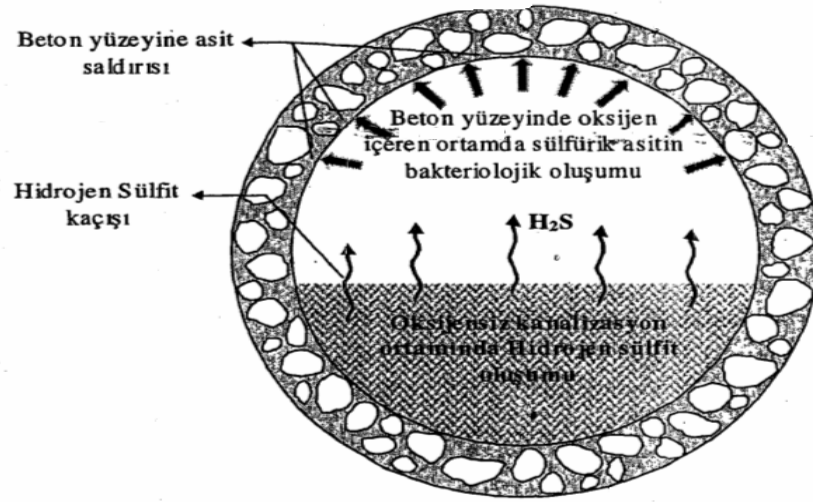
Öneriler, plastik rötre, oturma çatlakları ve kısıtlanmış rötre çatlaklarının onarımı betonun dürabilitesi açısından yararlıdır. Bu çatlaklar, genişliklerine bağlı olarak uygulamada mevcut onarım harçları veya su kıvamındaki epoksi kullanılarak ve elle uygulama yapılarak doldurulup betonun uzun süreli performansı artırılabilir. Böylece olası donatı korozyonu önlenmiş olur.

3.4.4. Durabiliteye etki eden biyolojik faktörler ve çiçeklenme

3.4.4.1. Biyolojik oluşumlar

Beton yapılar, üzerlerindeki veya yakınlarındaki biyolojik oluşumlardan etkilenebilirler. Bitki ve ağaç kökleri çatlaklı veya boşluklu bölgelerden betonun içine sızarak, büyüyüp genişlerler. Oluşan genleşme etkisi sonucu betonarme elemanların çatlayıp, hasar görmeleri mümkündür. Suyu doğru ilerleyen köklerin, özellikle beton kümelerin içine sızıp boruları tıkadığı da görülmüştür. Bu tip bir olaya Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi binalarında rastlanmıştır. Binaların çevresinde dikili olan okaliptüs ağaçlarının kökleri beton büzlerin içine girip, boruları tıkamıştır. Sızan sular ise münferit temellerin altına ilerleyip, yapıda önemli çatlaklara yol açmıştır. Beton boşluklarında büyüeyebilen köklerin beton elemanları çatlatılabildiği de bilinen bir olgudur. Bu tip biyolojik oluşumları nedeniyle su içeriğinin artmasıyla, betonun donma-çözülme ve diğer yıpratıcı etkilere % karşı dayanıklılığı da azalmaktadır, Mikroskobik oluşumlar ise hümik asit oluşturarak

çimento harcının erimesine neden olabilirler. Uygulamada en çok rastlanan sorunlardan biri, kanalizasyon sistemlerinde görülen ve asit etkisine yol açan biyolojik oluşumlardır. Genelde evsel atıklar alkalın karakterde olup betona zarar vermezler. Ancak bu tip atıklar kükürlü bileşenler içerirler. Anaerobik (oksijensiz) ortamda, kanalizasyon atıklarındaki sülfat ve bazı proteinlerden beton için fazla zararlı olmayan hidrojen sülfid (H_2S) gelişir. Anaerobik bakteriler havaya gereksinme duymayan, sülfatların oksijenini alarak yaşayan canlılardır. H_2S fermantasyonun göstergesi olup çürük yumurta kokusu yayar. Yüksek sıcaklıklar reaksiyonun hızını artırır. Ortamın kimyasal dengesi, hareketi, türbülansı gibi etkenlerle H_2S kanalizasyon suyundan ayrılır ve kanalizasyon cidarlarındaki nem içinde erir. Ardından aerobik bakteriler tarafından okside edilerek, sonuçta sülfürik aside ve/veya çimentonun kireci ile birleşip alçıtaşına dönüşür. Bu yüzden asit etkisi atık su seviyesinin üstünde görülür (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Kanalizasyon borularında asit etkisi

Deniz yapılarında ise, yosun türü bazı deniz canlılarının beton yüzeyinde büyümeleri, bazı fiziksel ve kimyasal etkilere yol açabilir. Örneğin, beton elemanlar üzerinde büyüyen deniz canlıları oksijen tüketirler. Böylece beton içine difuze olacak oksijen miktarı azalır ve donatının korozyonu engellenir. Ayrıca, Şekil 6.2'de görüldüğü gibi, açıkta kalan yüzeylerde oluşan bozulma, devamlı su altında kalan, yosun tutmuş beton elemanlarda görülmemektedir. Ancak bazı deniz canlıları ve

biyolojik oluşumlar ise asit içeren salgılan nedeniyle betonda hasar oluşturabilirler [22].

3.4.4.2. Betondaki kalsiyum hidroksitin çözünmesi ve beton yüzeyinde "çiçeklenme" oluşması

Bilindiği gibi, çimentoadaki kalsiyum silikatlı ana bileşenlerin su ile reaksiyonları sonucunda, çimento hamuruna bağlayıcılık sağlayan kalsiyum-silika-hidrat jellerinin yanısıra kalsiyum hidroksit kristalleri (Ca(OH)_2) oluşmaktadır. Kalsiyum hidroksit, sertleşmiş çimento hamurunun yapısında yer alan bir üründür. Kalsiyum hidroksit, suya karşı dayanıklı değildir. Dışarıdan herhangi bir yolla betonun içerisine sızmış olan sular, kalsiyum hidroksitin çözünmesine yol açmaktadır. Betonun içerisine yağmur suyu, kar suyu, yüzey suları, yeraltı suları, ve endüstri atıklarının suları gibi değişik kaynaklı sular sızabilmektedir; Yağmur suyu, kar suyu ve yüzey suları, beton yüzeyinde gözeneklerden, betonda bulunan boşluklardan ve derz aralıklarından içeriye sızmaktadır. Yeraltı suları, daha ziyade beton temellerde, betonun toprakla temas eden yüzeyinden içeri girmekte ve betonun içerisinde yükselme göstermektedir.

Betonun içerisinde az miktarda bazı tuzlar da yer alabilmektedir. Bu tuzlar, betonun içerisine sızan sularla girip yerleşmiş olan, ve/veya beton üretiminde kullanılmış olan agrega tarafından daha önce emilmiş ve agreganın boşluklarında çökelmiş olan tuzlardır. Sertleşmiş betonun içerisine su sızması ile, betonun içerisinde mevcut olan tuzlar da eriyik duruma dönüşmektedir. Betonun içerisine sızan suların etkisiyle çözünen kalsiyum hidroksiti ve tuzları içeren su, kapiler boşluklarda yer alan fiziksel olayla (kapiler hareketle) betonun yüzeyine doğru hareket etmektedirler. Beton yüzeyine çıkan suyun buharlaşması sonucunda da, suyun içerisinde bulunan kalsiyum hidroksit ve tuzlar, beton yüzeyinde ince bir çökelti tabakası oluşturmaktadırlar. Kalsiyum hidroksit, havadaki karbon dioksitle temas ederek, CaCO_3 (kalsiyum karbonat) dönüşmektedir. Kalsiyum hidroksitin ve tuzların eriyik durumda beton yüzeyine çıkararak oluşturdukları çökelti tabakasının kalınlığı genellikle 3 - 4 mm ile 10- 15 mm arasında değişebilmektedir. Çökeltinin büyük bir CaCO_3 kısmı tarafından oluşmaktadır. O nedenle, birikinti tabakası, beyaz renkte bir görünümündedir. Ancak, CaCO_3 'ün yanısıra, çok az miktarda sodyum sülfat, sodyum

karbonat, sodyum bikarbonat, sodyum silikat, potasyum sülfat, kalsiyum sülfat ve magnezyum sülfat gibi bileşenler de bulunabilmektedir. Bu tuzlar da beyaz veya beyaza yakın (açık gri) renkte bir görünüm oluşturmaktadır. Betonun içerisindeki kalsiyum hidroksitin ve tuzların çözünmesi ve betonun yüzeyine çıkması sonucunda, beton yüzeyinde kristaller halinde ince bir beyaz tabaka oluşturması olayına, "çiçeklenme" denilmektedir. Bazen, içerisinde çözünmüş kalsiyum hidroksit ve çeşitli tuzlar bulunan su, betonun yüzeyine tamamen çıkamadan (beton yüzeyine yakın bir bölgede) buharlaşmaktadır. Bu durumda, yüzeye yakın bir bölgeye yerleşen tuzlar, gereken nemlilik ortamını daha sonraları buldukları takdirde, yüzeye çıkarak çiçeklenme yaratmaktadır. Nemli ortamın çiçeklenme olayına büyük etkisi olmaktadır. Çiçeklenme, yağışlı kış sezonunda daha çok olmakta, ilkbaharda azalmakta, ve yazın hemen hemen hiç yer almamaktadır. Ancak, kuru ve sıcak mevsimi takibeden bir başka soğuk ve yağışlı ortamda çiçeklenme tekrar yer almaktadır. Betonun yerleştirilmesini takibeden ilk aylarda büyük hızla yer alan çiçeklenme olayı, zamanla azalmakta, ve genellikle üç-dört yıl sonra, hemen hemen sona ermektedir.

Değişik Kaynaklı Suların Betondaki Kalsiyum Hidroksitin ve Tuzların Çözünmesindeki etkileri betonun içerisine giren sular, değişik kaynaklardan geldikleri için, değişik miktarlarda yabancı madde içermektedirler. O nedenle, değişik türdeki suların, betondaki sertleşmiş çimento hamurunun yapısındaki kalsiyum hidroksitin ve tuzların erimesine farklı etkileri olmaktadır. Betonun yapısında yer alan kalsiyum hidroksitin ne kadar kolaylıkla çözünme gösterebileceği aşağıdaki faktörler tarafından etkilenmektedir.

Betona sızan suyun sertliği ,yağmur sularının ve kar suyunun sertlik derecesi çok düşüktür; yani, bu sulardaki kalsiyum ve magnezyum iyonları yok denecek kadar azdır. O nedenle, yağmur ve kar suları, kalsiyum hidroksite hemen hücum ederek, çözünmesinde çok etkili olmaktadır.

Betona sızan suyun sıcaklığı, betonun içerisine sızan suyun sıcaklığı ne kadar düşük olursa, kalsiyum hidroksitin çözünmesi o kadar hızlı olmaktadır. O bakımdan, kar

sularının betondaki kalsiyum hidroksitin çözünmesindeki etkisi, yağmur sularınınkinden daha fazladır.

Betona sızan suyun içerisinde asit, sülfat, klorür, sodyum ve potasyum gibi maddelerin bulunup bulunmadığı, Beton yüzeyindeki su, havadan bir miktar karbon dioksit alarak çok düşük konsantrasyonlu karbonik asit durumuna gelebilmektedir. Asitli sular, kalsiyum hidroksitin çözünmesini kolaylaştırmaktadır. Yeraltı sularında ve deniz suyunda, sülfat klorür, sodyum ve potasyum gibi değişik iyonlar bulunabilmektedir. Bu tür iyonları içeren sular betonun içerisindeki kalsiyum hidroksitin daha kolay çözünmesine yol açmaktadır. "Çiçeklenme"nin Beton Kalitesine Olumsuz Etkileri, Çiçeklenme olayı sonucunda beton yüzeyinde CaCO_3 ve tuz birikintisinin beyaz bir leke gibi yer almış olması, betonun görünümünü bozmaktadır. Şayet, betonun içerisindeki kalsiyum hidroksitin ve tuzların erimesi çok az miktarda yer almış ise, bu durumda, betonun dayanımı çok fazla etkilenmemektedir. Boşluklu betonlara zararlı suların girip betonu yıpratması daha kolay olmaktadır. Dışarıyla ve/veya toprakla temasta olan beton duvarların yüzeyleri, beton bloklardan yapılmış duvarların yüzeyleri, beton kanalların iç yüzeyleri, ve beton borular, çiçeklenme olayının kolayca yer alabildiği yerlerdir.

Tablo 3.7 Çiçeklenmeye yol açan tuzlar ve kaynakları [22]

Ana Çiçeklenme Tuzu	Olası kaynağı
Kalsiyum Sülfat $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Tuğla
Sodyum Sülfat $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Çimento-tuğla reaksiyonu harcı
Potasyum Sülfat K_2SO_4	Çimento-tuğla reaksiyonu harcı
Kalsiyum Karbonat CaCO_3	Çimento harcı veya beton
Sodyum Karbonat Na_2CO_3	Çimento harcı
Potasyum Karbonat K_2CO_3	Çimento harcı
Potasyum Klorür KCl	Asitle yıkamada
Sodyum Klorür NaCl	Deniz suyu
Vanadyum Sülfat VaSO_4	Tuğla
Vanadyum Klorür VaCl_2	Asitle yıkama
Mangan Oksit Mn_3O_4	Tuğla
Demir Oksit Fe_2O_3 veya $\text{Fe}(\text{OH})_3$	Demir ile temasta
Kalsiyum Hidroksit $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Çimento

"Çiçeklenme"yi Azaltabilecek Önlemler, Beton yüzeyinde oluşan çiçeklenme miktarı iki ana faktörle ilgilidir: (a) Betonun içerisine sızan su miktarı, ve (b) Betonun içerisinde yer alan kalsiyum hidroksit ve tuz miktarı. Betonun içerisine sızan su miktarının az olmasını sağlayabilmek için:

(1) Beton, mümkün olabildiği kadar boşluksuz olmalıdır. Agrega gradasyonu uygun olmalıdır. Su/çimento oranı mümkün olabildiği kadar düşük olmalıdır. Beton karışımında yer alan malzemeler ve oranları, taze betonun az terleme yapmasını sağlayacak tarzda olmalıdır.

Betonun karılması, taşınması, yerleştirilmesi, ve sıkıştırılması uygun tarzda ve segregasyon oluşturmayacak şekilde yerine getirilmelidir. Beton, uygun tarzda ve yeterli süreyle kür edilmiş olmalıdır.

(2) Betonun üretimi esnasında, betonun içerisine su sızmasını önleyecek ve betonun geçirgenliği azaltacak katkı maddeleri kullanılmalıdır.

(3) Yapıların tasarımında, betonun içerisine su sızmasını önleyecek önlemler gözönünde tutulmuş olmalıdır.

Derzler uygun tarzda yerleştirilmeli, ve derz aralıklarından su girmemesi için önlem alınmalıdır. Yapıların üst yüzeyleri, su birikmesine yol açmayacak düzgünlüğe ve eğime sahip olmalıdır. Betondaki kalsiyum hidroksit ve tuz miktarının nispeten az olabilmemesini sağlayabilmek için:

- (1) Uygun özellikteki çimento kullanılmalıdır.
- (2) İnce taneli puzolanik katkı maddeleri kullanılmalıdır.
- (3) Agregaya yıkanmış olmalı, içerisinde tuz ve yabancı maddeler bulunmamalıdır.

Yukarıda belirtilen faktörlerin bazılarının betondaki çiçeklenmeye etkileri aşağıda daha ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Su/Çimento Oranının Etkisi ; Daha önceki bölümlerde de açıklandığı gibi, su/çimento oranının düşük olması, çimento hamurunun içerisinde yer alan kapiler boşluk oranının daha az olmasına yol açmaktadır. Daha az kapiler boşluk içeren sertleşmiş çimento hamurunun (ve betonun) içerisine dışarıdan su sızması daha zor olmaktadır.

Betona Uygulanan İşlemlerin Etkileri ; Betonun karılması taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması, ve yüzey düzeltilmesi işlemleri tam olarak yapılmalı, betonda segregasyon oluşmamasına veya boşlukların bulunmamasına dikkat edilmelidir. Sıkıştırılarak yüzeyi düzeltilen beton, derhal ve uygun tarzda kür edilmelidir. Bütün bu işlemler, betonun daha yoğun ve boşluksuz olmasına yol açacağı için, böyle bir betona dışarıdaki suyun sızması ve çiçeklenmeye yol açması daha zor olmaktadır.

Yapıların Tasarımında Betona Su Sızmasını Önleyecek Önlemlerin Alınmış Olmasının Etkileri ; Beton yapıların üst yüzeyleri, su birikintisi oluşmasına engel olacak eğime sahip olmalıdır. Yapılarda yeterli miktarda derz kullanılması, çatlakların gelişigüzel oluşmasını önleyebilmektedir. Derz aralıkları mutlaka su geçirmez biri madde ile kapatılmış olmalıdır. Toprakla temas edecek beton yüzeylerinde, yeraltı sularından korunabilecek tarzda izolasyon bulundurulmalıdır.

Çimento Tipinin ve Mineral Katkıların Etkileri ; Beton üretiminde kullanılacak çimentolarda C_2S anabileşenlerin, C_3S anabileşenlerinden daha fazla olması, hidrasyon sonucunda daha az miktarda kalsiyum hidroksit oluşmasına yol açmaktadır. (C_3S anabileşenlerin hidrasyonu ile ortaya çıkan kalsiyum hidroksit miktarı, C_2S anabileşeninkinden yaklaşık -iki kat daha çoktur.) O nedenle, çiçeklenme olayına maruz kalabilecek betonlar için, ASTM Tip IV gibi veya ASTM Tip II gibi çimentolarının kullanılması daha uygun olmaktadır. Bu tür çimentolardaki C_2S oranı nispeten daha yüksektir. Betonda kullanılan puzolanik özellikli ince taneli mineral katkı maddeleri veya bu tür katkı maddeleriyle üretilen traslı çimento, yüksek fırın cürüflü çimento gibi çimento türlerinin içerisindeki puzolanik maddeler, kimyasal reaksiyon gösterebilmek için, çimentodaki C_2S ve C_3S anabileşenlerinin hidrasyonu sonucunda ortaya çıkan kalsiyum hidroksiti kullanmaktadırlar. O nedenle, katkılı çimentoyla, traslı çimentoyla, yüksek fırın cürüflü çimentoyla yapılan betonlarda, veya ince taneli puzolanik katkı maddelerin kullanılmasıyla üretilen betonlarda, daha az miktarda kalsiyum hidroksit bulunmaktadır. Daha az miktarda kalsiyum hidroksit içeren çimentolarda erime göstererek çiçeklenmeye yol açan kalsiyum hidroksit miktarı da daha az olmaktadır.

Agrega Özelliklerinin Etkileri ; Agregalar uygun gradasyonda olmalıdırlar. Aksi takdirde, hem betondaki segregasyon olasılığı artmakta, hem de belirli bir beton kıvamı elde edebilmek için daha çok su ihtiyacı doğmaktadır. Beton üretiminde kullanılan su miktarının artması ise, betonun daha boşluklu olmasına yol açmaktadır.

Agregalar mutlaka yıkanmış ve temiz durumda olmalıdır. Deniz kumu veya denizden çıkartılmış çakıl kullanılmamalıdır. Bu tür agregaların üzerinde ve gözeneklerinde bazı tuzlar yer almaktadır. Denizden çıkartılmış olan agregalar, beton yapımından önce yıkanmaya tabi tutulsalar dahi, gözeneklerindeki kristal tuzlardan tamamen kurtulamamaktadırlar. Böyle bir agregayla yapılan betonun içerisine dışarıdan su sızması durumunda, veya nemli ortamda, agreganın gözeneklerindeki tuz eriyerek beton yüzeyine çıkabilmektedir.

Nem-Önleyici Katkı Maddelerinin Etkisi ; Sabun, mineral yağlar, petrol ürünleri gibi değişik maddelerden elde edilen nem-önleyici katkı maddelerinin su-itici özellikleri bulunmaktadır. Sabun esaslı katkı maddeleri, çimento miktarının %0.2' sini

geçmeyecek miktarda kullanılmaktadır. Petrol yağları içeren katkı maddeleri, çimento miktarının %5'i kadar kullanılmaktadır. Nem önleyici katkı maddeler ile yapılan betonların yüzeyinden içeriye su sızması daha olmaktadır.

"Çiçeklerime" Lekelerini Temizleme Yöntemleri; İlk zamanlarda yer almış olan çiçeklenme lekesi, sert bir fırça ve basınçlı su yardımıyla ortadan kaldırılabilmektedir. Ancak, beton yüzeyinde çok fazla miktarda kalsiyum karbonat veya kalsiyum sülfat birikintileri yer almış ise, bunların tamamının fırçalama ve su yardımıyla ortadan kaldırılabilmesi çok güç olmaktadır. Fazla miktarda çiçeklenme göstermiş olan beton yüzeyinin temizlenebilmesi için beton yüzeyi, önce, hidroklorik asit içeren bir su ile silinmekte, bu işlemi takiben, beton yüzeyi alkalın karakterde bir su ile yıkanmakta, ve en sonunda da, normal su ile yıkanmaya tabi tutulmaktadır. Temizleme işleminde kullanılacak asitli suyun kompozisyonununun 100 kısım su için 5 kısım hidroklorik asit karışımından, veya 100 kısım suyla 20 kısım sirke karışımından oluşması önerilmektedir. Asitli su, sünger yardımıyla uygulanmaktadır. Asitli su uygulanmasının hemen sonunda uygulanacak alkalın karakterli su için, suya bir miktar amonyum katmak yeterli olmaktadır. Asitli ve alkalınli suların uygulanmaları sonunda, beton yüzeyi, normal su ile mutlaka iyice yıkanmış duruma getirilmektedir [22]

3.4.4.3. Durabiliteyi etkileyen maddelerin doğada bulunuşları

Betona zararlı maddeler doğada, su içinde çözünmüş olarak bulunabildikleri gibi zeminlerin içinde de yer almış olabilirler. Ayrıca, çeşitli kaynaklardan oluşan gaz halindeki maddeler, atmosfer içinde bulunarak, yapıların beton bölümleri üzerinde zararlı etki yapabilir.

Deniz suyu; deniz suyunda bulunan zararlı etkili olan maddelerin başında magnezyum tuzları ve sülfatlar gelir. Çeşitli deniz ve göl sularında bulunabilecek zararlı etkili maddelerin miktarlarının değişik olacağı doğaldır.

Dağ ve kaynak suları; dağ ve kaynak suları genellikle kimyasal maddeleri çok az içerirler. Bununla birlikte bazı hallerde kireç çözücü karbonik asit içerebilirler.

Bataklık suları; bataklık sularında zararlı etkili madde olarak özellikle karbonik asit ve organik asitler ile sülfatlar ve sülfürler söz konusu olabilir.

Yeraltı suyu; yeraltı sularında, genellikle magnezyum tuzları ve sülfatlar ile karbonik asit bulunur. Amonyum tuzları, kükürtlü hidrojen (H₂S) ve zararlı etkili organik maddelerin yüksek oranda bulunması, ancak kanalizasyon sularının karışıp kirlettiği yeraltı suları için söz konusudur.

Nehir suları; nehir suları çok saf olabilecekleri gibi, zararlı etkili maddeler de içerebilirler. Ancak bu maddelerin oranı önemli ve zarar oluşturabilecek düzeyde değildir.

Kanalizasyon suları ve endüstri atığı sular; kanalizasyon suları zararlı etkili madde olarak mineral asitleri, organik ve anorganik asitleri ve bu asitlerin tuzlarını içerebilir. Endüstri atıklarının karıştığı kanalizasyon sularında bu maddeler büyük oranda bulunabilir. Konutlar ve benzeri yapılardan gelen pis sularda etkili maddelerin oranı genel olarak zararlı düzeyde değildir. Kimya endüstrisi tesislerinin atıklarının karıştığı kanalizasyon sularında, zararlı etkili maddeler çok büyük miktarlarda bulunabilir. Galvanizleme vb. endüstri dallarındaki tesislerin atıklarında, mineral asitler yanında çeşitli anorganik bileşikler ve sülfatlar bulunabilir. Kok kömürü üreten tesislerin atıklarında amonyum tuzları, sülfat ve fenoller bulunur. Şeker, kağıt boya, sirke ve konserve fabrikaları ile deri, bira ve süt mamulleri üreten tesisler, yem endüstrisi vb. endüstri dallarında oluşan atıklar ise genel olarak formik asit (karınca asidi), asetik asit (sirke asidi), laktik asit (süt asiti) gibi organik asitler içerir.

Sülfatlı zeminler; genel olarak trias, jura ve tersiyer oluşumlarında, jipsli, anhidritli katmanlara rastlanır. Magnezyum sülfat ve sodyum sülfat gibi kolay çözünebilir sülfatlar tuz yatakları civarında bulunabilir.

Bataklık çamuru; bataklık çamurları ve killi zeminler, pirit ve markazit gibi demir sülfürlerini de içerebilir.

Endüstri atığı dolgu zeminler; endüstri atığı dolgu zeminler, özellikle çöp ve maden cüruflarından oluşmaları halinde zararlı etkili maddeleri İçerebilir. Ayrıca bu gibi zeminlerden sızarak gelen sular betona zararlı olabilir.

Gazlar; yanma ile oluşan veya endüstri artığı şeklinde ortaya çıkan gazlarda, serbest mineral asitler ve organik asitlerle kükürt dioksit (SO_2), kükürtlü hidrojen (H_2S) bulunabilir. Bunlar, yağmur ve kar yağışları ile çözelti şekline gelerek veya nemli durumdaki betonla temas haline geldiklerinde betonu etkiler. Ayrıca bu gazların donma noktasının altındaki sıcaklıklarda da çözelti şekline gelerek betonu etkileyebileceği unutulmamalıdır. Endüstri atığı gazlarda bulunan sülfat vb. katı maddeler yoğunlaşan sıvı (kondensat) içinde çözülmüş olabilirler. Yanma ile oluşan gazlarda yer alan zengin karbondioksit (CO_2) kuru halde iken betonu etkilemez. Ayrıca beton yüzeyinde karbonatlaşmanın artması sonucunda beton geçirimsizliği artar ve bu husus donatının korozyondan korunmasına da yardımcı olur [22].

BÖLÜM 4. MAGNEZYUM SÜLFAT VE BİLEŞENLERİ

4.1. Magnezyumun tarihçesi

Magnezyum minerali bulunmadan Önce 1795 yılında J.E. Delanetherie magnezyum karbonat, Sülfat, Nitrat ve Klorit gibi tuzlarına "Magnezit" adını vermiştir. A.Brongmart ise aynı terimi magnezyum karbonat ve silikatlar için kullanmış, 1803 yılında "C.F.Ludwing Moravia"da tabii magnezyum ve 1808 yılında "D.L.G. Karsten" magnezyum karbonata "magnezit" adını vermiştir.

Magnezitin, metalurjik işlemlerde refrakter olarak kullanımına ait ilk bilgiler 1866-1868 yıllarına aittir. 1890 yılında magnezit, Avrupa'da Bessemer ve açık fırınlarda astar olarak kullanılmaya başlanmış, 1913 yılında Pensilvanya'da (ABD) dolomitten magnezya (MgO) üretimi yapılmış, 1885 yılında Fransa'da deniz suyundan magnezyum hidroksit çökeltilerek sentetik magnezit elde edilmiştir.

M.T.A. Enstitüsü raporlarına göre, Türkiye'de magnezit aramaları ilk olarak 1808 yılında "Fransa Elektore Coulant" firması tarafından Sakarya'da yapılmıştır. İlk magnezit üretimi ise 1929 yılında başlamış, 1962 yılına kadar artarak devam etmiş, 1962 yılından itibaren süratle artmıştır. Kalsine magnezit üretimi 1940 yılında başlamış, 1964 yılına kadar önemli bir artış göstermemiş, bu tarihten itibaren üretimin arttığı gözlenmiştir.

1960'lı yıllarda Eskişehir merkez ilçe Sepetçi köyü ve Margı (Kozlubel) köyünde Fransız ve Avusturyalılar tarafından Kalsine magnezit üretmek amacıyla bir tesis kurulmuş ancak bu tesisler şimdi çalışmamaktadır.

Magnezyum kullanıma alanları olarak birkaç farklı sektöre hizmet etmektedir. Magnezyum elementi oluşumundan olan magnezyum karbonat izolasyon, lastik, mükrek, cam, seramik, boya, eczacılık ve kozmetik sanayinde, magnezyum

hidroksit eczacılık ve şeker rafinasyonunda, magnezyum klorür Magnezyum metal üretimi, tekstil, kağıt, seramik ve çimento yapımında, bizim de inceleme ve deney aşamasındaki kullanılan kimyasal maddemiz olan magnezyum sülfat ta eczacılık ve suni gübre sanayisinde kullanılmaktadır.

4.2. Magnezyumun kimyasal yapısı

Magnezyum; yer kabuğunda en yaygın olarak bulunan, periyodik tabloda II grubunda yer alan toprak alkali bir elementtir. Magnezyum elementinin yapısı ile ilgili ayrıntılı Tablo 4.1. de belirtilmiştir.

Tablo 4.1. Magnezyum elementinin yapısı

Simgesi	: Mg
Atom numarası	: 12
Atom ağırlığı	: 24.312
İyon değeri	: +2
Kaynama noktası	: 1107 °C
Ergime noktası	: 650 °C
Yoğunluğu	: 1.74gr/cm ³
Elektron düzeni	: 3S2
Kristal yapısı	: hekzagonal
Kovalent yarıçapı	: 1.36 °A
Atom yarıçapı	: 1.60 °A (12 koordinasyon sayılı metalik durumda)
İyon yarıçapı	: 0.65 °A (6 koordinasyon sayılı kristaldeki)
Atom hacmi	: 14.0 (atom ağırlığı/yoğunluk)
Birinci iyonlaşma enerjisi:	176 kcal/mol
Özgül ısı	: 0.25 cal/g °C
Isı iletkenliği	: 0.38 cal/cm ² , s.cm.°C (oda sıcaklığında)
Elektrik iletkenliği	: 0.224 mikroohm -1 (0° ile 20 °C arasında)
Erime ısı	: 2.14 kcal/atomgram
Kaynama noktası	: 32.517 kcal/atomgram
Asid-Baz özelliği	: baz

Magnezyum; gümüş renkli, hafif ve parlak bir metaldir. Havada hemen mat renkli ince bir oksit tabakası ile kaplanır. Şayet 500°C'nin üstünde ısıtılırsa parlak bir alev ile yanarak MgO (MAGNEZYA)'ya dönüşür. Bu özelliğinden dolayı fotoğrafçılıkta kullanılır. Kolaylıkla şekil verilip ince plaka haline getirilebilir.

Magnezyum elementine, refrakter malzemelerin temel niteliğini kazandıran husus oksijene olan yüksek alakası (afinitesi) ve oksijen ile meydana getirmiş olduğu Magnezya (MgO)'nın 2800 °C sıcaklıklara kadar ergimeyip katılığını muhafaza edebilmesidir. Oksijen ile tabiattaki en yaygın oksijen bileşiği olan SiO₂ ile daha kolay bileşik meydana getirebilmektedir. Yüksek kimyasal reaksiyon kabiliyetinden

dolayı tabiattaki saf olarak magnezyum'a rastlanmamaktadır. Tabiattaki, bilinen magnezyum minerallerinin yaklaşık 2/3'ü silikatlardan oluşmaktadır.

Doğadaki Bulunuşu; magnezyum elementinin doğada asıl bulunuş şekli, suda çözünmeyen bir cisim olan, dolomit $\{(Mg,Ca)CO_3\}$ ve Magnezit $(MgCO_3)$ ile suda çözünen ve kaya tuzu maden ocaklarında, kaya tuzunun üzerindeki tabakaları oluşturan $MgCl_2$ ve $MgSO_4$ ve bunların potasyum bileşikleriyle yaptıkları çifte tuzlar olan Kainit $(KCl.MgSO_4.3H_2O)$, Şönit $\{K_2SO_4.MgSO_4.6H_2O\}$ ve Karnalit $(MgCl_2.KCl. H_2O)$ 'tir. Bundan başka magnezyum karışık silikatlar şeklinde Talk'ı ve Amyant'ı oluşturur. Deniz suyunda % 0.11 kadar Mg-3 iyonu vardır. Sofra tuzunun nemli yerlerde ıslanması bunun içinde nem kapısı madde olan $MgCl_2$ 'ün bulunuşundan ileri gelir.

Biyolojisi; magnezyum iyonları vücut sıvılarında bulunan iyonlardan biridir. İnsan kanındaki Mg+2 iyonu miktarı 100 ml'de 2.3 mg'dır. Magnezyum tuzlarından bazıları ve özellikle $MgSO_4$ müşhil olarak kullanılır (günlük dozu 5-20 g). Bazı önemli magnezyum mineralleri Tablo 4.2.'de görülmektedir.

Tablo 4.2. Bazı Önemli Magnezyum Mineralleri

Mineralin Adı	Bileşimleri
Karnalit	$KCl.MgCl_2.6H_2O$
Bisofit	$MgCl_2.6H_2O$
Periklaz (Magnezya)	MgO
Sellait	MgF_2
Spinel grubu	$MgO.Al_2O_3$
Brusit	$Mg(OH)_2$
Magnezit	$MgCO_3$
Dolomit	$MgCO_3.CaCO_3$
Ankerit	$(Mg,Fe)Ca(CO_3)_2$
Artinit	$Mg_2(CO_3)(OH)_2.3H_2O$
Hidromagnezit	$Mg_2(CO_3)(OH)_2.4H_2O$
Epsomit	$MgSO_4.6H_2O$
Asarit	$MgHBO_3$
Borasit	$5MgO.MgCl_2.7B_2O_3$
Ludvigit	$(Mg,Fe)_2Fe(BO_3)_2O_2$
Olivin	$(Mg,Fe)_2SiO_4$
Hümit	$Mg_7(SiO_4)_3(OH,F)_2$
Pirop	$Mg_2Al_2(SiO_4)_3$
Enstatit	$MgSiO_3$
Tremolit	$Ca_2Mg_5(SiO_{11})_2(OH)_2$
Aktinolit	Demirli tremolit
Sepiyolit	Lületaşı - $Mg_2Si_4O_{11}.H_2O.nH_2O$
Talk	$Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_8$
Serpantin	$Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$
Flogopit	Mg'lu mika
Biyotit	Mg'lu mika
Penin	Mg'lu klorit
Vermikülit	Mg kili
Kainit	$KClMgSO_4.11/4H_2O$
Polihalit	$K_2SO_4.Mg_5O_4.2CaSO_4.2H_2O$

Yukarıda sıralanmış olan magnezyumlu minerallerin hepsinden magnezyum elde etmek ekonomik olarak imkansızdır. Daha sonraki bölümlerde, hammadde olarak üretim yapılabilen magnezyumla mineraller sırası ile anlatılacaktır.

Magnezyum elementinin kayalar içerisindeki dağılımı incelendiğinde, büyük farklılıklar göze çarpmaktadır. Mağmatik kayalar içerisinde ortalama Mg oranı en fazla olan kayaç grubu, % 34'lük bir değerle peridotitlerdir. Kayaların SiO_2 oranı arttıkça, yarı asitleştikçe Mg oranı hızla azalmaktadır. Ayrıca, püskürük kayalarda, derinlik eşdeğerine nazaran daha az Mg bulunur. Örneğin derinlik kayacı Diorit'te ortalama % 6.42 Mg oranı mevcut iken, onun püskürük eşdeğeri olan Andezit'ler de bu oran % 5.49'dur. Ancak derinlik ve püskürük kayalardaki Mg farkı, kayaların asitleşmesi ile gittikçe azalmaktadır. Örneğin Diorit ile Antresit arasındaki fark % 0.93 iken asidik Granit ile Riyolit arasındaki fark sadece % 0.25'dir. Gerek Ultrabazik kayalardaki yüksek Mg oranı ve gerekse derinlik kayalarında püskürük kayalara nazaran daha fazla Mg rastlanmasının tek nedeni Mg elementinin oksijene karşı çok yüksek afiniteye sahip olması (Litofil olması) ve bu özelliği sonucu meydana gelen MgO'nun yüksek ergime sıcaklığına sahip olmasıdır. Böylece MgO ve onun meydana getirmiş olduğu bileşikle (önce silikatlar) mağmatik differansiyasyonun (meydana geliş hareketinin) daha ilk safhalarda kristalleşerek konsantre olmasıdır.

Aynı şey oluşum sıcaklığı yüksek olan ultrabazik magmalar içinde geçerlidir. Oluşum sıcaklığı düşük olan asidik magmada Mg çok az bulunduğu için (eriyik içerisinde, asidik magmanın meydana getirmiş olduğu kayalarda da çok az miktarda Mg oranları bulunmaktadır.)

Metamorfik kayalardaki ortalama Mg oranları da oldukça değişik olup, genel olarak metamorfizmasının şiddeti arttıkça kayalardaki Mg oranı da artmaktadır (Ancak Gnaysların daha şiddetli metamorfizma sonucu oluştuğu bilinmektedir).

Tortuş kayalarda ise en yüksek Mg oranı karbonatlardadır. Dolomit bu grupta olup % 23'e kadar MgO içerebilmektedir. Genelde normal karbonatlar % 4.7 Mg içerirken deniz karbonatlarında bu oran % 4'e düşer ki bu da deniz diplerini oluşturan tortullar

içerisindeki Kalsit'in bol olması ve Mg'un kalsitin oluşumu sırasında Kalsit kristal kafesine güç girebilmesi ile açıklanabilir.

4.3. Magnezyum üretimi yapılabilen magnezyumlu mineraller

4.3.1. Magnezit

Magnezit; formülü $MgCO_3$ olup, teorik olarak bileşiminde % 52.3 CO_2 % 47.7 MgO ve çok az miktarda Fe_2O_3 bulunan, sertliği 3.4-4.5 arasında, özgül ağırlığı 2.9-3.1 olan mineraldir. Rengi beyaz, sarı veya gri ve kahverengi arasında değişir. Tabiatta Kriptokristalin (jel/amorf) ve Kristalen (iri kristalli) olmak üzere iki şekilde teşekkül eder. Sert ve kompleks bir mineral olup, serpantin veya benzeri kayaların alterasyon ürünüdür. Kolkoidal karakterde olup (kriptokristalen tipi) opal veya kalsedon ihtiva eder, Kriptokristalen, genellikle saf olarak bulunmakla beraber, bir miktar demir, kireç, alümin ve pek az serbest silis karışmış olabilir. Cevherin kalitesi de içerdiği bileşiklerin miktarlarına göre artar yada azalır.

Kalsit ve dolomit'te olduğu gibi, magnezit ısıtılınca CO_2 içeriğini kaybetmektedir (dekompoze olmaktadır). 700 ile 1000 °C arasında ısıtılarak kostik kalsine magnezit, 1450-1750 °C arasında yapılan ısı işlemleri ile % 0.5 CO_2 ihtiva eden oldukça yoğun ve sert sinter magnezit, % 0.1 'in altında Fe içeren saf magnezit elektrik fırınlarında 1700 °C'nin üstünde ısı işleme tabi tutularak çakmaktaşına benzer yoğun bir madde olan ergitilmiş magnezyum oksit (fused magnesit) elde edilir, Fused magnezitin özgül ağırlığı 3.65 olup çok yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedir.

Magnezyum, gerek metal olarak ve gerekse bileşik halinde bugünkü teknolojinin önemli bir hammaddesidir. En geniş magnezyum tüketimi, magnezyum bileşikleri şeklinde gerçekleşmektedir (MgO , $MgCl_2$, $Mg(OH)_2$, $MgSO_2$ vb.) Bütün bunların başında toplam dünya tüketiminin % 80' ini kapsayan ve MAGNEZYA adı verilen MgO bulunmaktadır, Zira MgO yüksek ergime noktası nedeni ile refrakter malzeme endüstrisinin en önemli girdisi durumundadır. İşte bu magnezya'nın ve hatta diğer magnezya bileşiklerinin en önemli kaynağı MAGNEZİT'tir. Magnezit bir magnezyum karbonat minerali olup tabiatta sık rastlanan bileşiklerden birisidir.

Magnezit'e tabiatta, kullanım alanlarının gereklerine uygun özelliklerde rastlamak oldukça zordur. Çünkü herhangi bir yabancı elementin magnezit içerisinde % 0,1 mertebesinden az veya çok bulunması, magnezitin bugünkü teknoloji ile ekonomik olarak değerlendirilip değerlendirilemeyeceğini belirleyebilmektedir. Ancak memleketimiz dünyanın en kaliteli magnezitlerini bünyesinde bulundurması yönünden oldukça şanslıdır.

4.3.2. Dolomit (Mg,Ca) CO₃

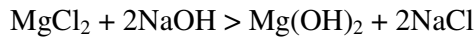
Bir kalsiyum-magnezyum karbonattır. Teorik olarak % 45.65 MgCO₃ içerir. Pratikte bu oran % 10 ile % 40 arasında değişmektedir. Dolomitken MgO elde etmek için önce Ca ayrılmakta (yani magnezit bileşenleri elde edilmekte) daha sonra ise MgO elde edilmektedir. Bu metot ilk olarak 1913'de ABD'de kullanılmıştır. Ancak bugün için dolomit Mg endüstrisinde daha çok deniz suyundan magnezya (MgO) eldesinde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır (Fransa, Belçika, Japonya, İngiltere ve ABD'de).

4.3.3. Olivin (Mg,Fe)₂ SiO₄

Bir magnezyum-demir silikat olan ve teorik olarak % 23.4 MgO içeren Magnezya (MgO) eldesinden ziyade Forsterit (2MgO.SiO₂) üretiminde kullanılır. Forsterit (Mg₂SiO₄) ve Fayalit (Fe₂SiO₄) katı eriyik karışımından ibarettir. Rengi yeşili olduğundan İngilizce zeytin (olive) adını almıştır. Mg/Fe oranı 16 arasındadır. Çoğu cevher % 43-49 MgO ve % 24-43 SiO₂ içerir Forsterit, alüminyum ve magnezyum döküm işlerinde, kalıp yapmada yararlanılan özel kumu ve gübre olarak kullanılmaktadır.

4.3.4. Brusit Mg(OH)₂

Magnezyum hidroksit, magnezyum tuzları ile NaOH çözeltilerinden meydana gelir.



20 °C'de suda % 35 çözünen magnezyum klorür ile (suda çok iyi çözünen) hidroksit çözeltisi'nin tepkimesi sonucunda magnezyum hidroksit elde edilir. Suda az miktarda

çözünen magnezyum hidroksit, fazla miktarda iyonlarına ayrıştığından kuvvetli asitleri nötrleştirmeye yeterlidir.

Fazla miktarda nem kapıcı özelliği olan magnezyum klorür su ile kaynadığı takdirde yavaş yavaş hidroliz olarak HCl gazı çıkar ve geriye $Mg(OH)_2$ kalır.

Bir magnezyum hidroksit olan brüst, teorik olarak % 69.1 MgO ve % 3 içermektedir. Ekonomik olarak nadiren işletilir. Bilinen en büyük brüst yatakları Aliminyum olup 1929-1960 yılları arasında ALCAN (Aliminyum Co. of Canada) tarafından işletilmiş olup 1968'de kapatılmıştır.

4.3.5. Evaporitik magnezyum mineralleri

Başta Karnalit, Kieserit, Kainit, Polihalit olmak üzere bünyesinde Mg bulunan bazı magnezyum klorür ve Sülfatlar evaporit yatakları içerisinde bulunurlar ve üretiminde yan ürün olarak "Solution Mining" yöntemi ile sondaj eriyiklerinden edilebilirler. Ancak bu yolla elde edilen evaporitik magnezyum mineralleri, daha metalik magnezyum eldesinde kullanılırlar.

Magnezyum ve magnezyum bileşikleri üretiminde hammadde olarak en magnezit cevheri üretilmekle birlikte, deniz suyundan magnezya ve sonrada magnezyum klorür eldesinde katkı maddesi olarak dolomit, forsterit malzeme üretiminde olivin ve metalik magnezya eldesi için de evaporitik magnezyum mineralleri üretilmektedir. Deniz ve göl sularından da çeşitli prosesler ile metalik magnezyum üretilmektedir.

4.3.6. Diğer magnezyum bileşikleri

Magnezyum sülfat ve Epsom tuzu, çeşitli kaynaklı magnezyanın (MgO), sülfürik asitle muamelesi ve suyu azaltılarak kişileştirilmesi veya $Mg(OH)_2$ çamuru içerisinde SO₂ gazının geçirilmesi ile elde edilir.

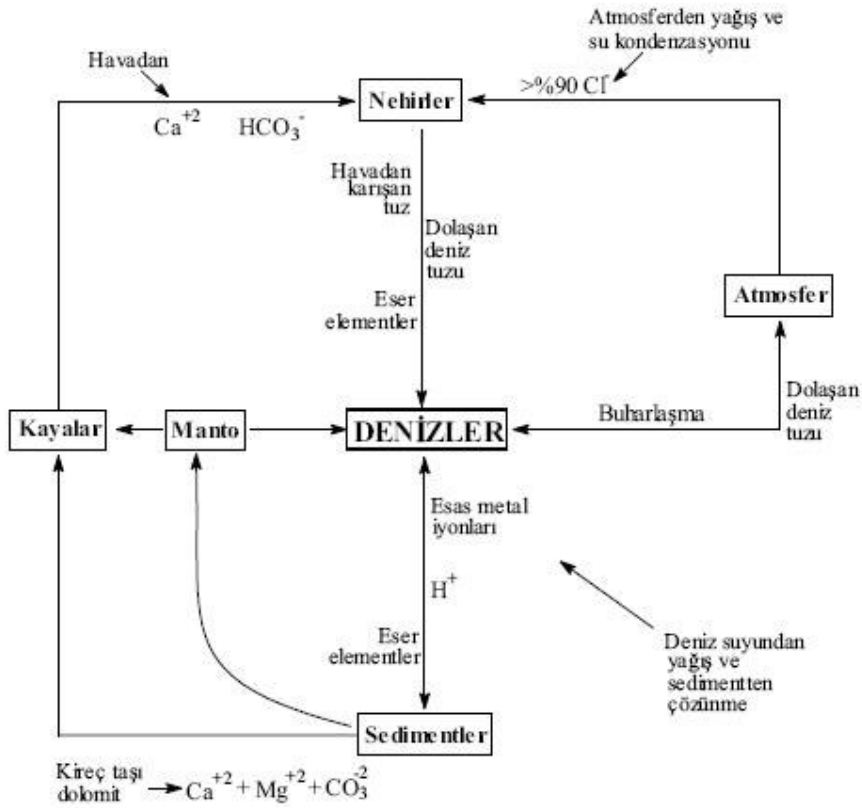
Bazı kullanım alanları için doğada bulunan magnezyum karbonatın çok saf olması istenir. Bu durumda, magnezyum karbonat, ham magnezitten ziyade, endüstriyel magnezyum sülfat çözeltisinin sodyum karbonat ile muamelesi ile elde edilir. Burada precipitated magnezyum karbonat adı verilir.

Endüstride kullanılan diğer magnezyum bileşikleri $MgCl_2$, $Mg(OH)_2$ ve MgO ise genel olarak magnezyum teknolojisinin ara ürünleridir. Bunun için özel bir teknoloji yoktur.

BÖLÜM 5. DENİZ SUYU

5.1. Deniz suyunun genel bileşimi

Yeryüzünde mevcut elementlerin büyük bir kısmının (90 elementten 80'ni) deniz suyuunda çözülmüş halde bulunduğu sanılmaktadır. Bu nedenle deniz suyu pek çok katı madde ve gazın çözülmüş halde bulunduğu bir çözeltiyi oluşturur. Bunlardan başka deniz suyuunda çözülmüş organik bileşiklerle asılı halde bulunan organik ve inorganik kökenli parçacıklar da vardır. Deniz suyuunda çözülmüş veya asılı halde bulunan bu maddeler atmosfer, okyanus ve karalar arasında oluşan alışverişten kaynaklanmaktadır



Şekil 5.1. Deniz suyuındaki elementlerin doğadaki dolaşimleri

Deniz suyuna çeşitli kaynaklardan gelen çözünmüş veya asılı halde bulunan bu maddeler başlıca dört grupta toplanabilirler. Bunlar; çözünmüş organik maddeler, çözünmüş inorganik maddeler, çözünmüş atmosferik gazlar ve asılı halde bulunan parçacıklardır. Deniz suyunun mevcut bileşimi bu ortamda oluşan kimyasal, biyolojik ve fiziksel olaylara bağlı olarak değişebilir. Çok geniş hacim ve alana sahip okyanus ve denizlerde devamlı olarak gelişen fiziksel, kimyasal ve biyolojik olaylar bu ortamın yapısı üzerinde de önemli etkilere sahiptirler. Bu olaylara örnek olarak; atmosfer ve okyanuslar arasındaki ilişkiler, çeşitli maddelerin çözünürlük derecesi, aneorobik bakterilerin indirgenmesi, okyanus suyu ve dibi arasındaki ilişkiler ve çökelim olayları, tuzların oluşum ve çözünürlükleri, çeşitli elementlerin konsantrasyonunu kontrol eden ve etkileyen olaylar, tatlı suların etkisi ve biyolojik olaylar gösterilebilir [28].

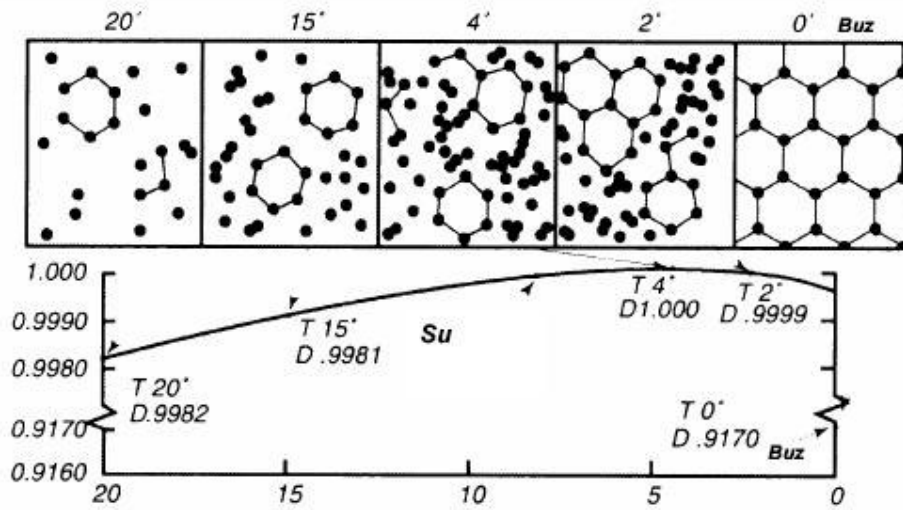
Deniz suyu bileşimi üzerinde bitkisel ve hayvansal organizmaların önemli etkilere sahip oldukları bilinmektedir. Bitkisel formlar, biyokimyasal dolaşımın bir bölümünü oluşturan fotosentez ve solunumları sırasında yüzey sularının oksijen ve karbondioksit içeriğini devamlı olarak değiştirirler. Fotosentez süresince karbondioksit tüketilip oksijen üretildiğinden yüzey sularının oksijence zenginleşmesi sağlanırken dip suları ise hayvanların solunumu ve oksidasyon olayları sonucu oksijen yönünden fakir kalır.

Biyokimyasal dolaşımda etkin olan diğer önemli elementlere örnek olarak karbon, azot, fosfor, silis vb. gösterilebilir. Bu elementler, denizel bitkilerin gelişim periyodunda organik maddeyi oluşturmak üzere sudan alınırlar; buna karşın artık ürün veya organik maddenin ayrışımı ile suya verilirler. Bununla beraber organik maddelerin deniz dibindeki birikimleri çok azdır; zira ya ayrışır veya su içindeki çökmesi sırasında dip hayvanları tarafından besin olarak kullanılırlar. Besleyici elementlerin vertikal ve horizontal yöndeki dağılışı incelendiğinde biyokimyasal olaylar nedeni ile geniş farklılıklar gösterdikleri görülür. Ayrıca bazı organizmaların bazı elementleri bünyelerinde biriktirebildikleri veya çeşitli atıklarıyla suya bıraktıkları da bilinmektedir. Dolayısıyla bu elementlerin deniz suyundaki konsantrasyonları ortamdaki organizmaların aktivitelerine bağlı olarak değişimler gösterebilmektedir [28].

Deniz sularının tuz içeriği o bölgedeki buharlaşma ve yağış miktarına bağlı olarak değişimler gösterir. Buharlaşmanın fazla olduğu subtropikal bölge yüzey sularının tuzluluğu oldukça yüksektir. Akıntı, dalga ve denizlerde oluşan diğer karışımlar, deniz suyunun içerdiği elementleri bir bölgeden diğer bölgeye taşırlar. Bu nedenle özellikle yüzey suları çeşitli fizikokimyasal özellikleri yönünden benzerlik gösterirler.

5.2. Deniz suyunun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Deniz suyu %96.5 saf su ve %3.5 tuzlar, çözülmüş gazlar, organik maddeler ve çözünmemiş partiküllerden meydana gelmiştir. Deniz suyunun fiziksel özelliklerini esas olarak %96.5 oranında bünyesinde bulunan saf su belirler. Bu nedenle deniz suyunun özelliklerini anlayabilmek için su kimyası hakkında bazı bilgilere sahip olmak gerekir. Bir su molekülü iki Hidrojen ve bir Oksijen atomunun aralarında kovalent bağ yapmalarıyla oluşmuş dipol bir moleküldür. Bitişik su molekülleri zayıf iyonik bağlarla (%6) birbirini etkiler. Su molekülü zincirleri sıcaklık azalmasıyla büyür ve molekül zincirlerindeki bu büyüme yüksek yüzey gerilimine neden olur. Su sıcaklık azaldıkça standart atmosfer basıncında 3.98°C ye kadar yoğunluk artışı eğilimi gösterir. Daha düşük sıcaklıklarda bu zincirler kırılır ve yoğunluk tekrar azalır [28].



Şekil 5.2. Su moleküllerin sıcaklığa bağlı geometrisi

Deniz suyu tuzlu sudur ve tuzluluk binde birim (ppt: parts per thousand) olarak ifade edilir. Tuzluluğu etkileyen bütün olaylar iyonları da aynı şekilde etkilediği için iyonların oranı çoğunlukla sabit kalır. Yalnızca biyolojik olaylarda rol oynayan Ca^{+2} gibi küçük iyonlar bu kuralın dışında kalırlar.

Tablo 5.1. Yapılan deneysel çalışmadaki deniz suyu içindeki iyonlar

Element	İyon	Bulunma %'si
Klorür	Cl^-	55.04
Sodyum	Na^+	30.61
Sülfat	SO_4^{--}	7.68
Magnezyum	Mg^{++}	3.69
Kalsiyum	Ca^{++}	1.16

Suyun sıkıştırılabilme özelliği çok düşüktür. (Okyanus dibinde yaklaşık %3) Sıkıştırılabilme özelliği düşük olduğu için yerinde yapılan sıcaklık ölçümü ile potansiyel sıcaklık ölçümü yalnız 2000m derinlikten sonra farklılık gösterir. Yine de yoğunluğun sıcaklık, tuzluluk ve basınca bağlı ilişkileri lineer değildir. Bütün sıcaklık değerlerinde tuzluluğun artması ile yoğunluk artar ancak bu artış çok düşük sıcaklıklarda biraz etkilenir. Tipik okyanus yoğunlukları 1 g/cm³ civarındadır. Yoğunluk değişimleri çok küçük değerler olduğu için genellikle yoğunluk yerine Sigma-t değeri kullanılır [28].

Deniz suyu çeşitli dalga boyundaki ışınları geçirir. Temiz bir deniz suyu mavi-yeşil dalga boyundaki ışınları 50 metre veya daha derinlere kadar geçirebilme yeteneğine sahip iken kırmızı ışığı birkaç metre derinlikten aşağıya geçirmez. Deniz suyundaki bulanıklık ışık geçirgenliğini azaltır. Deniz suyunun akustik özelliği askeri önemi nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Sesin havadaki hızı 345 m/sn iken deniz suyunda ortalama ses hızı 1400-1500 m/sn civarındadır. Balinalar birbirleriyle binlerce mil uzaklıklardan haberleşmede bu avantajı kullanırlar. Sesin hızı sıcaklık ve basınç artışıyla artar.

5.3. Deniz suyundaki tuzluluk

Yeryüzünde bulunan en önemli ve en büyük su kütleleri, dünyanın su varlığının %93.94'lük kısmını oluşturan denizler ve okyanuslardır. Deniz suyunu diğer sularından ayıran en önemli özellik, nehir ve yağış sularıyla karalardan taşınan çözülmüş maddelerden meydana gelen tuzluluktur. Tuzluluk (salinite), en basit şekilde 1 kg deniz suyunda çözülmüş olarak bulunan toplam madde miktarının gramı olarak tanımlanır. Deniz suyunun bir çok fiziksel özelliği tuzluluğa bağlı olarak değişimler göstermektedir. Örneğin, tuzluluk artışına paralel olarak deniz suyunun yoğunluğu, molekül viskozitesi, elektrik iletkenliği ve osmotik basıncı artarken; spesifik ısı, donma noktası ve ısı iletkenliği azalmaktadır. Tuzluluk derecesi, buharlaşma, deniz suyunun donması ve vertikal karışımlar ile artarken; yağışlar, buzların çözülmesi, daha az tuzlu derin su tabakalarıyla olan vertikal karışımlar ve özellikle kıyı bölgelerindeki sulara etkili olan nehir sularının karışımları ile azalarak çok değişiklik arz etmektedir. Marmara sularıyla beslenen Kuzey Ege'de tuzluluğun %37, Güney Ege'nin her noktasında %38.8, geniş havzalı ve yüksek debili nehirlerle beslenen Karadeniz'de ise %17 olduğu bilinmektedir. Karadeniz'de bu oranın düşük olmasına bölgenin ikliminin etkisi oldukça fazladır. Bu denizde buharlaşmadan dolayı su kaybı diğerlerine oranla daha düşüktür. Dünya denizlerinin okyanuslar dahil ortalama tuzluluğu ağırlıkça %34.7'dir. Yani 1000 gramında 34.7 g çözülmüş madde bulunmaktadır. Ancak deniz sularının (tipik deniz suyu) 1000 gramında 35g tuz bulunduğu (%35) farz edilmektedir. Tipik tuzlulukta deniz suyunun bileşimi Tablo 5.2.'de verilmektedir. Tablodaki bileşikler 1kg suda çözüldürülerek sentetik deniz suyu elde edilmektedir.

Tablo 5.2. Sentetik deniz suyu kompozisyonu

Element	Miktar (g)	Element	Miktar (g)
NaCl	23.45	NaHCO ₃	0.192
MgCl ₂	4.48	KBr	0.096
Na ₂ SO	3.92	H ₃ BO ₃	0.026
CaCl ₂	1.10	SrCl ₂	0.024
KCl	0.66	NaF	0.003

Denizlerde suyun çözünmüş tuzlara oranı değişiklik arz etmesine rağmen, major elementlerin deniz sularındaki oranları hemen hemen sabittir. Çözünmüş maddelerin %99.28'ini major elementler teşkil etmektedir. Deniz suyunda bulunan iyon halindeki çeşitli elementler ve miktarları Tablo 5.3.'de verilmektedir.

Tablo 5.3. Deniz suyunda bulunan çözünmüş maddeler

Major elementler (>100 ppm)	Minör elementler (1- 100 ppm)	İz elementler (<1 ppm)
Klor (Cl ⁻)	55.04	Bromin 65
Sodyum (Na ⁺)	30.61	Karbon 28
Sülfat (SO ₄ ⁻²)	7.68	Stronsiyum 8.0
Magnezyum (Mg ⁺²)	3.69	Bor 4.6
Kalsiyum (Ca ⁺²)	1.16	Silikon 3.0
Potasyum (K ⁺)	1.10	Florin 1.0
Toplam	99.28	Çinko Molibden

Tuzlu suların iyon konsantrasyonunun %55.04'ünü klor iyonu oluşturmasına karşın, tatlı suların karbonatlı olduğu, bu sularda fazla miktarda kalsiyum (%20.39) ve karbonat bulunduğu (%35.15) kaydedilmektedir (Tablo 5.4.).

Tablo 5.4. Tatlı ve tuzlu su bileşenlerinin karşılaştırılması

	Deniz suyu	Tatlı su (Nehir suyu)
CO ₃ ⁻² (HCO ₃ ⁻)	0.41	35.15
SO ₄ ⁻²	7.68	12.14
Cl ⁻	55.04	5.68
NO ₃ ⁻	-	0.90
Ca ⁺²	1.15	20.39
Mg ⁺²	3.69	3.41
Na ⁺	30.62	5.79
K ⁺	1.10	2.12
(Fe,Al) ₂ O ₃	-	2.75
SiO ₂	-	11.67
Sr ⁺² , H ₃ BO ₃ , Br ⁻	0.31	-

Tuzluluğun en basit şekilde 1 kg deniz suyunda çözünmüş olarak bulunan toplam madde miktarının gramı olarak tanımlandığı yukarıda belirtilmişti. Çözünmüş tuz

miktarı çok küçük olduğu için tuzluluk ölçümleri çok dikkatlice yapılmalıdır. Bunun önemini anlamak için şu örneği inceleyelim; okyanuslarda tuzluluk %34.60-34.80 arasında olduğunda bu ikisi arasındaki fark milyonda 200 gibi bir değerdir. Bu değer Kuzey Pasifik'te daha küçük olup milyonda 20 civarındadır. Eğer sular tuzlulukları farkı ile sınıflandırılmak istenirse tuzluluk belirlemede cihazların duyarlılığının yaklaşık olarak milyonda 1 düzeyinde olmasına ihtiyaç duyulur. Sıcaklık aralığının daha büyük olduğu (yaklaşık 1C) ve sıcaklık ölçümünün daha kolay olduğu düşünülürse konunun önemi daha iyi anlaşılacaktır. Başlangıçta tuzluluk 1 kg deniz suyunda çözülmüş olarak bulunan madde miktarının gramı olarak tanımlanmış ancak bütün çözülmüş materyal miktarını ölçmek pratikte mümkün olmadığı gerekçesiyle bunun çok kullanışlı bir tanım olmadığı kanaatine varılmıştır. Gazlar gibi uçucu materyallerin miktarının ölçülmesi, deniz suyunun buharlaştırılması veya kurutulması ile kurutma basamaklarında kaybolan klorür miktarının hesaplanmasındaki zorluklar gerekçelere örnek olarak gösterilmiştir [28].

Bu güçlüklerden kurtulmak için Uluslararası Deniz Araştırmaları Konseyince 1889'da kurulan bir komisyon tarafından tuzluluk; bütün karbonatlar yükseltgendişi, bromür ve iyodür'ün klorür'e dönüştürüldüğü ve bütün organik maddelerin tamamen yükseltgendiği 1 kg deniz suyunda çözülmüş olan toplam katı materyal miktarının gramı olarak tanımlanmıştır. Bu tanımın faydalı olmasına rağmen rutin olarak kullanılmasının zor olduğu görülmüştür. Yukarıdaki tanımlamanın pratikte uygulanmasının zorluğu, deniz suyundaki Cl miktarı ile tuzluluğun direkt orantılı olması ve Cl miktarının basit kimyasal analizlerle doğru ölçülebilmesinden dolayı tuzluluk (S) klor oranları kullanılarak yeniden tanımlanmıştır.

$$S = 0.03 + 1.805 Cl$$

Burada Cl; 0.3285234 kg deniz suyu örneğindeki halojenleri tamamen çöktürmek için gerekli olan Ag miktarı olarak belirlenmiştir. 1964' de UNESCO ve diğer uluslar arası kuruluşlar tarafından oşinografik tablolar ve standartlar konulu bir panel düzenlenmiştir. Bu panelin amacı daha doğru tanımların üretilmesi olmuş ve 1966'da bu panel sonucunda tuzluluk ve klor oranı arasındaki ilişki kullanılarak aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.

$$S = 1.80655 \times Cl$$

Aynı zamanlarda oşinograflar iletkenlik ölçüm cihazlarını tuzluluk ölçümü için kullanmaya başlamış, bu cihazlarla çok doğru ölçümler alınabildiği ve klor ölçümlerinde kullanılan kimyasal yöntemlerle karşılaştırılmasının oldukça kolay olduğu ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak komite tuzluluk ile iletkenlik arasındaki ilişkiyi kullanarak deniz suyundaki tuzluluğu;

$$S = -0.08996 + 28.29729R_{15} + 12.80832 R_{15}^2 - 10.67869R_{15}^3 + 5.98624 R_{15}^4 - 1.32311R_{15}^5$$

$$R_t : C_{(S,15,0)} / C_{(35,15,0)}$$

$C_{(S,15,0)}$ 15 °C de, atmosfer basıncında yukarıdaki bağıntıdan türetilen S tuzluluğa sahip deniz suyunun iletkenliği ve $C_{(35,15,0)}$ ise standart Copenhagen standart deniz suyunun iletkenliği ve R_T iletkenlik oranıdır.

1970'lerde gemilerde kullanılabilen ve derinlerdeki iletkenliği ölçebilen hassas iletkenlik ölçüm cihazları geliştirilmiştir.

Deniz suyundaki tuzluluk oranı son yıllarda ilkel yollardan ziyade daha kapsamlı ve daha geniş bir çözüm yolunu tercih etmektedir. Bundan sonraki debeysel çalışmada tuzluluğunda etkilieri deniz suyundaki ortam için de karışım suyunun deniz suyu olması asabıylada yine göreceğiz.

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu deneysel çalışmada 300 dozajlı Portland Çimentosu 42,5 (PÇ 42,5) Puzolanik Çimento 32,5 (PZÇ 32,5) kullanılarak elde edilen beton numunelerinin deniz sulu ortamda ve magnezyum sülfatlı ortamlarda karışım suyunun deniz suyu ve normal su olarak yapılması ve belirtilen sürelerde kürdeki basınç dayanım sonuçlarını inceledik. Laboratuar şartlarında gerçekleştirilen bu deneyde gerçeğe yakın ve doğal ortamlardaki değerlere paralel sonuçlar elde edilebilmesi amacıyla deneyde kullanılan malzemelerin kaliteli seçilmesine özen gösterilmiştir. Bu husus deneyden çıkacak sonuçları direkt etkilediği için önemlidir. Deneyde kullanılan 10x10x10 cm boyutlarında küp beton numunelerinin hazırlanabilmesi için su geçirimsizliği az 7 katmanlı ara reçine ile yapıştırılmış plywood malzemesinden ahşap kalıplar hazır hale getirilmiştir. Yapılan beton karışımının içindeki suyun emilmemesi ve karışım oranlarının bozulmaması için Şekil 6.1. ve Şekil 6.2. deki gibi kalıplar önem arz etmektedir.



Şekil 6.1. Deney beton numune kapları perspektif görünümü



Şekil 6.2. Deney beton numune kapları üstten görünümü

Deney numunelerinin yapılması aşamasında en önemli faktörlerden biride numune karışımında kullanılacak betonu oluşturan elamanların hangi ortamlarda ne koşullarda alındığıdır. Deney numune hazırlanırken hava şartlarının öneminden ötürü laboratuvar içerisinde uygun koşullarda malzemeler hazırlanarak deneylerimiz yapılmıştır. Deneyde kullanılacak beton haricindeki diğer malzemelerden olan deniz suyu ve magnezyum sülfat belirlenmiş yerlerden temin edilerek deney laboratuvarına getirilmiştir. Deniz suyu Karadeniz'den temin edilmiş olup deniz suyu analizi deniz suyu bölümünde de belirtildiği iyonların içeriğine sahiptir. Magnezyum sülfat özel bir kimya laboratuvarından alınmıştır. Beton karışım miktarları ve karışımında kullanılacak malzeme miktarları ile ilgili değerler Tablo 6.1. de verilmiştir.

Tablo 6.1. Deney numuneleri karışım oranları

	300 Dozlu Karışım Deniz Suyu ile			300 Dozlu Karışım Normal Su ile	
	p.ç.42.5	p.z.ç.32.5		p.ç.42.5	p.z.ç.32.5
çimento	30	30	kg	30	30
su	18	18	lt	18	18
kum	102	102	kg	102	102
1no micir	56	56	kg	56	56
2no micir	28	28	kg	28	28

Yukarıdaki deney numunelerine ait olan miktarlar 0.1 m³ beton hacmine denk düşecek şekilde gelmektedir. Bu da 10 x 10 x 10 cm boyutlarındaki küp beton numunelerinden 100 adet elde edilebilmesi amacıyla yapılmıştır. Zayıf ve istenilen yüzeylerde bir numune sağlanamaması göz önüne alınarak fazla üretim yapılmıştır. Deney numuneleri sayısı günlük 90 adettir. 90 adet olma sebebi yapmış olduğumuz deneyin uzun vadede sonuç verecek olmasıdır. 180 günlük düşünülen deneyin verdiği sonuç daha uzun bir dönemle kıyaslandığında daha az etkili olacağını bilmekteyiz.

Buna göre ilk günde hava şartlarını da göz önünde bulundurarak deneyimizi yapmaya başladık. Beton karışımı için gerekli olan malzemeler elektronik tartı yardımıyla ayrı ayrı yukarıda ki tabloda verilen değerler doğrultusunda tartılır. Tartılan ve ihtiyaca göre kaplara alınan malzemeler harcın karılacağı alanda toplanarak homojen bir karışım sağlamak için üst üste dökülür. Malzemelerin koyulacağı yerin kuru, pürüzsüz ve temiz olmasına dikkat etmek önemli bir ayrıntıdır. Şekil 6.2., Şekil 6.3., ve Şekil 6.4. de de görüldüğü üzere 3 tip agrega tipi kullanılmaktadır.



Şekil 6.3. Beton karışımı için gerekli olan agregadan bir görünüm



Şekil 6.4. Beton karışımı için gerekli olan agregadan bir görünüm



Şekil 6.5. Beton karışımı için gerekli olan agregadan bir görünüm

Karışımın doğru oranda yapılması, homojen için karışım miktarları ve karışımın şekli sistemli yapılması muhakkaktır. Şekil 6.6. daki gibi karışımı uygun alet ve ekipmanla yapmak doğru olacaktır.



Şekil 6.6. beton karışımı için gerekli olan karışımdan bir görünüm

Üst üste koyulan karışım malzemesinin ortası kürek yardımıyla içerisine karışım suyu normal su yada deniz suyu yerleşecek şekilde ortadan kısmından açılır. Karışım suyu yavaş yavaş ilave edilir. 2 taraflı kürek yardımıyla homojen bir karışım elde etmek amacıyla harç karılmaya devam edilir. Beton karışımı belirli bir slampa ulaşınca kadar belirtilen işlemlere devam edilir.

Homojen karışmış olan harç daha evvelden hazırlanmış ve özel yağlarla ki deney numunelerinin kolayca kalıplardan çıkarılması amacı ile yağlanmış olan kalıplara 2 seviye ve kademedede ve her kademedede 25 er defa şişlenmek ve tokmaklamak üzere ilave edilir. Tokmaklamak ve şişlemek betonun sıkışması adına önemli bir faktördür. Betonun iyice kalıp içine yerleştiğinden emin olunduktan sonra mala ya da benzeri bir yapı küreği ile üst tesviye ve düzeltme işlemi gerçekleştirilir. Bu konuda önemlidir; beton basınç dayanımı altında kalan numune yüzeyi düzgün değildir, çünkü yük altında kalan deney numunesinin her yüzeyinde eşit miktarda basınç uygulanmalıdır. Bu işleyiş deney sonuçlarına olumsuz etki edeceğinden dikkat edilmesi gerekir.



Şekil 6.7. Plywood kalıplardan görünüş



Şekil 6.8. Plywood kalıpların yandan görünüşü



Şekil 6.9. Kalıplara 2 kademede numune yerleşimi



Şekil 6.10. Kalıplardaki beton karışımı tesviyesi



Şekil 6.11. Kalıplara beton karışımı koyulurken görünümü

1.grup olarak 90 adet 300 dozlu puzolanik çimento 32.5 ve deniz suyu ile hazırlanan beton numunelerimiz 24 saat sonra kalıplarından yavaşça çıkartılan numuneler (herhangi bir köşesine zarar gelmeyecek şekli ile) normal suyun içerisinde bakım ve kür uygulanmak üzere 28 günlüğüne koyulmuştur.

2.grup olarak 90 adet 300 dozlu portlant çimentosu 42.5 ve deniz suyu ile hazırlanan beton numunelerimiz 24 saat sonra koyulmuş olan kalıplardan çıkartılıp normal suyun içerisinde bakım ve kür uygulanmak üzere 28 günlüğüne koyulmuştur.

3.grup olarak 90 adet hazırlanan 300 dozlu portland çimentosu 42.5 ve normal su ile hazırlanan beton numunelerimiz tekrar 24 saat sonra koyulmuş olan kalıplardan çıkartılıp normal suyun içerisinde bakım ve kür uygulanmak üzere 28 günlüğüne koyulmuştur.

4.grup olarak 90 adet hazırlanan 300 dozlu puzolanik çimento 32.5 ve normal su ile hazırlanan beton numunelerimiz tekrar 24 saat sonra koyulmuş olan kalıplardan çıkartılıp normal suyun içerisinde bakım ve kür uygulanmak üzere 28 günlüğüne koyulmuştur.



Şekil 6.12. Kalıplardan çıkarılmış küre hazır numuneler



Şekil 6.13. Kalıplardan çıkarılmış beton numuneleri

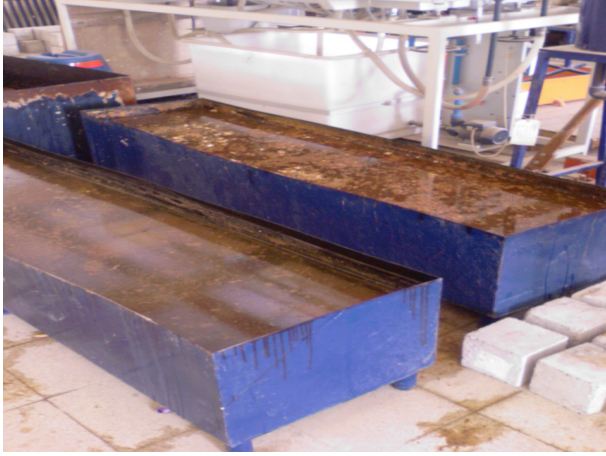


Şekil 6.14. Kalıplardan deney için kullanılacak numuneler



Şekil 6.15. Kırım için hazırlanan deney numuneleri

İlk 28 gününü tamamlamış olan numuneler her 90 ar lık gruptan 3 er adet alınmak suretiyle basınç dayanımına tutularak ilk şahit kırım sonuçlarımızı elde etmiş bulunuyoruz. Bu sonuçlar Kgf olarak ayrıntılı bir şekilde aşağıdaki tablolarımızda gösterilmiştir.



Şekil 6.16. Deniz sulu ortamdaki küre bırakılan deney numuneleri



Şekil 6.17. Şahit numuneler için kür havuzu



Şekil 6.18. Magnezyum sülfatı numuneler için kür havuzu

Bakım ve kürü tamamlanan ilk 28 gününü doldurmuş olan numunelerimiz havuzlarından çıkartılarak 1 nolu olan, su miktarının konsantrasyon olarak %5 miktarında magnezyum sülfat içeren havuzumuza 4 ayrı grup halinde hazırlanmış beton numunelerimizden 30 ar adet alınarak özenle yerleştirilmiştir.

Bakım ve kürü tamamlanan ilk 28 gününü doldurmuş olan numunelerimiz havuzlarından çıkartılarak 2 nolu olan, tamamiyle deniz suyu ortamı olarak söyleyebileceğimiz su yerine deniz suyu içeren havuzumuza 4 ayrı grup halinde hazırlanmış beton numunelerimizden 30 ar adet alınarak özenle yerleştirilmiştir.

Ve nihayet bakım ve kürü tamamlanan ilk 28 gününü doldurmuş olan numunelerimiz havuzlarından çıkartılarak 3 nolu olan, şahit numune olacak normal su içeren havuzumuza 4 ayrı grup halinde hazırlanmış beton numunelerimizden 30 ar adet alınarak itinayla yerleştirilmiştir.



Şekil 6.19. Beton basınç deney numuneleri



Şekil 6.20. Beton basınç ölçüm cihazı

Beton basınç ölçüm cihazı şekil 6.20. deki gibi üstten çevirmeli kol yardımıyla küp beton numunesinin üstüne yük aktarımıyla ve basınç artışıyla yandaki sayısal değerlerin alınmasıyla yapılır. Kırılan numuneler Şekil 6.21. deki hale gelmiştir.



Şekil 6.21. Kırım sonrasındaki numunelerin görüntüsü

Deniz Suyu dolu ve Magnezyum Sülfatlı ortamlarda ki beton numunelerimiz her 4 gruptan 3 er adet alınarak basınç deneyine tabi tutularak sonuçlar Tablo 6.2.-Tablo 6.33.de ve Şekil 6.22- Şekil 6.29 da gösterilmiştir.

Tablo 6.2. Deniz sulu ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	15,055	15,585	15,625	15,422
28	Deniz Suyu	10,000	12,150	11,175	11,108
28+28	Şahit Num.	16,010	15,575	15,490	15,692
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.3. Deniz sulu ortam P.Ç. 42.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	22,605	23,805	20,840	22,417
28	Deniz Suyu	24,625	23,125	20,180	22,643
28+28	Şahit Num.	26,530	27,320	21,170	25,007
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.4. Deniz sulu ortam P.Ç. 42.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	25,170	21,130	24,560	23,620
28	Deniz Suyu	28,125	22,245	20,785	23,718
28+28	Şahit Num.	25,765	25,470	19,390	23,542
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					

Tablo 6.5. Deniz sulu ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	13,705	12,730	14,755	13,730
28	Deniz Suyu	15,205	14,265	16,230	15,233
28+28	Şahit Num.	12,480	17,430	18,125	16,012
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					

Tablo 6.6. Magnezyum sülfatlı ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 Günlük beton basınç değerleri

MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	15,055	15,585	15,625	15,422
28	magnezyum sül	12,965	16,525	17,700	15,730
28+28	Şahit Num.	16,010	15,575	15,490	15,692
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.7. Magnezyum sülfatlı ortam P.Ç. 42.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri

MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	22,605	23,805	20,840	22,417
28	magnezyum sül	23,040	27,260	22,020	24,107
28+28	Şahit Num.	26,530	27,320	21,170	25,007
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.8. Magnezyum sülfatlı ortam P.Ç. 42.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri

MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	25,170	21,130	24,560	23,620
28	magnezyum sül	21,310	22,445	26,395	23,383
28+28	Şahit Num.	25,765	25,470	19,390	23,542
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					

Tablo 6.9. Magnezyum sülfatlı ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri

MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	13,705	12,730	14,755	13,730
28	magnezyum sül	17,085	14,785	14,040	15,303
28+28	Şahit Num.	12,480	17,430	18,125	16,012
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					

Tablo 6.10. Deniz sulu ortam P.Ç.Z. 32.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	Deniz Suyu	16,020	17,930	18,075	17,342
28+56	Şahit Num.	16,985	16,900	17,230	17,038
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.11. Deniz sulu ortam P.Ç. 42.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	Deniz Suyu	27,225	23,410	21,765	24,133
28+56	Şahit Num.	28,490	21,130	32,755	27,458
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.12. Deniz sulu ortam P.Ç. 42.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	Deniz Suyu	18,705	28,040	22,430	23,058
28+56	Şahit Num.	25,855	25,925	26,130	25,970
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					

Tablo 6.13. Deniz sulu ortam P.Z.Ç. 32.5 Ve 56 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	Deniz Suyu	16,330	16,560	15,705	16,198
28+56	Şahit Num.	16,230	17,805	17,650	17,228
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					

Tablo 6.14. Magnezyum sülfat ortamlı P.Z.Ç. 32.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri

MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	magnezyum sül	15,465	20,040	15,960	17,155
28+56	Şahit Num.	16,985	16,900	17,230	17,038
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.15. Magnezyum sülfat ortamlı P.Ç. 42.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri

MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	magnezyum sül	25,650	27,680	26,775	26,702
28+56	Şahit Num.	28,490	21,130	32,755	27,458
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.16. Magnezyum sülfat ortamı P.Ç. 42.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri

MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	magnezyum sül	25,490	18,760	27,190	23,813
28+56	Şahit Num.	27,805	27,225	27,935	27,654
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					

Tablo 6.17. Magnezyum sülfat ortamı P.Z.Ç. 32.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri

MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	magnezyum sül	14,265	17,990	14,370	15,542
28+56	Şahit Num.	16,230	14,805	15,650	15,562
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					

Tablo 6.18. Deniz sulu ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	Deniz Suyu	17,715	16,925	15,710	16,783
28+90	Şahit Num.	19,040	15,305	18,410	17,585
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.19. Deni sulu ortam P.Ç. 42.5 Ve 90 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	Deniz Suyu	25,895	26,010	25,020	25,641
28+90	Şahit Num.	30,725	28,115	30,395	29,745
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.20. Deniz sulu ortam P.Ç. 42.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	Deniz Suyu	31,395	26,330	26,200	27,975
28+90	Şahit Num.	19,525	30,365	29,600	26,497
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					

Tablo 6.21. Deniz sulu ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	Deniz Suyu	17,510	17,760	18,585	17,952
28+90	Şahit Num.	19,130	18,720	17,910	18,587
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					

Tablo 6.22. Magnezyum sülfatlı ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri

MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	magnezyum sülfat	16,415	18,435	19,920	18,257
28+90	Şahit Num.	19,040	15,305	18,410	17,585
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.23. Magnezyum sülfatlı ortam P.Ç. 42.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri

MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	magnezyum sülfat	26,070	28,020	27,105	27,065
28+90	Şahit Num.	28,735	28,005	28,285	28,341
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.24. Magnezyum sülfatlı Ortam P.Ç. 42.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri

MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	magnezyum sülfat	25,360	24,155	25,245	24,920
28+90	Şahit Num.	27,813	27,652	27,541	27,669
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					

Tablo 6.25. Magnezyum sülfatlı ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri

MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	magnezyum sülfat	17,705	18,125	19,980	18,603
28+90	Şahit Num.	19,130	13,720	17,910	16,920
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					

Tablo 6.26. Deniz sulu ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	Deniz Suyu	17,280	19,260	18,220	18,253
28+180	Şahit Num.	20,665	17,590	21,655	19,970
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.27. Deniz sulu ortam P.Ç. 42.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	Deniz Suyu	26,525	26,940	26,175	26,547
28+180	Şahit Num.	26,975	31,825	27,455	28,751
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.28. Deniz sulu ortam P.Ç. 42.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	Deniz Suyu	31,945	25,825	30,370	29,380
28+180	Şahit Num.	26,810	27,160	26,980	26,983
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					

Tablo 6.29. Deniz sulu ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

DENİZ SULU ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	Deniz Suyu	20,255	19,650	20,380	20,095
28+180	Şahit Num.	21,355	21,745	21,455	21,518
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					

Tablo 6.30. Magnezyum sülfatlı ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	magnezyum sül	19,855	19,760	18,410	19,342
28+180	Şahit Num.	20,665	17,590	21,655	19,970
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.31. Magnezyum sülfatlı ortam P.Ç. 42.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

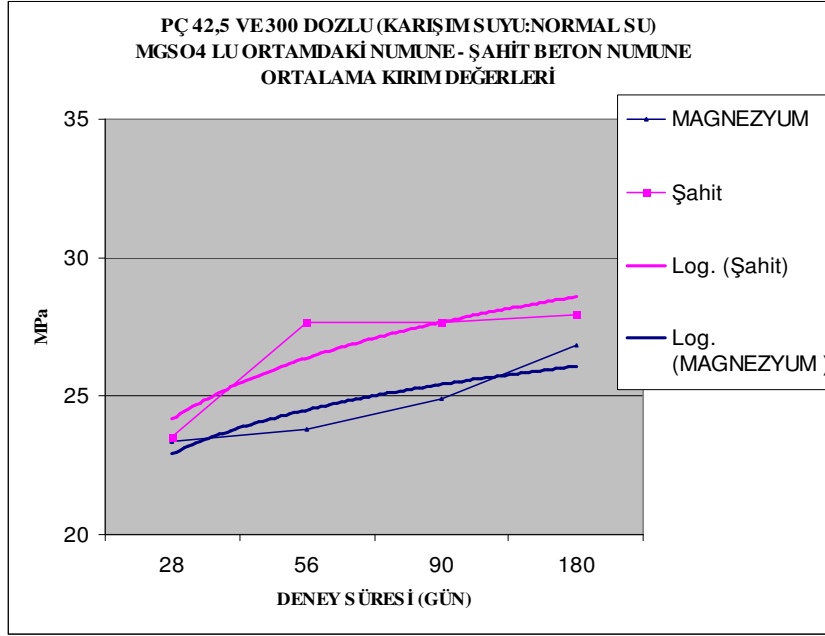
MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	magnezyum sü	27,370	27,090	28,160	27,540
28+180	Şahit Num.	25,900	32,125	27,925	28,650
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Deniz Suyu					

Tablo 6.32. Magnezyum sülfatlı ortam P.Ç. 42.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

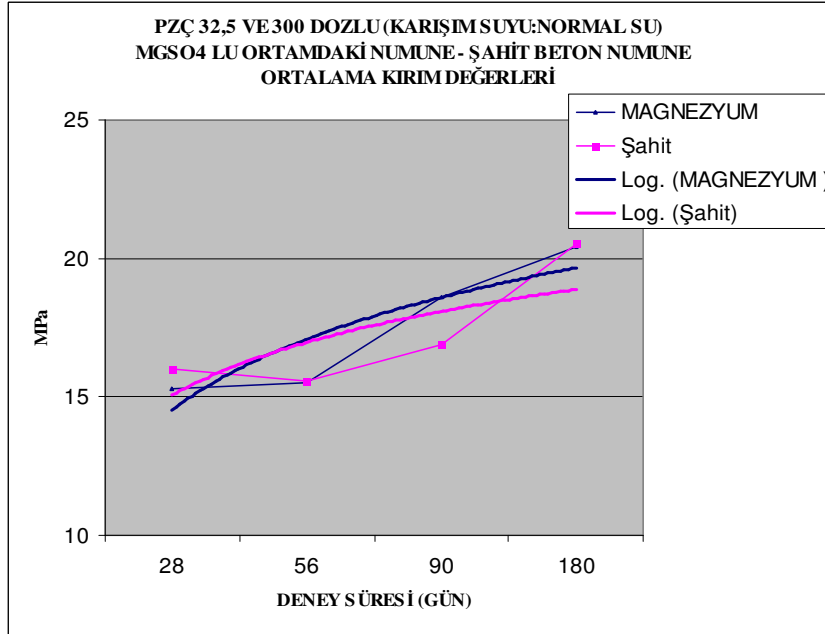
MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	magnezyum sü	27,335	26,310	26,830	26,825
28+180	Şahit Num.	27,810	27,960	28,080	27,950
PÇ 42,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					

Tablo 6.33. Magnezyum sülfatlı ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

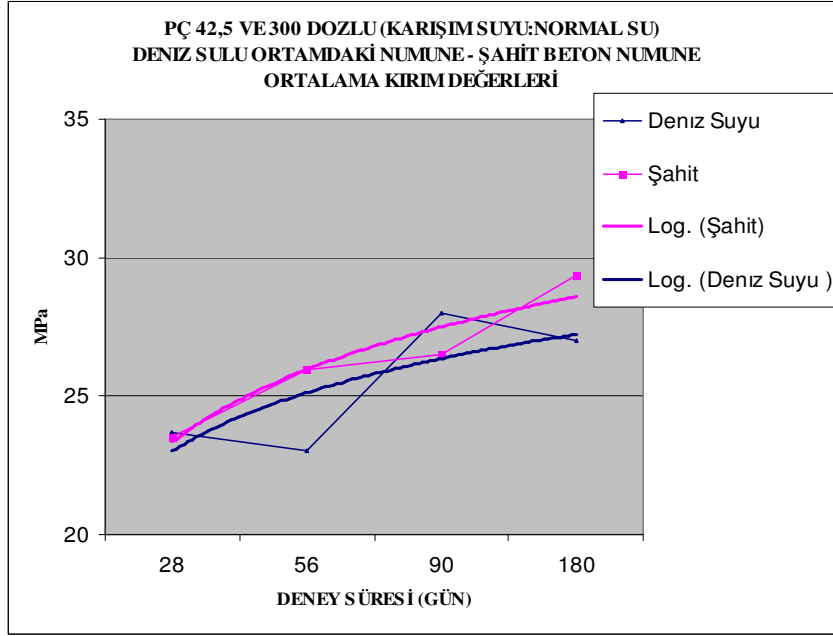
MAGNEZYUM SÜLFAT LI ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	magnezyum sü	19,575	21,060	20,650	20,428
28+180	Şahit Num.	20,355	19,745	21,455	20,518
PZÇ 32,5 300 Doz / Birim: MPa Karışım suyu: Normal Su					



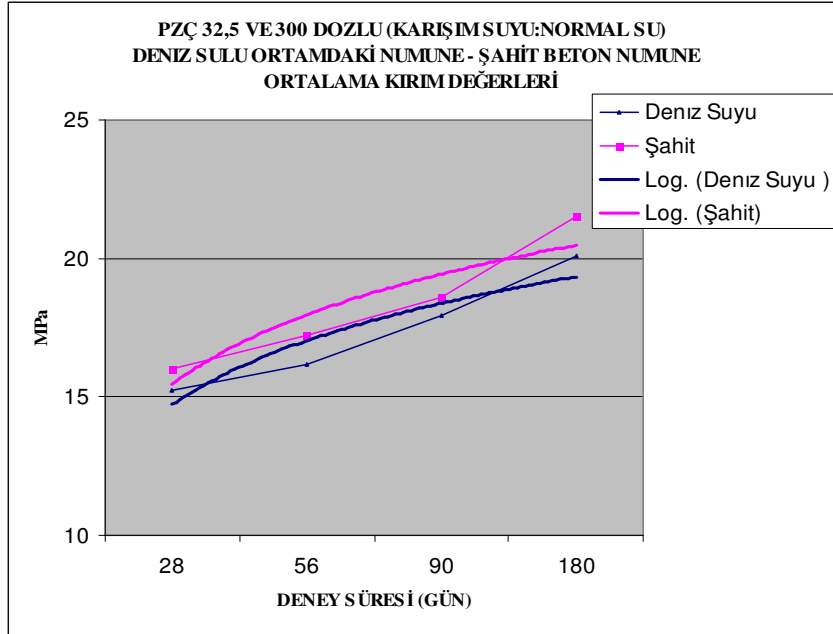
Şekil 6.22. PÇ 42.5 ve 300 dozlu magnezyum sülfat-şahit beton numune ortalama kırım değerleri



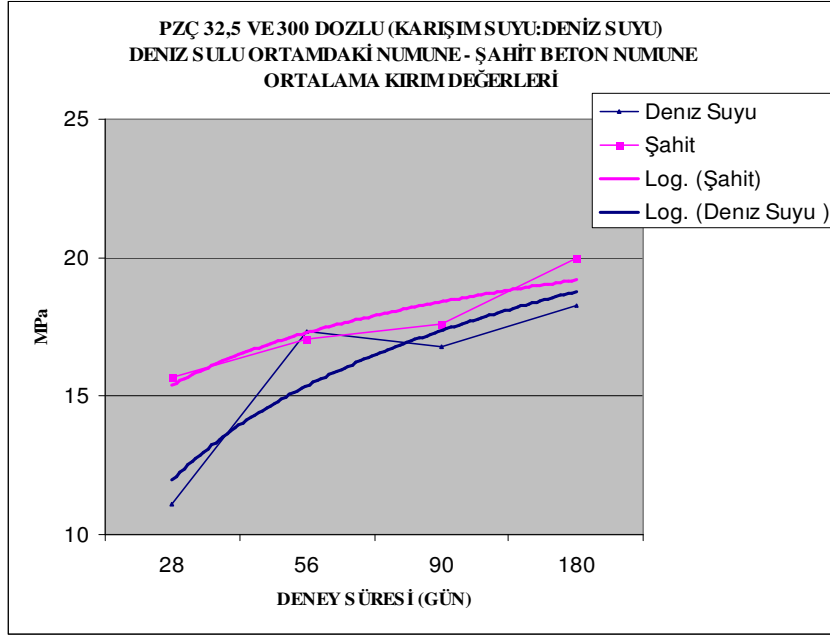
Şekil 6.23. PZÇ 32.5 ve 300 dozlu magnezyum sülfat-şahit beton numune ortalama kırım değerleri



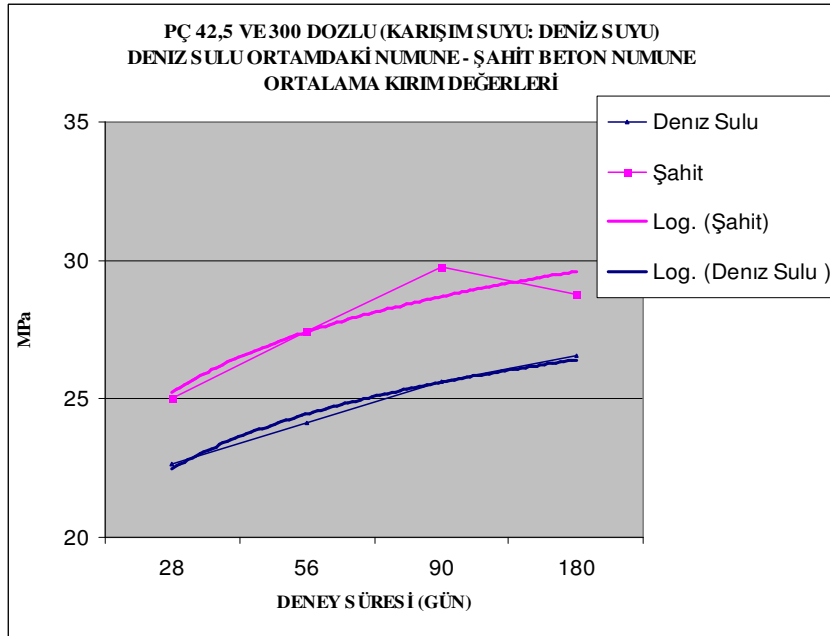
Şekil 6.24. PÇ 42.5 ve 300 dozlu deniz sulu ortam-şahit beton numune ortalama kırım değerleri



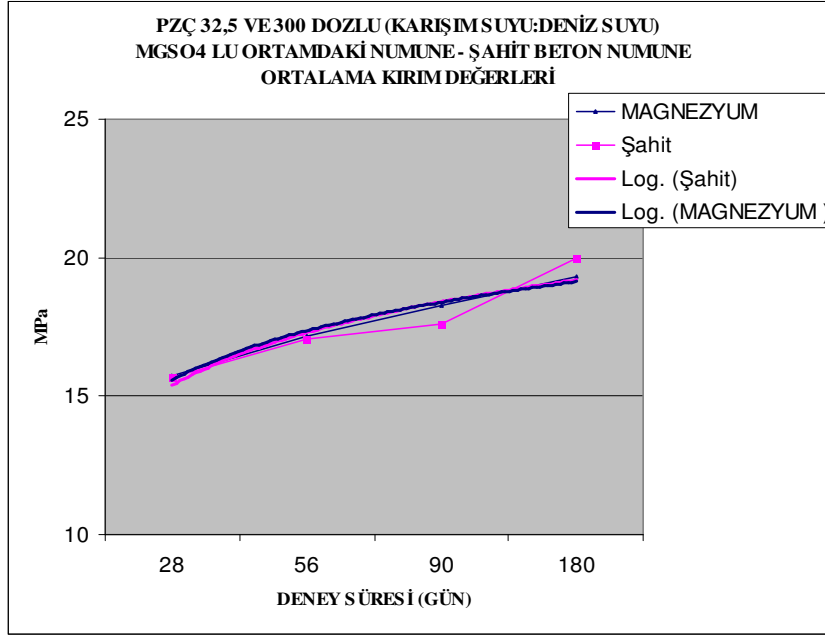
Şekil 6.25. PZÇ 32.5 ve 300 dozlu deniz sulu ortam-şahit beton numune ortalama kırım değerleri



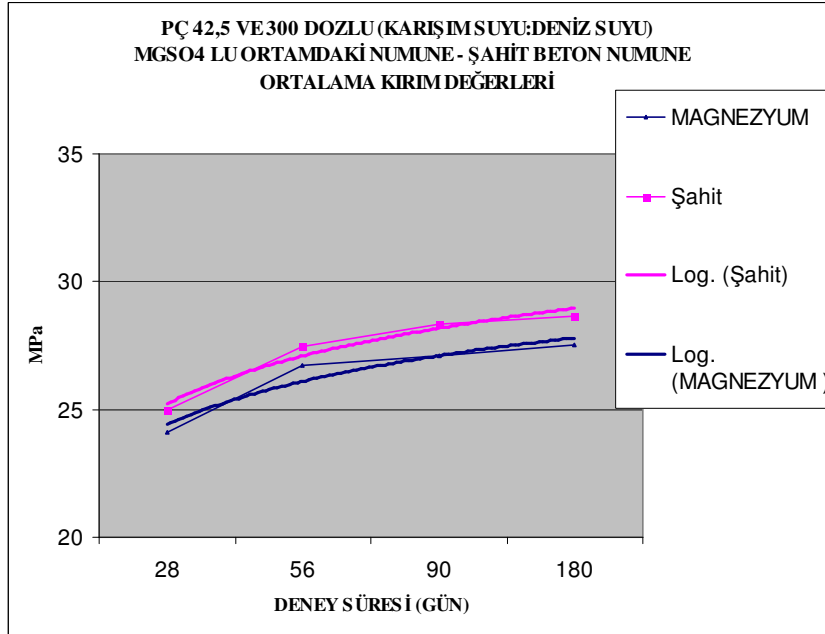
Şekil 6.26. PZÇ 32.5 ve 300 dozlu deniz sulu ortam-şahit beton numune ortalama kırım değerleri



Şekil 6.27. PÇ 42.5 ve 300 dozlu deniz sulu ortam-şahit beton numune ortalama kırım değerleri



Şekil 6.28. PZÇ 32.5 ve 300 dozlu magnezyum sülfat-şahit beton numune ortalama kırım değerleri



Şekil 6.29. PÇ 42.5 ve 300 dozlu magnezyum sülfat-şahit beton numune ortalama kırım değerleri

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen 28günlük, 56 günlük, 90 günlük ve 180 günlük sonuçlar irdelendiğinde şunları söylemek aşağıda da belirtildiği üzere mümkündür.

Şekil 6.22 de P.Ç.42.5 ve 300 dozlu normal sulu karışimli betonların $MgSO_4$ 'lü ortamdaki 180. gündeki mukavemet değerlerini gösteren grafikten, sülfatlı ortamda numunelerin zamanla dayanım kaybettikleri görülmüştür. İlk zamanlarda bu fark daha belirgin olmakla birlikte 180. günde daha az olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak numuneler arasındaki mukavemet farklılığından kaynaklandığını söyleyebiliriz. 180. günde bu fark % 3 oranında olmuştur.

Şekil 6.23. de ki grafikte P.Z.Ç. 32.5 ve 300 dozlu numunelerin 180. gün sonunda şahit numune ile değerlendirildiğinde mukavemet olarak fazla bir fark görülmemiştir. Şekil 6.22. dede %3 lük bir fark vardı. Bu da kısa sürede $MgSO_4$ ortamının etkisinin az olduğunu göstermektedir.

Şekil 6.24. de ki grafikte P.Ç. 42.5 ve 300 dozlu numunelerde şahit beton ile deniz sulu ortamda kalan betonların 180. günündeki dayanım farkı %4 olmuştur.

Şekil 6.25. de ise P.Z.Ç. 32.5 ve 300 dozlu numunelerde deniz suyu ortamındaki numunelerde fark görülmektedir. P.Z.Ç. 32.5 kullanılan numunelerde bu farklılık 180 gün içinde oluşmamıştır. Burada puzolanların betonu daha geçirimsiz kılması bu sonucu doğrulduğunu söylemek yanlış olmaz. Zaten deniz suyu ve sülfatlı ortamlarda puzolanik çimentonların tercih edilmesinin nedenlerinden biride bu gibi ortamlardan çok daha az etkilenmeleri ve daha dayanıklı olmalarıdır.

Karışım suyu deniz suyu olan numunelerden P.Z.Ç. 32.5 ve 300 dozlu beton numunelerinden deniz suyu ortamında tutulan numunelerde Şekil 6.26 teki grafiklerde görüldüğü gibi 180 günde şahit numunelere göre %10 azalma görülmüştür.

P.Ç. 42.5 ve 300 dozlu numunelerde zaman içerisinde deniz sulu ortamda tutulan numuneler Şekil 6.27. daki grafikten de görüldüğü gibi şahit numunelere göre %8 oranında dayanım kaybı görülmüştür.

Şekil 6.28. deki P.Z.Ç. ve 300 dozlu üretilen betonlardan şahit beton ile sülfatlı ortamda kalan betonlar arasında kısa sürede dayanım olarak önemli fark görülmemiştir. Ancak 180. günde %3 lük bir fark görülmüştür.

Şekil 6.29. deki P.Ç. 42.5 ve 300 dozlu numunelerde ise zemin içerisinde azalma görülmüş 180. günde fark %4 olarak görülmüştür. Çimentolar arasındaki etkileşimi incelediğimizde P.Z.Ç. 32.5 ile üretilen betonlarda farkın daha az olduğu görülmektedir. Bu da puzolonik maddeden kaynaklanmaktadır.

Sonuçlar ve öneriler olarak; Çalışmalarımızdan da görüldüğü gibi deniz suyunun ve sülfatlı ortamın betonlara zaman içerisinde zarar verdiği anlaşılmaktadır. Deniz suyunun karma su olarak kullanılmasının uygun olmadığı görülmüştür. Çünkü 180. gündeki farklar deniz sulu karışımlarda daha belirgin olmuştur. Kısa sürede etkileri görmek için hızlandırılmış deneyler yapılmıştır. Ancak bu 180 günlük sürede çok belirgin olmamıştır. Ancak 3 yıl süreli amaçlanan bir çalışmadır. Bu çalışmamızda süre nedeniyle 180 günlük bir süreç değerlendirilmiştir. Halen deniz suyu ve sülfatlı suda numuneler daha sonraki sürelerde değerlendirilmek üzere beklemektedir. Çalışmanın devamında bunlar değerlendirilerek daha belirgin sonuçlara varılabilmektedir. Betonun dayanımı dayanıklılığın da bir ölçütüdür. Onun için bu tür ortamlarda yalnızca binanın taşıyıcı yükünü karşılayacak sınıfta beton kullanmak yerine daha yüksek (örneğin C30) kalitede beton kullanılması daha uygun olacağını söyleyebiliriz. Aynı zamanda katkıli çimentolar kullanma yoluna gidilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] ÖZİŞİK.,G., 'Beton' İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 1998, İstanbul.
- [2] CİLASON.,N., 'Beton' STFA Yayınları No:21, 1992, İstanbul.
- [3] ERDOĞAN.,M., 'İstanbul ve Dolayının Yapay Agregası Potansiyeli' 3.Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi, Adana.
- [4] ERDOĞAN.,T.Y., 'Beton Oluşturan Malzemeler-Agregalar' Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, 1995, İstanbul.
- [5] KOCA.,C., 'Hazır Beton Sektörü Açısından Agregası Sekrörüne Bakış' Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, 1996, İstanbul.
- [6] TS 706, TS 3529, TS 3526, TS 3673, TS 3527, TS 3530, TS 3814, TS635 Standartları.
- [7] EYÜPOĞLU.,R., 'Türk Standartlarında Kırmataş' İ.T.Ü. Maden Fakültesi, 1995, İstanbul.
- [8] George R. WHITE, Concrete Technology.
- [9] Joseph A. DOBROWOLSKI, Concrete Construction.
- [10] A. M. PAILLERE, Application of Admixtures in Concrete.
- [11] E. C. ADAMS, Yapı Bilgisi 3.
- [12] Prof. Dr. Murat ERİÇ, Yapı Fiziği ve Malzemesi.
- [13] Norm Yapı Denetim Firması İzmit
- [14] Doç. Dr. Müh. Engin ANOĞLU & Müh. Ali YÜKSEL, Tünellerde Püskürtme Betonu Karışımı Tasarımı Ve Kaplama Kalınlığının Belirlenmesi.

- [15] <http://www.ytong.com.tr/>
- [16] Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TEMİZ, Ders Notları; Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ders Notları 2001
- [17] Prof. Dr. M. Süheyl Akman, Yapı Malzemeleri ; İTÜ yayınları
- [18] Betonsa Sabancı Beton Yapı Elemanları
- [19] Kütahya Magnezit İşletmeleri A.Ş.
- [20] www.insaatforum.com
- [21] AKMAN, M.S., Yapı Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İkinci baskı, 1990.
- [22] BARADAN, B., YAZICI, H., ÜN, H., Betonarme Yapılarda Kalıcılık, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın No: 298, Nisan 2002, İzmir.
- [23] TAŞDEMİR, C., Mikrofiller Malzemelerin ve Kür Koşullarının Betonun Kılcal Geçirimliliğine Etkisi, DSİ Çimento-Beton ve Boya Semineri, 24-26 Haziran 1998, p. 47-56, Ankara.
- [24] GRATTAN-BELLEW, P.E., Microstructural Investigation of Deteriorated Portland cement Concretes, Construction and Building Materials
- [25] POSTACIOĞLU, B., Beton - Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton, Cilt 1, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1986.
- [26] A.M. Neville, Properties of Concrete, Pitman Publishing, London, 1975.
- [27] M. Grzybowski, Determination of Crack Arresting Properties of Fiber Reinforced Cementitious Composites, Department of Structural Engineering, Royal Institute of Technology, Stockholm, TRITA/BRO-89/008, 1989.
- [28] SAMSUN Su Ürünleri Araştırma Merkezi

ÖZGEÇMİŞ

22.07.1978 yılında TRABZON'da doğdum. Vakfıkebir'e bağlı Körez Mahallesinde nüfusum kayıtlıdır. İlköğretimimi Trabzon'un Of ilçesinde ki Cumhuriyet İlkokulunda okuduktan sonra Ortaokulu da Yine aynı ilçeye bağlı Şehit Ahmet Türkan Lisesinde bitirdim. Artık eğitim düzeyimi artırmam gerektiğini düşünerek Of'tan gidip gelmem sabah saatleride zor dahi olsa lise hayatımı Trabzon'a bağlı Affan Kitapçıoğlu Lisesinde tamamladım. İyi bir lise eğitim ve öğretimi ardından Lisans eğitimim için tercihlerim arasında bulunan 19 Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümde iyi bir puan ile beraber kazandım. 1997 yılında başlamış olduğum lisans hayatımı not ortalaması yüksek bir biçimde 2001 yılında tamamladım. Lisans eğitimimin bitmesi ile beraber aynı yıl içerisinde Sakarya'da Türkiye Cumhuriyeti Karayolları 17. Bölge'ye bağlı özel bir firmada 2002 senesine kadar yol ve sanat yapıları mühendisi olarak çalıştıktan sonra 2002 senesi ortalarından itibaren yine aynı özel firmada şantiye şefliği görevini alarak çalıştım. Halen de bu firmaya ait taahhütte şantiye şefi olarak iş hayatımla öğrenim hayatımı sürdürmekteyim.