

90569

**KONVANSİYONEL VE GELİŞTİRİLMİŞ
KONVANSİYONEL YAPIM SİSTEMLERİYLE
ÜRETİLEN YAPILARDA BETONARME
ELEMENLARIN DAYANIKLILIĞINI OLUMSUZ
OLARAK ETKİLEYEN ETKENLERİN
İRDELENMESİ**

Dokuz Eylül Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Ana Bilim Dalı

F. Hilal HALICIOĞLU

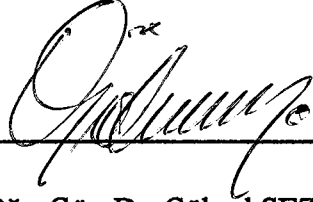
Aralık, 1999

İZMİR

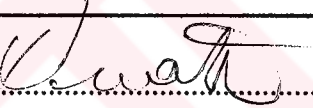
**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

TEZ SINAV SONUÇ FORMU

Bu tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lİsans tezi olarak kabul edilmiştir.

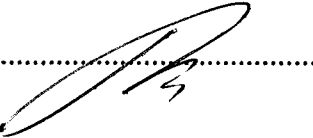

Öğr. Gör. Dr. Göksel SEZER

(Yönetici)

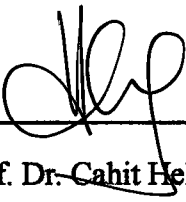


(Jüri Üyesi)

PROF.DR. BÜLENT BARLAHAN



(Jüri Üyesi)


Prof. Dr. Cahit Helvacı

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Her zaman yanımda olup beni destekledikleri için

Aileme,
Ve özellikle annem Sn. Hatice HALICIOĞLU'na,

Tez çalışmalarım boyunca çok değerli eleştirileri ile araştırmalarımı yönlendirerek daima olumlu yaklaşımlarıyla bana yol gösteren tez yöneticim

Sn. Öğr. Gör. Dr. Göksel SEZER'e,

Çok değerli bilgileri ile yardım ve önerilerini esirgemeyen, her zaman anlayış gösteren ve destek olan değerli hocalarım

Sn. Prof. Dr. Necati ŞEN'e,

Sn. Prof. Dr. Çetin TÜRKCÜ'ye,

Çok değerli bilgileri ile yardım ve önerilerini esirgemeyen Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalı Başkanı

Sn. Prof. Dr. Bülent BARADAN'a,

Tüm yardımlarından, anlayış ve desteğinden dolayı

Sn. Araş. Gör. Müjde ALTIN'a,

Sn. Halit YAZICI'ya,

Yapı Ana Bilim Dalı'ndaki tüm öğretim elemanlarına,

Sn. Meryem ÇELİK'e

Bu tezin tamamlanmasındaki tüm katkılarından dolayı sonsuz teşekkürler...

F. Hilal HALICIOĞLU

ÖZET

Betonarme elemanın olumlu özelliklerini sürdürebilmesi dayanıklı olmasına bağlıdır. Bir yapının kalıcı olabilmesi için taşıyıcı sisteminin yüklere karşı yeterli dayanımda olmasının yanında beton malzemenin de dayanıklı olması istenir. Betonun dayanıklılığı dış ve iç etkiler sonucu oluşabilecek bozulmalara karşı direnç göstermesi olarak tanımlanabilir. Betonun dayanıklılığı büyük ölçüde geçirimsizliğine bağlıdır. Betonarme birleşimli yapıların dayanıklılığını etkileyen birçok dış ve iç etkiler vardır. Dış etkiler arasında; donma-çözülme, aşınma, karbonatlaşma, donatı çeliğinin korozyonu, bazı asit ve tuz etkileri gibi kimyasal etkiler sayılabilir. İç etkiler ise alkali-agrega reaksiyonu, agrega ve çimento harcının termal özellikleri arasındaki farklılıklar gibi etkenlerdir.

Betonarme elemanlarda, beton içine gömülü olan çelik, betonun alkali ortamı sayesinde korozyondan korunur. Betonun alkalinitesi büyük ölçüde çimentonun hidratasyonundan kaynaklanan ve gözenek suyu içinde çözünmüş Ca(OH)_2 tarafından sağlanır. Fakat, betonun bu olumlu özelliği zaman içinde karbonatlaşma adı verilen bir kimyasal reaksiyon sonucu ortadan kaybolabilir. Özellikle, Ca(OH)_2 ortamda bulunan CO_2 'in betonun gözenek sistemine işlemesiyle CaCO_3 'a dönüşür. Ortamın pH derecesini düşüren ve donatının paslanmasına yol açan bu olgu betonarme elemanların servis ömürlerini belirleyen önemli etkenlerden biri olarak kabul edilir. Betonarme birleşimli yapıların servis ömrünü olumsuz etkileyen bir diğer en önemli etken ise donatı çeliğinin korozyonudur.

Bu çalışmada konvansiyonel ve geliştirilmiş konvansiyonel sistemlerle üretilen, strüktür sistemi iskelet olan yapılarda betonarme elemanın bozulmasına neden olarak dayanıklılığını etkileyen etkenler irdelenmiş ve uzun yıllar zarar görmeden işlevini

yapacak dayanıklı betonarme birleşimli yapıların üretilebilmesi için tasarım-üretim aşamasında alınması gereken önlemler açıklanmıştır. Özellikle betonarme elemanın dayanım ve dayanıklılığını önemli derecede olumsuz olarak etkileyen karbonatlaşma ve donatı çeliğinin korozyonu irdelenmiştir.

İlk bölümde, yapının taşıyıcı sisteminde betonarme birleşimin önemi açıklanmıştır. Betonarme elemanda dayanım ve dayanıklılık kavramları tanımlanmıştır. Betonarme elemanın dayanıklılığının üretim sistemi ile ilişkisi incelenmiş ve dayanıklılığını etkileyen etkenler irdelenmiştir.

İkinci bölümde, betonarme birleşimini oluşturan beton ve donatı çeliği malzemelerinin özellikleri incelenmiştir. Betonarme elemanın dayanım ve dayanıklılığını önemli derecede etkileyen aderansın önemi belirtilmiştir.

Üçüncü bölümde, betonarme elemanın bozulmasına neden olarak dayanıklılığını etkileyen karbonatlaşma ve donatı çeliğinin korozyonu irdelenmiştir.

Sonuç bölümünde ise, tez kapsamında yapılan irdelemeler sonucunda, tüm iç ve dış etkilere karşı dayanıklı yapıların üretilebilmesi için tasarım ve üretim aşamasında alınması gereken önlemler açıklanmıştır.

ABSTRACT

The continuity of the positive properties of reinforced concrete element depends on its durability. Besides its ability to sustain loads, concrete is also required to be durable. The durability of concrete can be defined as its resistance to deterioration resulting from external and internal causes. The durability of concrete depends mainly on its permeability. There are different factors that affect the durability of reinforced concrete structures. The external causes include the effects of environmental and service conditions which concrete is subjected, such as weathering, chemical actions, frost and de-icing, carbonation, corrosion of reinforced concrete, etc. The internal causes are the effects of salts, in the constituent materials, interaction between the constituent materials, such as alkali-aggregate reaction, volume changes.

Embedded steel in reinforced concrete members is protected from corrosion by alkaline composition of the concrete which is provided mainly by the dissolution in the pore water of the Ca(OH)_2 . However, this positive property of the concrete may be lost in time due to carbonation of hydrated components of cement especially, Ca(OH)_2 which is converted to CaCO_3 with diffusion of CO_2 from the environment into the concrete pore system during carbonation process. This phenomenon is accepted one of the main factors determining the service life of the reinforced concrete members. As the corrosion of the reinforcement is one of the most important factor that negative influence the service life of reinforced concrete structures.

In this study, the factors which affect the durability of the buildings that are constructed with conventional and developed conventional systems whose structural

system is skeleton system, by spoiling the reinforced concrete elements are examined. The precautions which have to be thought of at design and production processes are explained. Especially, the carbonation and the corrosion of reinforcing bars which affect the resistance and the durability of the reinforced concrete member negative are examined.

In the first chapter, the importance of the joint made with reinforced concrete in the structural system of the building is defined. Also, the resistance and the durability of the reinforced concrete members are defined. The relation between the reinforced concrete member's durability and the construction system is studied. And the factors which affect its durability are examined.

In the second chapter, the properties of concrete and reinforcing bars which together form the reinforced concrete joint are studied. The importance of the adhesion which affect the resistance and the durability of the reinforced element is stated.

In the third chapter, the carbonation which affect the durability of the reinforced concrete member and the corrosion of the reinforcing bars are examined.

In the conclusion, the precautions which have to be taken in consideration during the design and production processes are explained in order to produce buildings which are resistant to internal and external affects.

İÇİNDEKİLER

Teşekkür.....	I
Özet.....	II
Abstract.....	IV
İçindekiler.....	VI
Tablo Listesi.....	X
Şekil Listesi.....	XI
Resim Listesi.....	XIII

BÖLÜM 1

1.1. Giriş.....	1
1.2. Yapının taşıyıcı sisteminde betonarme birleşimin önemi.....	9
1.2.1. Betonarme birleşimin yapılarda kullanımı ve geliştirilmesi.....	13
1.2.2. Betonarme birleşimin üstünlük ve sakıncaları.....	16
1.2.3. Betonarme elemanda dayanıklılık.....	16
1.3. Yapım sistemlerinin tanımlanması ve sınıflandırılması	17
1.3.1. İlkel yapım sistemleri.....	17
1.3.2. Geleneksel yapım sistemleri.....	18
1.3.3. Konvansiyonel yapım sistemleri.....	18
1.3.4. Rasyonelleştirilmiş geleneksel ve konvansiyonel yapım sistemleri	19
1.3.5. Kısmen endüstrileşmiş yapım sistemleri.....	20
1.3.6. Tam endüstrileşmiş yapım sistemleri.....	20
1.4. Konvansiyonel ve geliştirilmiş konvansiyonel yapım sistemlerine göre üretilen, taşıyıcı sistemi iskelet olan betonarme birleşimli yapıların taşıyıcı sistem ve yapım özellikleri	22

1.4.1. Konvansiyonel ve geliştirilmiş konvansiyonel yapım sistemlerinin özellikleri.....	22
1.4.2. İskelet sistemin özellikleri.....	25
1.5. Betonarme elemanın bozulmasına neden olarak dayanıklılığını etkileyen etkenler.....	26
1.5.1. Tasarım, yapım, bakım ve kullanım aşamasında dayanıklılığı etkileyen etkenler.....	28
1.5.2. Fiziksel etkiler.....	31
1.5.2.1. Çatlama.....	34
1.5.2.2. Donma ve çözölmeler.....	37
1.5.3. Kimyasal etkiler.....	39
1.5.3.1. Asit etkisi.....	46
1.5.3.2. Sülfat etkisi.....	48
1.5.3.3. Karbonatlaşma.....	53
1.5.3.4. Donatı çeliğinin korozyonu ve korozyondan kaynaklanan etkenler.....	53
1.5.3.5. Eriyebilir tuzlar-çiçeklenme (Efflorescence).....	54
1.5.3.6. Yangın etkisi.....	56

BÖLÜM 2

BETONARME BİRLEŞİMİNİ OLUŞTURAN BETON VE DONATI ÇELİĞİNİN ÖZELLİKLERİ

2.1. Beton ve donatı çeliğinin tanımı, sınıflandırılması.....	59
2.1.1. Betonun tanımı ve sınıflandırılması.....	59
2.1.2. Donatı çeliğinin tanımı ve sınıflandırılması.....	61
2.2. Betonun dayanımı.....	63
2.2.1. Beton dayanımını etkileyen etkenler.....	65
2.3. Betonun malzemeleri, üretimi ve korunumu.....	68
2.3.1. Betonun malzemeleri.....	68
2.3.1.1. Çimentolar.....	68
2.3.1.2. Agregalar (Kum-çakıl, taneli malzeme).....	72

2.3.1.3. Su.....	74
2.3.1.4. Beton katkı maddeleri.....	74
2.3.2. Betonun üretimi.....	76
2.3.3. Betonun korunumu	80
2.4. Beton ve donatı çeliğinin özellikleri.....	81
2.4.1. Betonun özellikleri.....	81
2.4.1.1. Betonun mekanik özellikleri.....	82
2.4.1.2. Betonun fiziksel özellikleri.....	85
2.4.1.3. Betonun kimyasal özellikleri.....	87
2.4.2. Donatı çeliğinin özellikleri.....	89
2.5. Betonda zamana bağlı deformasyon.....	90
2.5.1. Büzülme (Rötre).....	90
2.5.2. Sünme (Krip).....	94
2.6. Aderansın nedenleri ve aderansı etkileyen etkenler.....	95
2.6.1. Aderansın nedenleri.....	96
2.6.2. Aderansı etkileyen etkenler.....	97
2.6.3. Çatlama olayı ve aderans ile ilgisi.....	104
2.7. Kalıp.....	106

BÖLÜM 3

BETONARME ELEMANIN BOZULMASINA NEDEN OLAN KARBONATLAŞMA VE DONATI ÇELİĞİNİN KOROZYONUNUN DAYANIKLILIĞA ETKİSİ

3.1. Betonarme elemanda karbonatlaşma ve karbonatlaşma sonucu oluşan bozulmaların dayanıklılığa etkisi.....	107
3.1.1. Karbonatlaşmayı etkileyen etkenler.....	112
3.1.1.1. Su/çimento oranı.....	112
3.1.1.2. Kürleme (bakım) şartları.....	113
3.1.1.3. Çimento miktarı.....	113
3.1.1.4. Betonun su içeriği ve çevre nemi.....	114
3.1.1.5. Karbondioksit (CO ₂) yoğunluğu.....	114

3.2. Donatı çeliğinin korozyonu ve oluşan bozulmaların dayanıklılığa etkisi...	115
3.2.1. Korozyon türleri.....	116
3.2.1.1. Atmosfer korozyonu.....	116
3.2.1.2. Elektrolitik korozyon.....	117
3.2.1.3. Temas korozyonu (bimetal).....	119
3.2.2. Korozyonu etkileyen etkenler.....	119
3.2.2.1. Klorür korozyonu (Klorürlerin korozyona etkisi).....	120
3.2.2.2. Karbonatlaşmanın korozyona etkisi.....	123
3.2.3. Çatlakların korozyona etkisi.....	124
3.2.3.1. Çatlak içindeki korozyonun işlevleri.....	125
3.3. Betonarme elemanın bozulmasına neden olan karbonatlaşma ve donatı çeliğinin korozyonunun örnek yapılarda incelenmesi.....	127
3.3.1. Türk Hava Kurumu Paraşüt Kulesi, Kültürpark, İzmir.....	128
3.3.2. Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Binası, Bornova, İzmir.....	133
3.3.3. Beton Direkler, Alsancak, İzmir.....	135

BÖLÜM 4

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

4.1. Alınacak önlemler.....	137
4.1.1. Malzeme seçimi.....	141
4.1.2. Çimento miktarı.....	143
4.1.3. Betonun geçirimsizliği ve su/çimento oranının sınırlanması.....	144
4.1.4. Yeterli beton örtü kalınlığı (pas payı).....	147
4.1.5. Betonun hazırlanması, taşınması ve yerleştirilmesi.....	148
4.1.6. Bakım (kür) şartları.....	151
4.1.7. Denetim-kontrollük.....	152
4.1.8. Diğer önlemler.....	154
4.2. SONUÇ.....	156
5. Kaynaklar.....	159

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Kimyasal maddelerin betona etkisi.....	39
Tablo 2.1 Beton sınıfları ve dayanımları.....	61
Tablo 2.2 En küçük akma dayanımına göre donatı çeliği sınıfları ve mekanik özellikleri.....	62
Tablo 2.3 Beton özelliklerindeki değişiklik ve deney metotlarındaki uygunsuzlukların nedenleri.....	64
Tablo 2.4 Beton dayanımını etkileyen etkenlerin dayanıma yaklaşık etki oranları (%).....	65
Tablo 2.5 Betonun basınç dayanımını kazanmasında çimento tipinin ve zamanın etkisi.....	66
Tablo 2.6 Çimento tipleri ve özellikleri.....	69
Tablo 2.7 T.S.E. 19'a göre çimentoların dayanım özellikleri.....	70
Tablo 2.8 EN934-2 Avrupa Birliği standardına göre önerilen katkı maddesi tipleri.....	75
Tablo 2.9 Betonun özellikleri.....	85
Tablo 3.1 Atmosfer korozyonu.....	116
Tablo 3.2 Hava içindeki zararlı maddelerin korozyon hızına etkisi.....	117
Tablo 3.3 Beton içindeki donatının korozyonu.....	118
Tablo 3.4 Öneri olarak geçerli olan beton örtü tabakasının kalınlık değerleri...	125
Tablo 4.1 Çeşitli yapı tipi ve dış etkilere göre en büyük su/çimento oranı.....	145
Tablo 4.2 Zararlı etki derecesine göre izin verilebilecek en büyük su/çimento oranı ve su işleme derinliği değerleri.....	146
Tablo 4.3 Zararlı etki karşısında bulunan betonarme yapı elemanlarında minimum pas payı değerleri.....	147
Tablo 4.4 Betonarme elemanın dayanıklılığını olumsuz olarak etkileyen etki türleri ve önlemleri.....	158

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Türkiye genelinde taşıyıcı sistem ve yapı malzemesi cinsine göre yapılan yapılar.....	2
Şekil 1.2 Yük etkisi altında kalan taşıyıcı elemanın davranışı.....	11
Şekil 1.3 Döşemelerde basınç ve çekme gerilmelerinin oluşması sonucunda elemanın davranış biçimi.....	13
Şekil 1.4 1892 yılında Hennebique'nin önerdiği betonarme kolon-kiriş ve plak sistemi ana şemasından gelişen örnekler.....	15
Şekil 1.5 Etriyelerin ihmal edilmesi sonucu olabilecek hasar şekilleri a,b,c ve dış aks kolonlarında panel bölgesine etriye konulması gereği....	33
Şekil 1.6 Çeşitli yükler etkisinde oluşan karakteristik çatlak biçimleri.....	36
Şekil 1.7 Karakteristik çatlak örnekleri.....	37
Şekil 1.8 Sülfürik asit etkisi ile betonda oluşan bozulmalar.....	48
Şekil 2.1 Nervürlü çubuklar.....	63
Şekil 2.2 Hasır donatı.....	63
Şekil 2.3 Betonda basınç mukavemetinin sıcaklıkla değişmesi.....	66
Şekil 2.4 Beton basınç mukavemeti-zaman ilişkisi.....	67
Şekil 2.5 Beton basınç mukavemeti-bakım şartları ilişkisi.....	67
Şekil 2.6 Betonun yerleştirilmesi ve mukavemet ilişkisi.....	79
Şekil 2.7 Betonun basınç dayanımlarına göre σ - ϵ eğrileri.....	83
Şekil 2.8 Aderansı geliştirilmiş donatı çeliği örnekleri	97
Şekil 2.9 Paslanmanın aderansa etkisi.....	100
Şekil 2.10 Kenetlenme boyunun yetersiz olması nedeniyle kiriş alt yüzünde oluşan çatlaklar.....	101
Şekil 2.11 Aderans zayıflamasının elemanın taşıyıcılığına etkisi.....	105
Şekil 3.1 Beton örtü tabakası içinde pH değeri ile zaman arasındaki bağıntı...	109

Şekil 3.2	Elektro-kimyasal metal korozyonu.....	118
Şekil 3.3	Klorür korozyonu.....	120
Şekil 3.4	pH değerine bağlı olarak serbest klor iyonlarının zararlı konsantrasyonu.....	121
Şekil 3.5	Karbonatlaşma ve korozyonun kaymış olan eğrileri.....	123



RESİM LİSTESİ

Resim 1.1	Betonun su kusması sonucu yüzeyde su varken düzeltme, geçirgenliği artırıcı pütürlenme gibi bozulmalara neden olur.....	30
Resim 1.2	Mekanik etkilerle bozulmuş kolon.....	32
Resim 1.3	Dış etkilerle korozyonun ilerlemesi.....	32
Resim 1.4	Kolonda boyuna donatıya kanca yapılması.....	34
Resim 1.5	Çok sık aralıkla boyuna donatı konmuş kolonda aderans yokluğu çatlağı.....	34
Resim 1.6	Donma-çözülme sonucu betonda oluşan çatlaklar.....	38
Resim 1.7	Deniz suyu etkisi ile betonarme elemanda oluşan bozulma.....	44
Resim 1.8	Alkali-silika tepkimesi sonucunda betonda oluşan çatlaklar, kabarmalar, ufalanmalar ve dökülmeler.....	45
Resim 1.9	Sülfatın betona etkisiyle meydana gelen ve çimento basili olarak da tanımlanan bozulma.....	49
Resim 1.10	Sülfat eriyiğinde bırakılan beton numunede oluşan bozulma.....	50
Resim 1.11	Sülfat etkisi ile oluşan çatlaklar, kabarmalar ve dökülmelerin ardından betonun dağılması.....	51
Resim 1.12	Betonda beyaz lekelerle kendini gösteren çiçeklenme.....	55
Resim 1.13	Yangın etkisi sonucunda betonda meydana gelen bozulmalar.....	57
Resim 2.1	Yapay taşlardan, doğal kum ve çakılın çimento ile birleşmesi sonucu oluşan betonun gözle görülür yapısı.....	81
Resim 2.2	Yapay taş bir malzemenin boşluk dokusu.....	81
Resim 3.1	Karbonatlaşma ve donatı çeliğinin korozyonu etkisi sonucu betonarme elemanda oluşabilecek bozulma.....	111
Resim 3.2	Türk Hava Kurumu Paraşüt Kulesi, Kültürpark, İzmir.....	128
Resim 3.3	Paraşüt kulesinin balkonlarının döşemelerinde oluşan bozulma....	129

Resim 3.4 Balkon döşemesinde oluşan bozulmanın yakından görünüşü.....	129
Resim 3.5 Yapının taşıyıcı elemanının dış yüzeyinde taraklı mozaiklerde oluşan çatlaklar.....	130
Resim 3.6 Yapının taşıyıcı elemanının dış yüzeyinde taraklı mozaiklerde oluşan çatlakların yakından görünüşü.....	131
Resim 3.7 Betonarme birleşimli taşıyıcı eleman yüzeyinde oluşan çatlaklar ve kabarmalar.....	132
Resim 3.8 Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Binası, Bornova, İzmir.....	133
Resim 3.9 Açıkta bulunan kirişlerin alt alın yüzlerinde oluşan bozulma.....	133
Resim 3.10 Açıkta bulunan kirişlerin alt alın yüzlerinde oluşan bozulmanın yakından görünüşü.....	134
Resim 3.11 Beton direklerde karbonatlaşma etkisiyle oluşan bozulma, Alsancak, İzmir.....	135

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Giriş

Vitrivius'a göre mimarlığın üç ana ilkesi

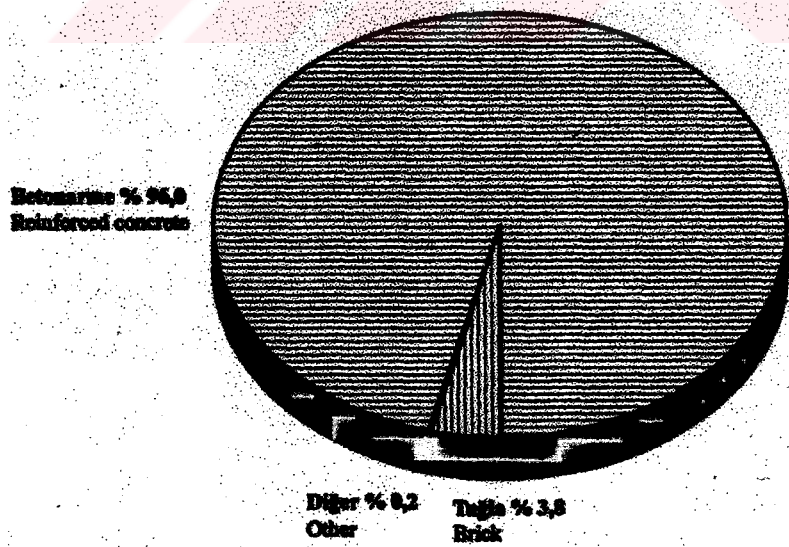
- Yararlılık – (Utilitas)
- Dayanıklılık – (Firmitas)
- Güzellik – (Venustas)

olarak belirlenmektedir. Buradaki dayanıklılık şüphesiz ki malzemenin uzun ömürlü, sağlam olması kadar yapı bütününe strüktürel sağlamlığını da ifade etmektedir. Mimarlıkta sanatsal yaratıcılık kadar, tasarlanan bir yapının tüm iç ve dış etkilere karşı servis ömrünü etkileyen dayanıklılığı da önem kazanır. Bu nedenle mimarlıkta işlevsellik, dayanıklılık ve estetik bir bütün olarak düşünülmelidir.

Hayatın var oluşundan beri tüm yaratıklar ve insanlar barınaklar inşa etme çabası içindedirler. İnsanlar bu amaçla değişik yapı malzemeleri ve bu malzemelerden oluşan birleşimleri kullanmışlardır. Taş, tuğla, kerpiç, briket, ahşap, çelik vb. gibi. Betonarme birleşimi ise bu yapı malzemeleri ve birleşimleri arasında en son katılanlardan biridir. Asırlar boyu kullanılmış diğer yapı malzemelerinden yalnız betonarme birleşimi tek başına değişik özellikler göstererek ayrılır. Bunun en önemli nedenlerinden biri ise betonarmenin eşsiz bir dökme malzeme ve biçimlenme sonucu taşıyıcı özelliğe sahip olmasıdır. Betonarme malzeme temelde dökülen sömellerden bir kabuk çatıya kadar bütünüyle tek bir parça haline dönüşür ve tek parça halinde çalışır.

İnsanların barınma ihtiyacı yapıyı çok eski tarihlerden beri üzerinde önemle durulan bir sorun haline getirmiştir. Yapı ihtiyacı, nüfus artışı, göçler, afetler ve yaşama standartlarının yükselmesi, mevcut barınakların eskimesi gibi sebeplerle devamlı olarak artmaktadır. İçinde bulunduğumuz yüzyılda “nüfus patlaması” diye adlandırılan, nüfusun geçmişe oranla çok fazla artması yapı sorununu çok ciddi bir şekilde ele alma zorunluluğunu ortaya koymuştur. Bugün kaynakların sınırlı oluşu, yapıyı çok sayıda üretebilmede, üretimin daha etkin hale getirilmesinin zorunlu olduğunu ortaya koymaktadır. Ülkemizde yatırımların büyük bir payına sahip inşaat sektöründeki sınırlı kaynakların çok dikkatli kullanılması gerekmektedir. İnşaatlarda yeterli denetimlerin yapılmaması, malzeme ve işçiliğe önem verilmemesi nedeniyle yapı kısa sürede bozulmakta ve istenilen amaca ulaşamamaktadır. Hataların çoğunlukla işçilik hatası ve yeterli organizasyonun sağlanamamasından kaynaklandığı gözlenmektedir.

Aşağıda şekil 1.1’de T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsünün 1997 yılında Türkiye genelinde taşıyıcı sistem ve yapı malzemesi cinsine göre yapılan yapıların yapı kullanım izin belgelerine göre (yapı sayısı) saptamış olduğu oranları gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Türkiye genelinde taşıyıcı sistem ve yapı malzemesi cinsine göre yapılan yapılar. (T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü, Bina İnşaatı İstatistikleri, 1997).

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi Türkiye’de yapılan yapıların taşıyıcı sistemlerinin %96’sını betonarme birleşimli iskelet yapılar oluşturmaktadır. Tez konusunun taşıyıcı sistemi betonarme birleşimli iskelet olan yapılar seçilmesinin nedeni, ülkemizde yaygın bir kullanım alanına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. İnşaat sektörünün çalışanlarının ve inşaat malzemelerinin oluşturduğu ekonomik pay, Türkiye ekonomisinde göz ardı edilmeyecek boyuttadır.

Betonun ilk günlerde hızla sertleştiği, 28 gün sonra belirli bir dayanım kazandığı, bundan sonra nemli ortamda korunması durumunda dayanımının artmaya devam ettiği bilinmektedir. Kazandığı bu dayanımı sürekli olarak koruyabilmek için dış etkilere karşı çok iyi korunması gereklidir. Bu da uygun olmayan agrega kullanmamak, çok akıcı kıvamda üretmemek, kalıba uygun vibrasyonla çok iyi bir şekilde yerleştirip boşluk kalmamasına özen göstermek, döküldüğü sıralarda prizini almadan don etkisinde bırakmamak vb. gibi önemli koruma önlemlerinin sağlanması ile mümkün olmaktadır. Çok iri agrega kullanılması, su oranının fazla olması, yeterli pas payı bırakılmaması ve betonun iyi vibre edilmemesi gibi nedenlerle betonarme elemanda oluşan boşluklar kesit zayıflamasına yol açmaktadır. Aynı zamanda boşluk etrafındaki gerilme yığılmaları, darbe etkisi, deprem etkisi veya yapının kullanım amacını değiştirerek projede öngörülen yüklerden daha fazla yükleme yapılması, bozulmalara neden olmaktadır. Betonarme malzemeli yapıların zamanla hasara uğrayarak bozulmaları taşıyıcı elemanların mukavemetlerini zayıflatmakta ve yapının kullanım ömrünü de önemli derecede azaltmaktadır. Proje ve hesaplara aykırı uygulama sonucu dayanımın çok altında sonuçlarla karşılaşılmasının nedenleri ise aşağıda belirtilmiştir:

- Yapım aşamasında şartname, standart ve yönetmeliklere aykırı uygulamalardan kaynaklanan etkenler,
- Beton hazırlama, taşıma ve yerleştirme işleminin hatalı bir şekilde yapılması,
- Çalışma ekiplerinin, işçilerin vasıfsız, bilgisiz, ehliyetsiz olmaları nedeni ile teknik kurallara uyulmaması, üretimin dikkat ve titizlikle gerçekleştirilmemesi,

- Su/çimento değerinin gereken miktarın üzerinde olacak şekilde çok akıcı kıvamda beton üretilmesi,
- Şantiye koşullarında beton karışım malzemelerinin istenen oranlarda ayarlanamaması ve beton dökümü sırasında kalite kontrolünün yapılmamış olması,
- Bakım aşamasında yeterli su ya da buhar kürü uygulanmaması, taze betonun dış etkilerden korunmamış olması, rötire çatlaklarının oluşması,
- Yapının kullanım amacının değişmesi nedeni ile projede öngörülen yüklerden daha fazla yüklerin etkisinde kalarak kılcal çatlakların oluşması,
- Donatı montajında proje ölçülerine ve sayısına uyulmadan eksik düzenleme yapılması, standartlarca öngörülen gövde donatısı, mesnet donatısı gibi eklemelerin ihmal edilmesi sonucu burkulma ve sehim etkileri ile çatlakların oluşması,
- Kimyasal karışım sırasında korozyonu arttıracak katkı maddeleri kullanılması,
- Betonarme elemanın dayanıklılığını ve dolayısıyla dayanımını da etkileyen kimyasal maddeler, atmosfer vb. gibi etkilerin malzemenin üretimi aşamasında ve kullanım aşamasında gerekli koruma önlemlerinin alınmaması.

Yukarıda belirtilen yapım hatalarından dolayı şantiye ortamında proje değerinden çok düşük çıkan bu sertleşmiş betonun dayanımının sonradan artırılma olanağı yoktur. Beton malzemenin yapısı gereği hazırlama, taşıma yerleştirme ve koruma işlemleri standartlara ve yönetmeliklere uygun olarak yapılırsa istenen, basınç dayanımının ve dayanıklılığının sağlanması ancak mümkün olur. Özellikle sanayinin hızla geliştiği son zamanlarda, çevrede meydana gelen çeşitli kirlilikler bir yandan ciddi boyutlarda insan sağlığını tehdit ederken, diğer taraftan da yapıları da etkileyerek şehirlerin görünümlerini bozduğu gibi aynı zamanda da bunların ömürlerini kısaltmaktadır. Yapı malzemelerini olumsuz yönde etkileyerek, bozulmalarına ve hatta belirli basınç dirençlerini kaybetme derecesine varan zararlara neden olmaktadır. Örneğin: Beton üzerinde olumsuz etkileri bulunan sular: endüstri artışı sular, bataklık suları, çok pis olan dere suları, deniz suyu, çeşitli lağım suları, içerisinde sülfat bulunan alçılı sular vb. Genelde tüm çevreyi etkisi altına alan, kirlilik etkeninin ortaya çıkışındaki en önemli neden, önlemsiz yapılan çeşitli sanayi

yapılarının üretimlerinin meydana getirdiği duman, gaz ve artık suları gibi kirlilikten meydana gelmeleridir. Yapıları etkileyen çeşitli kirlilikler ise hava kirliliği, su kirliliği, gaz ve duman kirliliği, organik asitlerden meydana gelen kirlilikler, yağ ve şekerli madde artıklarının neden oldukları kirlilikler, bulaşık ve artık suların neden oldukları kirliliklerdir. *Yapılar çeşitli etkiler altında kalarak, zaman içerisinde eskime gösterirler. Atmosferik koşullar altındaki malzeme mekanik aşınmalara fiziksel ve kimyasal değişimlere uğrayabilmekte, belirli ortamların varlığında biyolojik tahribata bile maruz kalmaktadırlar. Genel olarak her malzemenin bir ekonomik ömrü söz konusu olmakla birlikte; malzemenin bilinçli seçimi, doğru detaylanması ve sağlıklı uygulanması malzemenin gerek dış ve gerekse iç mekanlarda daha uzun süre devamlılığını sağlamaktadır. Yani çeşitli malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenerek normal ve olağan üstü koşullardaki yetenekleri veya zayıf yönleri tespit edilmektedir. Bunun sonucunda uygun malzemenin seçimi içgüdüsellikten arınarak; sanatsal, estetik tercihlerin yanında teknik yönden de olumlu bir yaklaşımla seçilmekte zayıf yönleri bulunan malzemelerse güçlendirilmektedirler. Malzemenin sağlıklı seçimi ve uygun koruma yöntemleri ile yapı ömrü uzatılmaktadır. Sağlıklı seçimlerin yapılabilmesi iyi bir malzeme bilgisi; malzemeyi koruma ise zararlı etkenlerin iyi tanımlanması ile mümkündür. Bu nedenle günümüzde tasarımcıların yapıları daha uzun süreli yaşatabilmeleri, malzeme bilgisi ile orantılı seçim ve onu koruma yöntemlerinin bilinmesi faktörleri ile ilgilidir. (Reman, 1996, s.76).*

Prizini yapmış betonların bozulabilmeleri için, yeteri kadar geçirgen olmaları gerekir. Her ne kadar geçirimsiz denebilecek derecede betonlar yapılabiliyorsa da hemen hemen bütün betonarme yapılarda rötire ve çeşitli süreçlerden doğan ve kaçınılmaz sayılabilecek olan çatlaklar meydana gelmektedir. Çatlaklar betonun bozulma hızını artırıcı bir etki yapar. Bozulma yalnız çimento harcının cinsine değil, aynı zamanda, suda erimiş maddelerin oranlarına ve cinsine de bağlıdır. Örneğin: Karbonik gazlar, kalsiyum ve magnezyum tuzları bu olayda temel rolü oynarlar. Ayrıca betonla temasta bulunacak suların incelenmesi zorunludur. Betonu olumsuz etkileyen zararlı kimyasal maddeler doğada, su içinde çözünmüş olarak, zeminlerin içinde veya çeşitli kaynaklardan oluşan gaz halindeki maddeler, atmosfer içinde

bulunarak, yapıların beton bölümleri üzerinde zararlı etki yapabilirler. Betonarme yapıların kullanımı sırasında olumsuz çevre koşullarının etkisi ile ortaya çıkan bozulmalar: Yağmur suları, kimyasal atıklar, don olayı, klorid etkisi, alkali-agrega reaksiyonları, karbonasyon olayı gibi nedenler beton ve çelik donatıda bozulma yaparak taşıyıcı elemanın dayanımını ve dayanıklılığını azaltan kimyasal etkilere dendir. Bütün bu etkenlere karşı koruma gereği daha yapım aşamasında ortaya çıkar. Her taşıyıcı elemanda bu nedenlerle oluşan hata ve bozulmanın önlenmesi, ancak teknik kurallara uymakla mümkün olabilir. Betonarme yapının tümünün korunması, onu oluşturan taşıyıcı elemanların korunması ile sağlanabilir. Bu da daha o eleman üretilirken kullanılan malzeme ve üretim tekniğinin bilim kurallarına, ilgili standardında belirtilen teknik kurallara uymakla mümkündür.

Kimyasal bozulmanın en önemli nedenlerinden biri korozyon olayıdır. Beton hidratasyonda $pH=12.5$ değeri ile bazik ortamdır. Bu pH derecesinin düşmesi asidik ortam nedeni ile çelik donatının korozyonuna neden olur. betonarme malzeme genellikle dayanıklı ve maliyete etkin bir malzeme olarak kabul edilmektedir. Çünkü klor ve karbondioksit gibi agresif etkenlerin yokluğunda, çimento hamurunun yarattığı alkalın ortam, çeliğin etrafında koruyucu ve pasifize edici bir tabaka oluşturarak çeliği korozyona karşı korur. Olumsuz etkenlerin bulunmadığı koşullarda, bir yapının bakım gerektirmeden veya çok az bakımla proje ömrüne ulaşması için gereken tek şey, yeterli pas payı ve kaliteli bir betondur. Ancak kötü ortamlarda kaliteli beton bile yeterli koruma sağlayamaz ve çelik paslanmaya başlayabilir. Korozyon ürünlerinin hacmi çeliğin hacminin 2-4 katıdır ve oluşan iç basınçlar betonun çatlamasına neden olur. Sonuç olarak, tabakalar çözülür ve parçalanma meydana gelir, çeliğin taşıyıcı kesit alanı azalır ve beton yapıların bütünlüğü kaybolur.

Betonarme elemanın bozulmasının diğer en önemli nedeni olan karbonatlaşma, havadaki karbondioksitin su buharı ile birleşerek, seyreltik bir hidroklorik asit oluşturması ile başlar. Bu hidroklorik asit, betonun doğal alkali yapısını yavaş, yavaş nötralize eder. Betonun asitle karşı karşıya kalması ile birlikte pH, 12'den 6-7 düzeyine düşmeye başlar ve betonda karbonatlaşma görülür. Karbonatlaşma, betonun

delikli hale gelmesine, bunun sonucunda da yapısına su alarak korozyona uğramasına neden olur. Karbonatlaşma nedeniyle milyarlarca lira değerindeki binalar risk altında bulunmakta ve günümüzde bu olay büyük bir ilgi alanı oluşturmaktadır. Dünyanın atmosferinde yaklaşık olarak %0.03 karbondioksit vardır. Az miktarda olmasına karşın çimentonun bileşimindeki kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek kalsiyum karbonat biçiminde nötrleşir. Bu kalsiyum karbonat sertleşerek beton yüzeyinde sağlam bir kabuk oluşturur, ancak bu işlem yüzeyde kalmaz ve devamlı tekrarlanan reaksiyon sonucu betonun içine de yavaş yavaş etki eder. Betonda bu kimyasal işlem karbonatlaşma olarak bilinir. Bunun gibi betonun hatalı hazırlanmasından ve kalıba uygunsuz yerleştirilmesinden doğan boşluklar, yapım hatalarından oluşan çatlaklar bu etkilerin artarak büyümesine, beton içine nüfuz etmesine neden olurlar.

Yapılar plan organizasyonları, estetik üstünlüğü yanında sağlıklı detaylarla ve kaliteli işçilikle üretilmelidir. Özellikle malzemenin bilinçli seçimi, uygulanması; yapının uzun yıllar problemsiz olarak ayakta kalmasını sağlamaktadır. Bu nedenle çoğunlukla yeni yapılarda da gördüğümüz eskimiş, yıpranmış dökülmüş, çürümüş, yerinden düşmüş, nem çekmiş vb. gibi sorunlar yapıların çok kısa sürede eskimesine ve problem çıkartmasına neden olmaktadır. Bu sorunlar kullanıcıya maddi açıdan ve hatta sağlık açısından da etkili olabilmektedir. Bu nedenle yapı malzemelerinin yetenek ve kendisini olumsuz etkileyebilecek etkenler karşısındaki davranışlarının, özelliklerinin bilinmesi, kullanılacağı yerde en uzun servis ömrünü sağlayabilmesi bakımından önemlidir.

Betonarme yapılar genel çizgileriyle bütün dünyada uygulanabilen, kullanılabilen ve teknik sınırları tanımlanmış ortak özellikler göstermektedir. Bu ortak özellikler kullanılma yerleri ve kullanılma amacı benzerliklerinden dolayı benzer uygulama tekniklerini gerektirir. Betonun belli bir süre geçtikten sonra katılaşp, sertleşen bir özelliğe sahip olması nedeniyle, uygulama teknolojisindeki gelişmişlik maliyetleri ve sonunda yapının kullanımı, amaca uygunluğunu ve sağlamlığını olumlu ya da olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca ülkemizin deprem kuşağında bulunması, konunun önemini arttırmaktadır. Bütün bunlar göz önüne alındığında, betonarme yapılarda teknik ve teknolojinin gelişiminden yararlanmanın gereğini, uygulamalara

standart getirme, denetim ve ilginin artırılmasının önceliğinin hiçbir zaman unutmamamız gerekmektedir. Ancak, bugün nüfus artışına paralel olarak büyüyen kentlerimizde yapıların çoğu dayanıksız yapılardır. Atmosferik koşullardan, ısı değişimlerinden, depremde kaçabilmek mümkün değildir. Ancak yapının dayanımını ve dayanıklılığını olumsuz yönde etkileyebilecek etkenlere karşı güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu araştırma sürecinde yapılan incelemeler sonucunda belirlenen yapıım hatalarının ve bozulmaların standartlara ve yönetmeliklerde belirtilen kurallara uyulmamaktan kaynaklandığı görülmektedir. Bu konu, ülkemizde en kısa zamanda aşılması gereken en önemli konulardan biridir. Çünkü, ülkemizde gerek konut gerekse diğer kullanım amaçlı yapılara olan ihtiyaç her gün hızlı bir artış göstermektedir. Gecikilen her gün on binlerce metre kare denetimsiz yapı demektir.

Betonarmenin olumlu özelliklerini sürdürebilmesi dayanıklı olmasına bağlıdır. Bu nedenle betonun, betonarme birleşimli yapıların bozulmasına neden olarak dayanıklılığını etkileyen etkenleri bilmek ve bunlara karşı gereken önlemleri almak çok önemlidir.

Bu çalışmada amaç; konvansiyonel ve geliştirilmiş konvansiyonel sistemlerle üretilen, strüktür sistemi iskelet olan yapılarda betonarme elemanın bozulmasına neden olarak dayanıklılığını etkileyen etkenleri irdelemektir. Uzun yıllar zarar görmeden işlevini yapacak dayanıklı betonarme birleşimli yapıların gerçekleştirilebilmesi için tasarım ve üretim aşamasında alınması gereken önlemleri açıklamayı hedeflemektedir. Özellikle bu çalışmada betonarme elemanın dayanım ve dayanıklılığını olumsuz olarak etkileyen karbonatlaşma ve donatı çeliğinin korozyonu irdelenecektir. Ayrıca projelendirmede; detaylandırma ve malzeme seçimi, uygulamada da; işçilik ve üretim hatalarının bozulma hızını artırıcı etkisi araştırılacaktır. Bu hataların en aza indirilebilmesi ve hataların tekrar edilmesini önleyebilmek için proje aşamasından yapıım sonuna kadar yapıların teknik kurallara, standart ve yönetmeliklere uygun olarak üretilmelerinin gerekliliği ve uyulmaması durumunda oluşabilecek bozulmaların betonarme malzemenin dayanım ile dayanıklılığını olumsuz olarak nasıl etkilediği açıklanacaktır. Bu çalışmada belirtilen

konulara dikkat edilmesi sonucunda özellikle deprem bölgesinde olan ülkemizde yeterli dayanım ve dayanıklılığa sahip, mantıklı bir zaman süreci içinde “kalıcı” denecek kadar uzun ömürlü olmalarını sağlayacak, en az bakımı gerektirecek betonarme birleşimli iskelet yapıların üretimi mümkün olacaktır.

Tezde betonarme yapı malzemesi, iki farklı ana yapı malzemesi olan beton ve donatı çeliğinin birleşimi sonucunda elde edildiğinden “betonarme birleşim” ifadesinin kullanımı tercih edilmiştir. (Betonarme birleşimin detaylı tanımı için bkz. Bölüm 1.2).

Bu çalışmada verilen örnek yapılardaki betonarme elemanlarda oluşan bozulmaların nedenleri, bozulmanın yapının taşıyıcı elemanının yüzeyinde kendini gösterme şekli dikkate alınarak, gerekli gözlem ve incelemeler yapılarak irdelenmiştir. (Bkz. Bölüm 3.3). Bozulma nedenlerinin kesin teşhisi için laboratuvar da gerekli deney çalışmalarının yapılması ise tez kapsamı dışında kabul edilmiştir.

1.2. Yapının taşıyıcı sisteminde betonarme birleşimin önemi

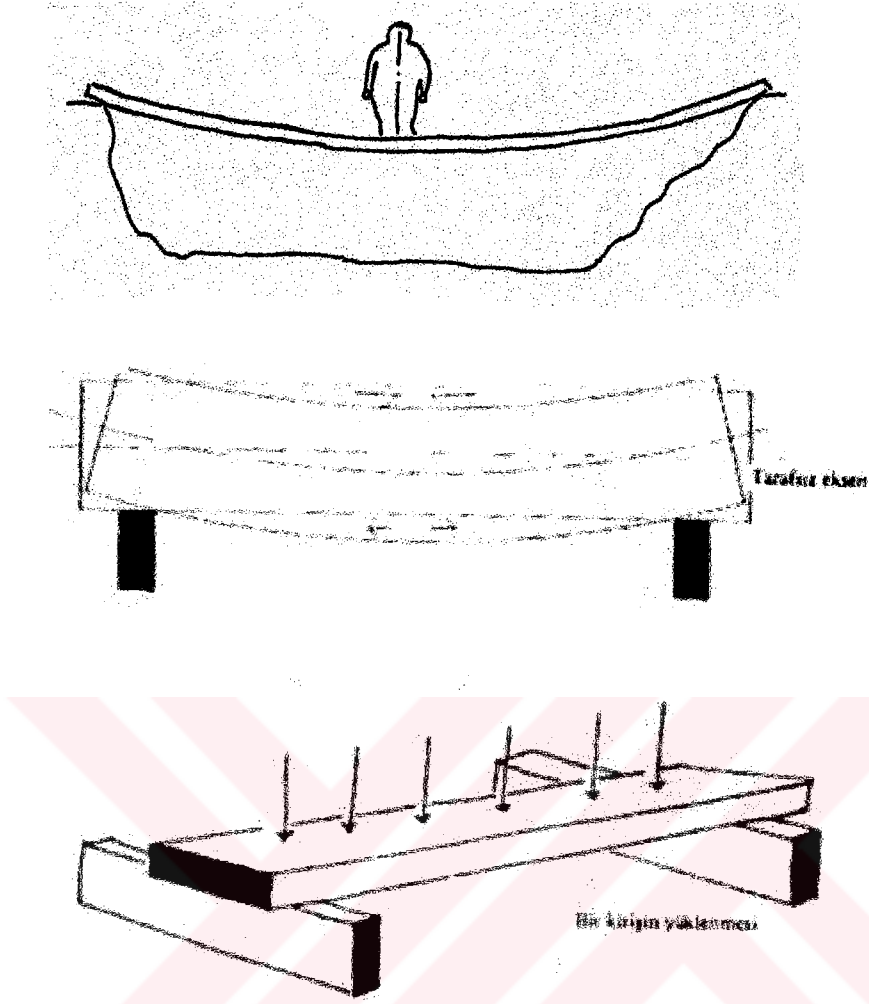
Beton ve çelikten meydana gelen birleşime “betonarme” adı verilir. Bu ad Fransızca’dan alınmış olup “donatılmış beton” anlamındadır. Betonarme, beton ve çelikten meydana getirilen ve bu iki malzemenin birbirine iyice bağlanarak dış kuvvetlere karşı ortak çalışmaları sağlanmış bulunan bir yapı malzemesidir. T.S.E. 500’e göre “çelik çubuklar ile betonun birbirinden ayrılmayacak bir biçimde birleşmesi ile, çelik ve betonun zorlamaları birlikte çalışarak karşıladıkları bileşik bir yapı malzemesidir.” (T.S.E. 500, 1984, s.1). T.S.E. 1248’e göre ise, “beton, çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin uygun oranlarda ve homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamlı olup, zamanla çimentonun hidratasyonu sebebiyle katılaşp sertleşen bir yapı malzemesidir.” (T.S.E. 1248, 1984, s.1). Betonarme, uzun araştırmalar ve laboratuvar deneyleri sonucunda bütün özellikleri iyice tanındıktan, uygulamalarla yeteri kadar denendikten sonra, tekniğin her alandaki ilerlemesine de uyarak hızla gelişmiş; şehirlere biçim verecek kadar çok

ve çeşitli yerlerde kullanılan, yapı sanatına yeni ufuklar açan bir yapı malzemesi olmuştur. Betonarme yapılar, betonun temelden çatıya kadar, ara verilen yerlerde eklenecek şekilde sürekli olarak dökülmesi ile tek bir parça (monolitik) olma durumundadırlar. Kirişler, kolonlar, bütün elemanlar birbirlerine bağlıdırlar. Bu özelliği nedeniyle bir eleman çok yüklenirse öteki elemanların da yardımı sağlanır ve yapı rüzgar, titreşim, deprem etkilerine karşı koyacak bir nitelik kazanır. *Beton ve çeliğin bileşik bir yapı malzemesi olarak birlikte kullanılabilimleri aşağıda belirtilen bazı fiziksel özelliklere sahip olmasına da bağlıdır:*

- *Beton çeliği pastan korur*
- *Betonla, dökülürken içinde bulunan çelik çubuklar arasında bir bağlantı (aderans), meydana gelir. Böylece çelik ve beton beraber uzar ya da kısalırlar, başka bir deyişle birlikte çalışırlar.*
- *Çelik ve betonun sıcaklıkla uzama katsayıları yaklaşık olarak aynıdır. Sıcaklık değişince aralarındaki bağlantı bozulmaz, zararlı gerilmeler ortaya çıkmaz. (Aka&Keskinel&Arda, 1976, s.2).*

Yapı malzemesi olarak yapıların taşıyıcı sisteminde kullanılan betonarme birleşiminin dayanım ve dayanıklılık özelliklerinden önce statik bir açıklamanın yapılması konunun önemini belirtmek açısından yararlı olacaktır.

İki mesnet arasında uzatılmış bir basit kiriş çelikten, ahşaptan veya betonarme malzemeden üretilmiş olabilir. Böyle bir kiriş kendi yükü ve üzerine konacak yüklerin etkisi ile aşağıya doğru sarmak isteyecektir. Bu yay gibi sarmak durumunda kirişin bünyesinde iki değişik yönde güç doğar. Kirişin alt yüzü uzama, çekme, kopma, çekme yüzünden yırtılma gibi bir etki altında kalırken, kirişin üst yüzü ise tam tersine bir itilme ve basınç etkisi altında kalır. Bu iki etkinin tam ortasındaki eksen ise itme ve çekmenin dışında tarafsız kalır. (Bkz. Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Yük etkisi altında kalan taşıyıcı elemanın davranışı

Statikte kirişin alt kısmı çekme gücü etkisinde kalırken, kirişin üst kısmı ise basınç etkisinde kalır. Betonarme, çelik ile betonun birbirlerini tamamlayan çalışma özelliklerinden yararlanılarak üretilen bir malzemedir. Çelik çekmeye çalışırken beton ise basınca çalışır. Bu çalışma özelliklerinden dolayı, taşıyıcı eleman basınca çalışan bölgelerinde beton, çekmeye çalışan bölgelerinde ise çelik kullanılarak, yapılan hesaplara göre kalıplar aracılığıyla şekillendirilerek üretilir.

Betonarme birleşimden üretilmiş bir elemanın dayanım ve dayanıklılığını etkileyen etkenlere karşı sağlıklı çözümlerin üretilebilmesi için beton ve betonarme birleşimin davranışlarının da iyi bilinmesi gerekir.

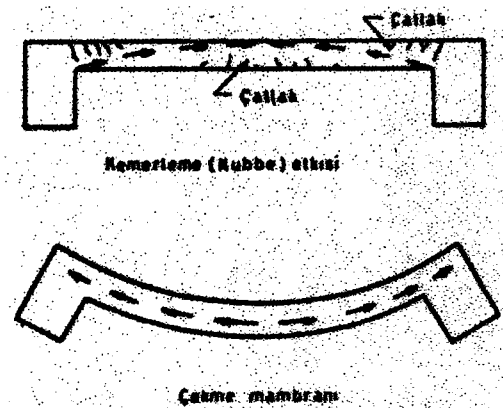
Beton düktil (gevrek) bir malzemedir ve diğer gevrek malzemelerde olduğu gibi, çekmeye karşı dayanıklılığı basınca oranla çok düşüktür. Boyutlandırma hesaplarında bu nedenle, betonun çekme gerilmesi almadığı varsayılır. Betonun davranışı ile ilgili bilgiler, genellikle küp, silindir, prizma biçimindeki beton numuneler üzerinde yapılan standart-basınç deneyleri ile sağlanır. Rötire ve sünme, betonda zamana bağlı önemli deformasyonlar oluşturur. Betonarme birleşimin özellikleri kiriş, kolon, döşeme gibi taşıyıcı elemanların davranış ve dayanımlarını önemli ölçüde etkiler. Her bir taşıyıcı elemanın davranışı ise aşağıda incelenmiştir.

- *Kirişlerin davranışı ve dayanımı: Uygulamada kirişler genellikle az donatılı olarak yapılır. Az donatılı kiriş, taşıma gücüne, donatının akma limitine gelmesi ile ulaşır. Kirişin dayanımını belirleyen en önemli öge çelik donatı olduğundan, kirişin kırılma anındaki davranışı oldukça düktildir, yani kırılma büyük deformasyonlar oluşturduktan sonra meydana gelir.*

- *Kolonların davranış ve dayanımı: Kirişler, taşıma gücüne donatının akması ile ulaştığından, beton dayanımının ve betonun (gerilme-deformasyon) özelliklerinin, kiriş dayanımı ve davranışı üzerine büyük etkileri yoktur. Kolonlardaki durum ise çok daha değişiktir. Monolitik bir yapıda, kolon davranışını diğer taşıyıcı elemanlarda etkilemektedir. Eksantrik basınç etkisinde bir kolonun kırılma şekli belli bir orana bağlıdır. Bu oran büyük ise, kolon, taşıma gücüne, donatının akması ile ulaşacak ve kolon davranışı kiriş davranışına benzer bir davranış gösterecektir. Bu oranın küçük olması durumlarında ise, donatı akma limitine erişmeden, “kırılma olayı” betonun ezilmesi ile oluşacaktır. Bu tür kısaltmada esas olan betonun davranışudur.*

- *Döşemelerin davranış ve dayanımı: Betonarme döşemeler için kullanılan elastik ve yaklaşık yöntemlerin gerçekçi sonuçlar vermediği yıllardan beri bilinmektedir. Yapılan deneylerden alınan sonuçlar, döşeme taşıma gücünün, elastik yöntemlerle hesaplanamayacağını kesinlikle kanıtlamıştır. Buna karşılık döşeme donatısının akma limitine ulaştığı andaki yük, “Akma çizgileri teorisi” ile çok gerçekçi olarak hesaplanabilmektedir. Bu teori döşemenin gerçek davranışını esas*

almakta ve donatının aktığı noktaları birleştiren çizgileri, akma çizgileri olarak tanımlamaktadır. (Çamlıbel, 1984, s.27-33).



Şekil 1.3 Döşemelerde basınç ve çekme gerilmelerinin oluşması sonucunda elemanın davranış biçimi. (Çamlıbel, 1984, s.33).

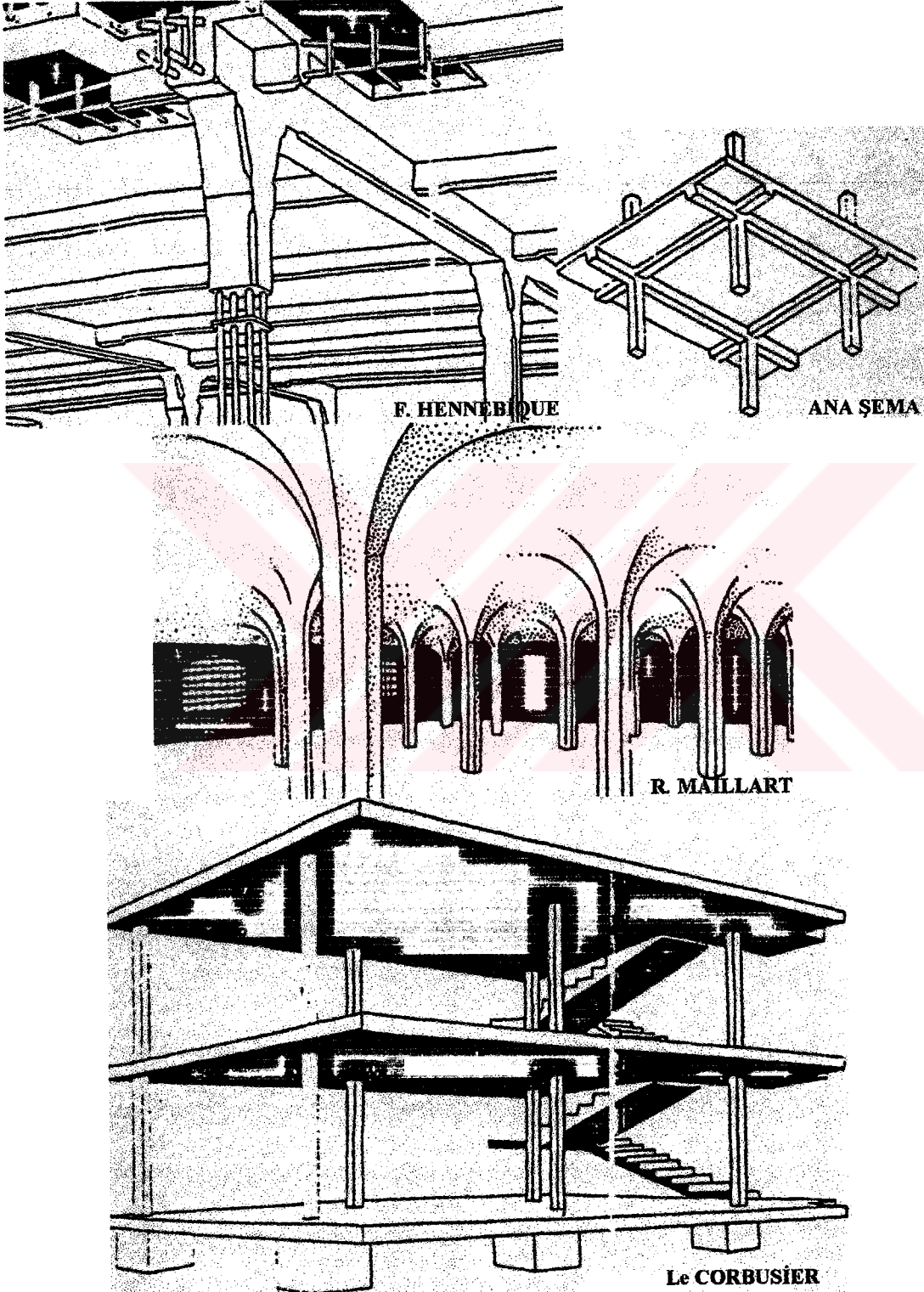
Betonarme birleşimden üretilen kiriş, kolon ve döşeme gibi taşıyıcı elemanlarda oluşabilecek, yapının görünüşünü bozacak veya donatının aşırı korozyonuna neden olabilecek çatlak genişliklerine izin verilmemelidir. Çatlama betonarmede kaçınılmaz bir sonuç olduğuna göre, çatlak genişliklerinin de hesaplanarak, yönetmeliklerde belirtilen değerleri geçmediği gösterilmelidir. Çatlama betonarme bir elemanın eğilme rijitliğini ve dayanıklılığını önemli derecede azaltır.

1.2.1. Betonarme birleşimin yapılarda kullanımı ve geliştirilmesi

Doğal çimento çok eski çağlarda insanlar tarafından kullanılmıştır. Eski Asurlular ve Babillerin en sık kullandıkları bağlayıcı madde kildi. Mısırlılar, bağlayıcı olarak kireç ve jips (alçıtaşı) kullanarak bugünkü betona benzeyen bir malzeme geliştirmişlerdir. Romalıların opus caementicum'u ve Osmanlıların horasanı da betona benzer malzemelerdi. Kireçtaşı, tebeşir ya da kimi yerlerde ıstırdye kabuklarından elde edilen kireç (kalsiyum oksit), 1800'lerin başına kadar başlıca bağlayıcı madde olarak kalmıştır. 18. yüzyılın sonlarına doğru John Smeaton adlı bir İngiliz, sönmemiş kireçle kil karışımının su etkisiyle katılaştığını görerek 1774'te yaptığı bir deniz fenerinin temelinde bu buluşundan yararlanmıştır. 1800 yılında Vicat adlı bir Fransız kimyacı kil ve kireç tozlarını birlikte yakarak bir tür çimento elde etmiştir. 1824'te İngiliz Joseph Aspdin ise kireçtaşı ve kil karışımını

kavurduktan sonra öğütürerek Portland çimentosu olarak adlandırılan karışımı bulmuştur. Beton eğilmeye karşı dayanıklı olmadığı için, çekme kuvvetini karşılayacak bir gereçle güçlendirilmesi gereği ortaya çıkmıştır. Betonarme ilk olarak 1849 yılında Lambot tarafından Seine nehrinde yüzdürülen küçük bir teknede kullanılmıştır. W.B. Wilkinson 1854'te demirle donatılmış beton döşemenin patentini almıştır. 1855'te Fransız François Coignet buna benzer bir patent alarak, 1861'de bu yöntemle beton kirişler döktürmüştür. 1867'de Fransız Joseph Monier, demir çubuklarla veya hasırla donatılmış betondan saksılar yapmış, sonradan bu buluşunu yapıya da aktarmıştır. J. Monier'in patenti büyük bir başarı kazanmıştır. İlk olarak Koenen demirin çekme, betonun basınç kuvvetlerini karşıladığını açıklamıştır ve 1886'da ilk betonarme teorisini yayınlamıştır. Bugünkü şekliyle betonarmeyi ilk olarak Fransız mühendis Hennebique 1892'de bulmuştur. Fransa'da Hennebuque demir ve betonun rollerini açıklamada ilk uyarıyı yapan kişi olmuştur. Betonarme birleşimden üretilen yapının bir bütün olarak çalıştığını 1892'de açıklamıştır ve T kirişini keşfetmiştir. Ayrıca betonarme kirişlerde ilk defa etriye kullanmıştır. 1894-1904 yılları arasında Avrupa'da yapılan betonarme yapılarda Hennebique yöntemi uygulanmıştır. Şekil 1.4'de Hennebique'nin önerdiği kolon-kiriş ve plak sistemi ana şemasından gelişen örnekler gösterilmektedir. İlk betonarme yapılar fabrikalar, silolar, depolar ve demir yolu yapıları olmuştur. Betonarmenin ilk mimari örnekleri arasında Anatole de Baudot'nun Paris'te 1894'te yaptığı St. Jean l'Evangéliste kilisesi vardır. 1897'de François le Coeur, Clair Fontaine'de betonarme bir kubbe inşa etmiştir. 1898-1899 yıllarında Hennebique, mimar Arnaud'ya, Rue Danton'daki evini betonarme olarak yaptırmıştır. Rabut, 1897'de, dünyada ilk kez, betonarme dersleri vermiştir. Betonarmenin ünlü uygulayıcıları arasındaki ilk isim Auguste Perret olup 1911'de Paris'te Franklin sokağında yaptığı ev ile betonarmenin sivil mimaride yaygın olarak kullanılmasını başlatmıştır. 1904-1914 yıllarında betonarmenin tam bir güvenlikle kullanılmaya başlandığı dönemdir. İsviçreli mühendis R. Maillart kolon-kiriş sistemine ek olarak, kolon-döşeme sistemini geliştirmiş, Freyssinet ise parabolik kemer ve döşeme yapımını geliştirerek Orly'deki hangarlarda uygulamıştır. Bu yöntemin ilginç yanı duvar ve döşemenin bir bütün oluşturmasıdır. Daha sonra Maillart ince betonarme plaklardan meydana gelen çok zarif köprüler kurmuştur. Bu arada Alman mühendis Dishinger ince cidarlı kabuk

yapımını geliştirmiştir. 1950'den sonra betonarme Nervi, Torroja gibi sanatçı mühendislerin elinde büyük bir plastik değer kazanmıştır.



Şekil 1.4 1892 yılında Hennebique'nin önerdiği betonarme kolon-kiriş ve plak sistemi ana şemasından gelişen örnekler.

1.2.2. Betonarme birleşimin üstünlük ve sakıncaları

Betonarme birleşimin diğer yapı malzemelerine üstünlüklerini aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- *Betonun ucuz olması nedeniyle betonarmenin de oranla ucuz olması,*
- *Betonun çeliğe sağladığı koruma nedeniyle yangına karşı dayanımlı olması,*
- *İklim koşullarına dayanımlı olması,*
- *Çok amaçlı ve istenilen şekil verilerek kullanılabilmesi,*
- *Betonun basınç dayanımı ve çeliğin çekme dayanımını en uygun şekilde kullanabilecek tasarımlara olanak sağlaması.*
- *Çelik nedeni ile taşıyıcı elemanlarda gerekli sünekliğin sağlanabilmesi,*

Bazı sakıncaları ise:

- *Ağır bir yapı malzemesidir. Büyük açıklıklarda ve yüksek yapılarda kendi ağırlığı sorunlar doğurabilmektedir.*
- *Yapım süresinde iklim koşullarına bağımlı olabilmektedir.*
- *Betonarme bir yapıda değişiklikler yapmak, onarım ve kuvvetlendirme gereklerini yerine getirmede sorunlar doğurmaktadır.*
- *Sökülüp tekrar kullanılması olanaksızdır. (Yorulmaz, 1989, s.48-49).*

1.2.3. Betonarme elemanda dayanıklılık

Yapı malzemelerinin işlevlerini uzun yıllar boyu bozulmadan yerine getirebilmelerine dayanıklılık, kalıcılık veya durabilite adı verilir. Basınç dayanımıyla dayanıklılık kavramlarını birbirine karıştırmamak gerekir. Amerikan Beton Enstitüsünün (ACI) yayınladığı “Dayanıklı Beton Rehberi”nde betonun dayanıklılığı, “betonun aşınmaya, kimyasal maddelerin yıpratıcı etkisine ve diğer her türlü bozunum oluşturuca etkilere karşı dayanıklı olması” biçiminde tanımlanmaktadır. Genellikle basınç dayanımının yüksekliği ve yüksek dayanıklılık kavramları birbirine karıştırılmaktadır. Örneğin yüksek dayanıma sahip beton

oldukça dayanıksız olabilir. Ancak betonun dayanıklı olmasına dayanımın önemli derecede etkisinin olduğu da unutulmamalıdır.

Betonarme elemanın dayanıklılığını etkileyen bozulma çoğunlukla tek bir nedene bağlanamaz. Dayanıklılığı etkileyen birçok etken bulunmaktadır. Birkaç etkinin bir arada oluşması sonucu betonarme elemanların umulmadık kısa sürelerde bozulduğunu görmek olanaklıdır. Ancak betonun dayanıklılığı büyük ölçüde geçirimsizliğine bağlıdır. Geçirimsizliği düşük olan betonun dayanıklılığının arttığı bilinen bir gerçektir.

1.3. Yapım sistemlerinin tanımlanması ve sınıflandırılması

Yapı, özellikle konut üretiminde, teknolojilerin değişimi, malzeme çeşitlerinin artması, istemlerin değişimi ve artması gibi etkenlerden dolayı değişik yapım sistemleri ortaya çıkmıştır. Bu yapım sistemlerinin oluşumu belirli bir gelişim süreci içinde gerçekleşmiştir. İlkel yapım sistemlerinden, prefabrik yapım sistemleri ile yapı üretimine kadar geçen süredeki teknolojik, sosyal ve iş idaresi ile bir çok etkendeki ilerlemeler her aşamada yapım sistemlerini de etkilemiştir. Ancak gelişim sürecine göre de olsa sınıflandırmada iki farklı ayırıcı yapım sistemi göze çarpar. Bu ana yapım sistemleri; konvansiyonel ve endüstrileşmiş yapım sistemleridir. Bu ayrıma karşın sistemler birbirinin içine girmiş bulunmaktadır. Her iki sistemde günümüzde uygulanabilir olabilmeleri için birbirlerinden kesin bir çizgiyle ayrılamazlar. Bu gelişim içinde, farklı uzmanlar tarafından farklı yapım sistemleri sınıflamaları yapılmıştır. Bunlardan Prof. Dr. Ç. Türkçü'nün yapım sistemleri sınıflaması ise şöyledir:

1.3.1. İlkel yapım sistemleri

Yapı malzemesi yakın çevreden toplanan malzemelerle hemen hemen doğadan elde edildiği biçimde veya çok az işlenmiş olarak kullanılır. İş bölümünün söz konusu olmadığı, üretimin bireysel olduğu, tüm işlemlerin şantiyede geçtiği sistemlerdir.

1.3.2. Geleneksel yapım sistemleri

Uzun yıllardan beri denenmiş ve alışlagelmiş yöntemlerle, yöresel malzeme kullanılarak gerçekleştirilen sistemlerdir. Bu yapım sisteminin mimari özellikleri şöyle özetlenebilir:

- Uzun süre içinde gelişmiş ve denenmiş olması,
- Yöre, iklim koşullarına uygunluğu,
- Kültürel değerleri bünyesinde taşıması,
- Basit, akılcı strüktür sistemlerinin yöresel malzemelerle gerçekleştirilmesidir.

İşçilik kalitesi o yörede ulaşılmış olan beceri düzeyine bağlıdır. El aletleri yaygın olarak kullanılır. Tekil üretim söz konusudur. Emek yoğun bir sistemdir. Üretim işlemleri yerinde gerçekleşir.

1.3.3. Konvansiyonel yapım sistemleri

Malzemesi ve mimari üslubu ile uluslararası bir özellik gösteren, yapı malzemesiyle küçük boy yapı bileşenlerinin fabrikada endüstrileşmiş yöntemlerle üretildiği, fakat yapım sürecinde herhangi bir endüstrileşmenin gerçekleşmediği yapım sistemleridir. Genellikle taşıyıcı malzeme olarak beton ve donatı çeliğinin birleşimi sonucu oluşturulan betonarme kullanılmaktadır. Bu sistemde emek yoğunluğu ağır olmakla birlikte makine kullanımının da yaygın olması nedeniyle yatırım yoğunluğu artmaktadır. Bireysel üretimden veya çok katlı bloklar biçiminde sınırlı sayıda birim üretimden söz edilebilir. Kullanıcı ve yapımcı bazı durumlarda birbirini tanımadan yapım gerçekleşir. Ülkemizde özellikle belediye sınırları içinde yaygın olan yapım sistemidir. Konvansiyonel yapım sistemleri, teknoloji yönünden emek yoğun ve yerinde üretim biçimi olmaktadır.

1.3.4. Rasyonelleştirilmiş geleneksel ve konvansiyonel yapım sistemleri

Geleneksel yapım sistemleri hızlı ve rasyonel bir üretimin gerçekleştirilmesi amacıyla endüstrileşme yolundaki ilk aşamayı oluşturmaktadır. Yapım sürecinde önemli değişiklikler olmamasına karşın, yapım tekniklerinde organizasyon yoğunluğunun artırılmasıyla gerçekleşen geliştirilmiş konvansiyonel yapım sistemleri bu grubu oluşturur. Özellikle konvansiyonel yapım sistemlerinde çok katlı yapılar veya büyük alanlı kompleks yapılar, yapım yöntemlerinde çok daha dikkatli bir tasarım ve üretim planlamasını zorunlu kılmaktadır. Böylece karmaşık bir yapım sürecinde ortaya çıkması olası iş çakışmaları, kötü organizasyondan doğan kayıplar önlenabilir. Rasyonelleştirilmiş yapımın özellikleri;

- Daha etkin üretim planlaması ve şantiye organizasyonu,
- Kaba inşaat süresince hazır beton, çok kez kullanılabilen geniş yüzeyli kalıpların uygulanması, ince yapıyı kolaylaştıracak ve hızlandıracak önlemlerin alınması. Örneğin sıva püskürtme makineleri, hazır sıva hazır sıva panelleri vb.
- Standartlaşma oranının artırılması ve tekrar eden benzer işlerin seri halinde yapılması.
- Yapım sürecinde makineleşme yoğunluğunun artması ve yapı makinelerinin rasyonel kullanımının sağlanması.
- Fabrikada üretilmiş malzeme ve bileşen kullanım oranının yerinde yapıma oranla artırılması.

Rasyonelleştirilmiş sistemlerin en belirgin özelliği, iyi bir üretim planlaması ve şantiye organizasyonunu amaçlamasıdır. Bu sistem, emek-makine ve organizasyon yoğunluğu dengeli bir yapım sistemi olarak yorumlanabilir. Yerinde üretim ağırlıkta ise de kullanılan hazır beton ve prefabrike eleman oranı artmaktadır

1.3.5. Kısmen endüstrileşmiş yapım sistemleri

Malzeme ve bileşen üretiminin yanı sıra, şantiye sürecinde endüstrileşmenin gerçekleştiği yapım sistemleridir. Şantiyede seri üretimin yapılmasını amaçlayan bu sistemde, beton dökümünü hızlandıracak, kalıpların çok kez kullanımıyla maliyeti ucuzlatacak, veya yapım süresini kısaltacak yapım yöntemleri yer alır. Uygulaması yaygın olan ve bu guruba katılan farklı yapım yöntemlerinden önemli olanlar kayar kalıp, tünel kalıp, plak (döşeme)-kaldırma ve blok-kaldırma yöntemleridir.

Bu yöntemlerin ana amacı şantiyede makine yoğun üretimle kaba inşaat veya taşıyıcı sistemin inşası süresinde zaman, işçilik, enerji gibi yönlerden tasarruf sağlayabilmektedir. Bir şantiyede bu yöntemler ya tek başlarına veya bir başka yöntemle birlikte uygulanabilirler.

1.3.6. Tam endüstrileşmiş yapım sistemleri

Bu yapım sistemleri yüksek teknoloji ve endüstrileşmiş üretim süreçlerinin bir arada kullanılmaları ile oluşan ve günümüzde sanayide gelişmiş ülkelerin yoğun olarak kullandıkları yapım sistemleridir. Yapının tüm malzeme girdilerinin ve yapım süreçlerinin (tasarım, bileşen üretimi, nakliyat, yapının kendisinin üretimi veya montaj süreçleri gibi) endüstrileştiği; makine, sermaye organizasyon yoğunluğunun maksimum olduğu sistemlerdir. Bileşen/eleman üretimi fabrikalarda gerçekleşir. Şantiyede montaj ve kurma işlemlerinin minimum zaman süresi içinde yapılması amaçlanır. Tam endüstrileşmiş sistemler yapının tümü için geçerli olduğunda bir ön-üretim (prefabrikasyon) kavramı ortaya çıkar. Endüstrileşmiş yapım sistemlerinde büyük ölçek (seri) üretim söz konusudur. Amaç, yapı üretimini el işçiliğinden makineleşmiş üretim biçimine veya emek yoğunundan makine yoğun bir sisteme dönüştürmek ve mümkün olan en kısa sürede artan bina, konut, fabrika gibi ürünlere duyulan gereksinmeye cevap verebilmektir.

Yapım sistemi taşıyıcı betonarme elemanın dayanım ve dayanıklılık özelliklerini önemli derecede etkileyebilmektedir.

Konvansiyonel yapım sistemlerinde makine kullanımının yanı sıra emek yoğun ve bireysel üretimin olması nedeniyle yeterli denetim sağlanamamaktadır. Ayrıca betonarme elemanın dayanım ve dayanıklılığını olumsuz bir şekilde etkileyen etkenler, yeterli teknik bilgi ve beceriye sahip olmayan kişiler tarafından üretimin gerçekleştirilmesi, beton malzemenin elle karıştırılarak hazırlanması, yeterli ve doğru bakımın (kür) yapılmaması vb. nedenlerle artış gösterebilmektedir. (Bkz. Bölüm 1.4.1)

Geliştirilmiş konvansiyonel sistemlerle üretimde ise hazır betonun kullanılması, üretimde organizasyonun, denetimin sağlanabilmesi nedeniyle konvansiyonel sistemlere göre daha olumlu sonuç vermektedir. (Bkz. Bölüm 1.4.1)

Endüstrileşmiş sistemlerde taşıyıcı betonarme elemanın üretimi, konvansiyonel ve geliştirilmiş konvansiyonel sistemlerle üretime oranla daha kontrollü olarak uzman ekip tarafından gerçekleştirilmektedir. Böylece betonarme elemanın dayanım ve dayanıklılığını olumsuz bir şekilde etkileyen etkenler önemli derecede azalmış olmaktadır.

Yukarıdaki irdelemenin sonucunda, yapım sistemlerinde, konvansiyonel yapım sisteminden endüstrileşmiş yapım sistemlerine doğru görülen gelişmeye paralel olarak, betonarme elemanın dayanım ve dayanıklılığını olumsuz bir şekilde etkileyen etkenlerin önemli bir kısmı üretim aşamasında önlenmiş olmaktadır. Ülkemizde de konvansiyonel ve geliştirilmiş konvansiyonel sistemlerin yaygın olarak kullanılması konunun önemini arttırmaktadır. Bu nedenle tez kapsamında, konvansiyonel ve geliştirilmiş konvansiyonel sistemlerle üretilen betonarme birleşimli iskelet yapılar dikkate alınmıştır.

1.4. Konvansiyonel ve geliştirilmiş konvansiyonel yapım sistemlerine göre üretilen, taşıyıcı sistemi iskelet olan betonarme birleşimli yapıların taşıyıcı sistem ve yapım özellikleri

Bu bölümde konvansiyonel ve geliştirilmiş konvansiyonel yapım sistemi ile üretilen strüktür sistemi iskelet olan betonarme birleşimli yapıların özelliklerine değinilecektir.

1.4.1. Konvansiyonel ve geliştirilmiş konvansiyonel yapım sistemlerinin özellikleri

Konvansiyonel yapım sistemi ilk anlamda, emek yoğunluğu fazla, fakat makine kullanımı, sınırlı olmakla birlikte, var olan, malzeme ve mimari anlayışı ile uluslararası özellik gösteren bir yapım sistemi olarak tanımlanabilir. Bu sistemde malzeme ve bir takım yapı bileşenleri endüstriyel üretim yöntemi ile üretilmektedir. Fakat yapının üretim yeri olan şantiyede bir endüstrileşme olmamaktadır. Şantiye üretiminde emek yoğunluğu gözlenmektedir. Bununla birlikte, şantiyede üretimin her aşamasında bir takım makine kullanımı gerçekleşmektedir. Bu makine kullanımının miktarı arttıkça, konvansiyonel yapım sisteminin rasyonelleşmesi artar. Ayrıca hazır yapı malzemelerinin ve bileşenlerinin kullanımı da rasyonelleşmeyi artırır. Fakat konvansiyonel sistemle yapı üretiminde emek yoğunluğu hala belirleyici öğedir. Makineler üretimin her aşamasında kullanılmakla birlikte daha çok kazı işlemleri, beton hazırlanması, beton dökümü, bazı taşıyıcı öğelerin taşınması ve montajı, malzeme ve bir takım kaplama öğelerinin tespitinde tercih edilmektedirler. Konvansiyonel sistemle üretim, inşaat sektörü gibi Türkiye'nin gündemindeki en büyük sektörde çok sayıda işçi çalışması anlamına gelmektedir. Bu da Türkiye'nin işsizlik sorununu azaltan bir sonuç ortaya çıkarmaktadır. Böylece konvansiyonel yapım sistemi Türkiye'de özellikle konut üretiminde en çok kullanılan sistem olmaktadır. Konvansiyonel yapım sistemin rasyonelleştiği noktaların, karşılaşılan sorunlar, uygulama esasları ve sonuçlar açısından incelenmesi yukarıda açıklanan sebeplerden ötürü önem kazanmaktadır. Konvansiyonel yapım sisteminin kaba

Üretim süreci aşamaları; taşıyıcı sistem üretimi ve bölücü yapı bileşenleri üretimi aşamalarından oluşur.

a) Taşıyıcı sistem üretimi: Üretim aısından  önemli alt başlık incelenmelidir. Bunlar malzeme üretimi, kalıp üretimi ve betonarme bileşen üretimidir.

- Malzeme retimi: Üretim en önemli iki malzemesi beton ve donatı çeliğidir. Bu malzemelerin ayrı ayrı incelenmesi gereklidir. Genelde iki değişik türde beton kullanılmaktadır. Bunlar hazır beton ve yerinde üretilen betondur. Yerinde üretilen betonun hazırlanması için gerekli olan, betonu oluşturan ham maddeler şantiyede depolanmalıdır. Bu malzemeler imento, agrega ve sudur. Bu ham maddeler, şantiyede üretilecek beton cinsine göre, değişik oranlarda karıştırılmaktadır. Beton hazırlama işlemi ya emek yoğun biçimde, ya da makine (betonyer) kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Fakat karışım oranlarını belirlemede insan faktörü rol oynamaktadır. Hazır beton ise şantiye dışında üretilip şantiyede uygulanır. Hazır beton üretiminin gerek karışım gerekse oranlama aşamalarında makine kullanımı ile insan faktörü ve buna bağlı hatalar en aza indirgenmiştir. Bir diğer önemli malzeme ise donatı çeliğidir. Betonarme bileşen üretiminde nervürlü yada nervürsüz inşaat çeliği kullanılmaktadır. Donatının ngrlen boyutlarda kesilmesi ise ya emek yoğun biçimde yada makine kullanımı ile gerçekleştirilmektedir. Nervürlü donatı, gerek kesim gerekse işleniş bakımından zorlanılan donatı türüdür. Ayrıca emek yoğun biçimde yapılan donatı kesimlerinde ölçü hataları olmaktadır. Oysa makine kullanımı ile gerçekleştirilen donatı kesimlerinde bu tür ölçü hatalarına rastlanılmaz.

- Kalıp retimi: İncelenmesi gereken bir diğer alt başlık ise kalıp üretimidir. Genelde iki farklı kalıp türü kullanılmaktadır. Bunlar ahşap kalıp ve metal kalıptır. Ahşap kalıp, metal kalıba oranla, daha ucuzdur. Fakat daha az kullanılabilmektedir. Ayrıca ahşap kalıpla elde edilen beton yüzeylerde daha fazla sıva işçiliği gerekmektedir. Buna karşılık metal kalıplar ise elik sac levhalardan üretildikleri için daha az sıva işçiliği gerektiren yüzeyler oluşmasını sağlarlar. Ahşap kalıba oranla daha çok sayıda kullanılabildiklerinden belirli bir kalıp maliyeti ekonomisi sağlarlar. Ancak ilk yatırım maliyetleri ahşap kalıba oranla daha yüksektir. Kalıp iskelesi

malzemeleri de iki değişik malzemedenden, ahşap veya metal olarak üretilmektedirler. Ahşap kalıp dikmeleri ard arda sınırlı sayıda kullanılırlar. Ayrıca yükseklikleri sadece takozlar yardımı ile ayarlanabilmektedir. Buna karşılık ahşap kalıp dikmeleri ucuzdur. Metal kalıp iskelesi dikmeleri ise ard arda bir çok sayıda kullanılabilirler. Kalıp dikmesinin yüksekliği, dikme üzerinde bulunan manşon ve cıvatalı sistem sayesinde rahatlıkla ayarlanabilir. Buna karşılık ilk yatırım maliyetleri çok yüksek olduğu için pahalı olarak karşılanırlar. Betonarme yapı bileşenlerinin en önemli üretim aşaması, hazırlanan betonun kalıplara döküm safhasıdır. Bu nedenle beton dökümü süreci kullanılan beton türüne göre değişmektedir. Şantiyede üretilen beton, uygulanacağı yere ya el arabası veya metal kaplar içerisinde emek yoğun biçimde, ya da bir takım küçük vinç veya asansörler yardımı ile makine kullanılarak taşınır. Ancak bu makineler sadece zeminde hazırlanan betonu uygulanacağı kota çıkarırlar. Beton uygulanacağı noktaya yine emek yoğun biçimde taşınır. Hazır beton ise şantiye dışında üretildiği için şantiyeye özel karıştırıcılar ile gelir. Uygulama noktasına da yine özel beton pompaları ile taşınır. Dolayısıyla bir makine yoğunluğu gözlenmektedir. Emek yoğunluğu ise sadece beton pompasını kullanan ve uygulama noktasında beton pompasına kılavuzluk eden operatör ve işçiler ile sınırlıdır. Donatıların yerine yerleştirilmeleri ve kalıp montajı ile kalıp sökümü işlemleri emek yoğun biçimde gerçekleşmektedir.

b) Bölücü yapı bileşenleri üretimi: Bölücü yapı bileşenleri üretiminde iki önemli malzeme kullanılmaktadır. Bunlar: tuğla ve benzerleri ile derz harçlarıdır. Bölme işlevi blok tuğla, gazbeton vb. gibi bileşenler ile oluşturulmaktadır.

Konvansiyonel ve geliştirilmiş konvansiyonel yapım sistemlerinde ortaya çıkan sorunlar:

- Uygun üretim koşullarında üretim zorunluluğu
- Ekip beklemesi: Yapının çeşitli işlerinin değişik ekipler tarafından yapılması sonucu bir ekipteki bekleme diğerlerine de yansımaktadır. Ayrıca gerekli malzemenin yapı yerine zamanında ulaşamaması, bu malzeme ile çalışacak

ekibin beklemesine yol açmaktadır. Bütün bunlar ise iş verimini azalmasına, yapının belirlenen süre içinde bitmemesine neden olmaktadır.

- **Malzeme kaybı:** Genellikle iki tür malzeme kaybı söz konusudur. Bunlar depolama yetersizliği ve yapım sırasında oluşan malzeme kayıplarıdır.
- **Yapılan işlerde kalite farkı:** Bu durum malzeme ve işçilik tarzlarından belirmektedir.
- **Kontrollük:** Yukarıda belirtilen sorunları önlemek amacı ile devamlı olarak kontrol etme gereği meydana çıkmaktadır.

1.4.2 İskelet sistemin özellikleri

Yapının tüm yüklerinin kolon, kiriş ve döşeme elemanlarıyla iletilmesidir. İskelet sistemlerde hacmi sınırlayan elemanlarla, yapıdaki taşıyıcılık özelliği olan eleman grupları birbirlerinden ayrılmış olup, yapıdaki yükler bir iskelet aracılığıyla zemine aktarılmaktadır. İskelet sistemin en belirgin elemanları kolonlardır. Bu elemanlar yatay taşıyıcılar olan kirişler ile bağlanarak bir bütün sistem kurarlar. Bütün iskelet sistem bu kiriş-kolon ilişkisi ile oluşan çerçeve sistemi yardımı ile ayakta durur. Kolonlarla kirişlerin ilişkileri büyük önem taşır. Kolon yerleri ve yönleri, kirişlerin bağlantıları bütün bu ilişkiler zincirinde projede seçim ve kararlar yapıda başarıyı sağlar. İskelet sistemlerin yatay taşıyıcı elemanları kirişlerdir. Kirişler kolonların üst başlarını birbirine bağlar ve iki kolon arasındaki açıklığın geçilmesi sorununu çözümleyen elemanlardır. İskelet sistemlerin temel özelliği taşıma ve bölme işlevlerinin ayrı ayrı elemanlarca yerine getirilmesi, duvarların taşıyıcı olmaması, taşıyıcı strüktürün genellikle kolon, kiriş, döşeme gibi elemanlarla oluşturulmasıdır. Duvarlar bazı durumlarda bölme, bazı durumlarda ise rijidliğe yardımcı araçlar olarak görev görürler. Bölme işlevi ise taşıyıcı olmayan sadece sınırlandırıcı olarak görev yapan, yerinde üretilen ya da önceden üretilmiş bulunan düzlemsel elemanlar tarafından yerine getirilir.

1.5. Betonarme elemanın bozulmasına neden olarak dayanıklılığını etkileyen etkenler

Yapı elemanlarında belirli bir süre sonra gerek atmosfer koşullarından ve gerekse malzeme özelliklerinden dolayı bozulmalar görülmektedir. Sonuçta betonarme eleman işlevini yerine getirememeye başlar. Henüz tasarım aşamasında bu koşulları göz önünde bulundurarak çözüme gitmek ve bu etkenlere karşı önlem alınmış bir yapı gerçekleştirmeye çalışmak gerekir. Beton yalnız dış etkilere karşı dayanıklı olmamalı aynı zamanda kendi içinde de sağlıklı olmalıdır. Bunun anlamı beton bileşimini oluşturan malzemelerin içinde betona zarar verebilecek maddelerin, betonun içinde ayrışması sonucu, yapısındaki diğer maddelerle birleşerek niteliklerini ve özellikle betonun donatıyı korozyona karşı koruma niteliğini bozabilecek maddelerin bulunmaması gerekir. Betonla bağdaşmayan maddeler olarak ince mil, mika, organik maddeler, priz ve sertleşmeyi geciktiren maddeler, alkalide çözülebilen SiO_2 , donatıyla reaksiyon gösteren maddeler ve yapay agregalardaki hacimsel kararlılığı olmayan maddeler sayılabilir. Betonarme elemanın üretiminde dayanıklılık açısından göz önünde bulundurulması gereken noktalar şöyle özetlenebilir.

- Maksimum doluluğun (granülometri) sağlanması,
- Su/çimento oranının sağlanması,
- Donatının yeterli pas payı ile korunması,
- Klorür içeren malzemeden kaçınılması,
- Donma-çözülme olayına karşı önlemlerin alınması (Örneğin hava katkılı beton kullanımı).
- Gereğinde asit, sülfat vb. gibi kimyasal maddelere dayanıklı beton üretilmesi,

Yukarıda belirtilen şartlarla beraber, betonun teknik şartlara uygun karıştırılması ve donatıyı yeterli derecede kaplayacak tarzda yerleştirilmesi ile yapının taşıyıcı elemanında önemli derecede dayanıklılık sağlanmış olacaktır. Ancak bu dayanıklılığın azalmasını çabuklaştıracak çeşitli etkenler vardır. Esas olarak çelik donatının korozyonu ve beton kalitesini düşürücü ortamın oluşması, zayıflamaya

sebepe olabilmektedir. Taze hazırlanmış bir beton karışımının pH derecesi 12.5 civarındadır; dolayısıyla bazik ortamdadır. Bu pH değeri değişmedikçe çelik donatı korozyondan etkilenmez. Böylece çözülmeyen bir demiroksit tabakasının oluşmasıyla etkilenmeyen bağışık bir bölge de sağlanmış olur. Ortamın değişik etkilerinden dolayı pH değeri asidik sınıra gelebilir veya betonda prizi hızlandırıcı olarak bazı katkı maddeleri kullanılabilir.

Betonarme elemanları çeşitli dış etkilerin zararlarından koruyabilmek için, üretimi ve kullanımı sırasında atmosfer etkileri, kimyasal etkiler, fiziksel etkiler ve yangın etkisi vb. gibi etkiler göz önünde bulundurularak önlemler alınmalıdır. Atmosfer etkilerinden betonun zarar görmemesi veya en az zarar görmesi için, betonun iyi sıkışmış, az gözenekli ve dökümünden sonra uzun bir süre kür şartlarına uygun bir şekilde korunması gereklidir. Atmosfer koşullarının en önemlisi don etkisidir. Sıcaklığın azalarak 0 °C'nin altına düştüğü durumlarda beton bileşimi içinde bulunan su buz haline geçer. Bu geçişte bir hacim artışı meydana gelir. Eğer beton bileşiminin suya doyma derecesi büyük ise buz haline geçen suyun genişlemesi için yeterli boşluk yoktur. Buz haline geçen suyun oluşturduğu basınç nedeni ile betonda iç gerilmeler, çatlak ve döküntüler oluşur. Eğer bu olay sık sık tekrarlanırsa beton dayanımını ve dayanıklılığını kaybeder. Atmosfer etkilerinin diğer en önemli etkisi ise ortamın sıcaklık ve nem oranının değişiklik göstermesi sonucu oluşur. Bunlara bağlı olarak doğan genişleme veya rötre değişiklikleri betonun iç gerilme durumuna etki ederek bir yorulma ve don etkisine benzer şekilde fakat daha küçük ölçüde bir etki yaparak beton dayanımının düşmesine neden olur. Betonun atmosfer etkilerine karşı dayanım gösterebilmesi için bileşiminde bulunan malzemelerinde bu etkilere karşı dayanım gösterebilecek özelliklere sahip olması gerekir. Özellikle don dayanımı yüksek agrega seçilmeli ve çimento hamurunun dayanımı, mekanik dayanımına (su/çimento oranına) ve su emmesine (boşluk yapısı) bağlı olduğundan beton üretimi sırasında bu etkiler ve özellikler dikkate alınmalıdır. Beton karışım suyu miktarının gerekli olan miktardan daha fazla olmaması, gerek granülometri ve gerek geçirimsizlik sağlayan maddeler yardımı ile homojen bir beton üretilmesi, su emme veya doyma derecesinin azaltılması gibi önlemlerin alınması yararlı sonuçlar vermektedir.

1.5.1. Tasarım, yapım, bakım ve kullanım aşamasında dayanıklılığı etkileyen etkenler

Bir yapının gerçekleşmesi için yapılan bütün belgesel çalışmalar genel anlamda proje olarak tanımlanabilir. Proje, uygulamanın tasarıyla bütünleşmesini, özdeşleşmesini sağlar. Betonarme bir yapının tasarımı öngörülen davranışı gösterebilmesi için projede yapılan kabuller betonarmenin davranışına ters düşmemeli, gerçekçi olmalıdır. Bunun için de, betonarmenin kendine özgü yapısının ve değişik koşullar altındaki davranış özelliklerinin çok iyi bilinmesi ve kesit hesaplarının taşıma gücü ilkesine göre yapılması gerekir. Yapıların geometrik özellikleri, malzemelerin yapıdaki mukavemeti, yapının ve onu oluşturan taşıyıcı elemanların mukavemeti, hesap yükleri (yönetmeliklerden alınan standart yükler) ile gerçek yüklerin karşılaştırılması, taşıyıcı sistem elemanlarının ve giderek sistemin güvenilirliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Yapılarda görülen projelendirmeden (statik-mimari) ve uygulamadan kaynaklanan hatalar dayanımı azalttığı gibi dayanıklılığı da olumsuz yönde etkilemektedir. Projelendirmeden kaynaklanan hatalar içinde, projeleri hazırlayan meslek sahiplerinin, özellikle detaylandırmada, yapının iklimsel koşullara karşı gerekli önlemi almadıkları görülmektedir. Bu hatalar, en çok yapının dayanımını ve dayanıklılığını azaltıcı olarak kendini göstermektedir. *Betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında çatlaklar ve deformasyonlar şeklinde beliren hasarlar, başlıca nedenlere dayanmaktadır:*

- *Projelendirme hatası*
- *Yapım ve malzeme kusurları*
- *Değişen kullanım amacı*

Bu ve buna benzer nedenlerin bir ya da birden çoğunun bir araya gelmesi, yapıda hasara sebep olabilmektedir. En yaygın projelendirme hatası, uygun olmayan taşıyıcı sistem seçimi ve donatı düzenlenmesi şeklinde ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, özellikle binaların iki taraflı çıkma durumlarında, içerde devam etmeyen ve dar kolonlara oturan konsol kirişler, döşemelerde hasara yol açmaktadır. Burada, taşıyıcı sistemin uygun seçilmesinin pek çok sorunu ortadan kaldıracığının akıldan

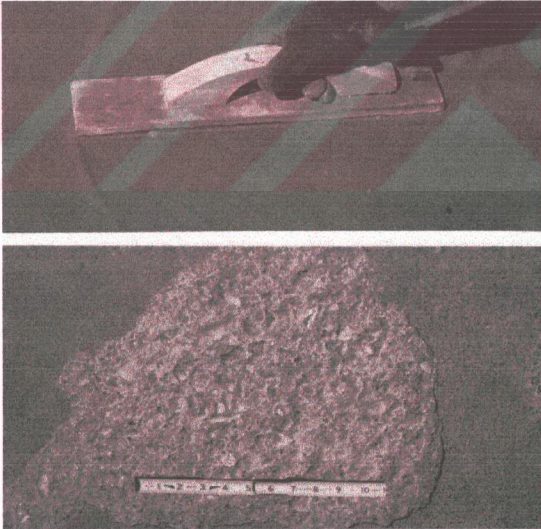
çıkarılmaması gereğini vurgulamak yerinde olacaktır. Gerçekten elverişsiz, uygun olmayan bir taşıyıcı sistem tasarımı, hesap ve projelendirmeye ne kadar özen gösterilirse gösterilsin, sonuç yine de doyurucu olmamaktadır. Projelendirme hataları kapsamında, donatı düzenlerine ilişkin eksiklikler de geniş bir yer tutar. Yeterli olmayan donatının yanında, uygun olmayan donatı yerleştirmeler, sorunların çıkmasına yol açmaktadır. Bunların başında, kirişlerdeki pliyelerin yerleştirilmesi gelmektedir. Gerekli yerlerde kırılmayan pliyeler, özellikle açıklığa kaydırılan kırma yerleri, donatı alanı yeterli olsa da kirişte kayma çatlaklarının oluşmasına yol açmaktadır. Taşıyıcı sisteme etkileyen yüklerin eksik alınması da projelendirme hatası kapsamına sokulabilir: Yapının kullanım amacı iyice belirlenmeden, faydalı yüklerin gereğinden düşük alınması vb. eksik değerlendirmeler, sıkça yapılan hatalardır. Kullanım amacından saptırılarak, odun, kömür vb. depolanan balkonlarda da benzer durum söz konusudur. (Özgen, 1990, s. 50-51).

Ayrıca tasarım aşamasında kullanıcıların gerçek ihtiyaçları saptanamadığı ve yapı programındaki eksikliklerden dolayı, balkonların kapatılması, yapıya tesisat hatta mekan eklemeleri yapılması gibi kullanım amacının değiştirilmesinden kaynaklanan bazı mimari proje hatalarına rastlanmaktadır. Binanın kullanım amacının tam belirlenmeden, proje aşamasında alınan eksik yükler ya da kullanım amacının değişmesi nedeniyle yapılan düzenlemeler, özellikle yapı bittikten sonra, projeye bakılmadan bilinçsizce eklenen ağır bölme duvarları, döşeme ve kirişlerde hasar doğurmaktadır.

Uygulamadan doğan hataların temelinde niteliksiz malzeme seçimi ve niteliksiz işçilik bulunmaktadır. Nitelikli malzeme ve işçilik ilk planda ek bir bütçe getireceği düşünülse bile, şartnamelerde ve standartlarda belirtilen kurallara uyulması durumunda özellikle işçilikten kaynaklanan hataların önemli bir bölümü önlenabilir. Uygulama aşamasında betonun hatalı hazırlanması, taşıma, yerleştirme işlemlerinin kurallara uygun yapılmaması, kalitesiz işçilik, bakım süresince betona yeterli su verilmemesi, beton kesiti ve donatı miktarlarının hesap kurallarına aykırı olarak eksik uygulanması, kimyasal karışım sırasında donatıda korozyonu ilerletici yan

etkisi olan katkı maddeleri kullanılması genelde dayanımı ve dayanıklılığı azaltıcı etkenlerdendir.

Betonarme elemanın dayanıklılığını azaltıcı etkisi olan betonun su kusması da yapım aşamasında yapılan hataların bir sonucudur. Kusma ya da çökme miktarı, betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine ve karışım oranlarına bağlıdır. Özellikle karışımdaki su, çimento ve ince malzeme miktarı etkilidir. Karışımdaki su miktarını arttırmak kusmayı da arttırır. İnce malzeme miktarının artışı ise kusmayı azaltıcı etki yapar. Ayrıca kusma miktarı, betonun kalınlığı ile de ilişkilidir. İnce betona göre kalın beton daha çok su kumar. Kusulan su tamamıyla buharlaşmayabilir. Bu durum, suyun çimentoya oranını arttırdığı gibi geçirgenliği artırır, aderansı azaltır ve mukavemeti düşürür. Su tamamıyla buharlaşmadan önce düzeltme yapılırsa dış etkilere karşı betonarme elemanın geçirgenliğini arttırıcı etkisi olan çatlaklar ve kabarmalar oluşur. (Bkz. Resim 1.1). Bunun sonucunda betonarme elemanın aşınmaya, zararlı kimyasal maddelere ve korozyona karşı dayanıklılığı önemli derecede azalır.



Resim 1.1 Betonun su kusması sonucu yüzeyde su varken düzeltme, geçirgenliği arttırıcı pütürlenme gibi bozulmalara neden olur.

Ayrıca yapıda ince işçilik aşamasındaki ya da tesisat montajları sırasındaki taşıyıcı elemanlarda oluşturulan bozulmaların da yapıyı emniyetsiz duruma getirdiği gözlenmiştir. Projelendirmede ve özellikle uygulamada mesleki kontrollüğün gerekli önem ve bilgi donanımı ile yapılamaması hataların artmasına sebep olmaktadır. Malzeme ve işçilik hataları sonucu istenilen mukavemette beton yapılamaması, beton ile donatı arasında yeterli aderansın sağlanamamasına yol açmaktadır. Bunun sonucu, özellikle deprem zorlaması ile kiriş ve kolon boyuna donatısı tam taşıma kapasitesine ulaşmadan betondan sıyrılmaktadır. Böylece hesaplarda ön görülen yüklerin çok altında kırılmalar olmaktadır. Donatının projede öngörülen şekilde yerleştirilmemesi, boyuna ve enine donatıların birbirine tam olarak bağlanmaması, aderans boylarının yetersiz oluşu ve bazı durumlarda donatının çok sık konularak arasına beton girememesi, beton ve donatının istenilen şekilde çalışmasına engel olmaktadır. Betonarmenin ana prensibi beton ile donatı arasında tam bir yapışma sağlanmasını gerektirmektedir. Ancak bunun için, yapım sırasında yönetmeliklere uygun malzeme üretimi ve kaliteli işçilik sağlanması zorunludur.

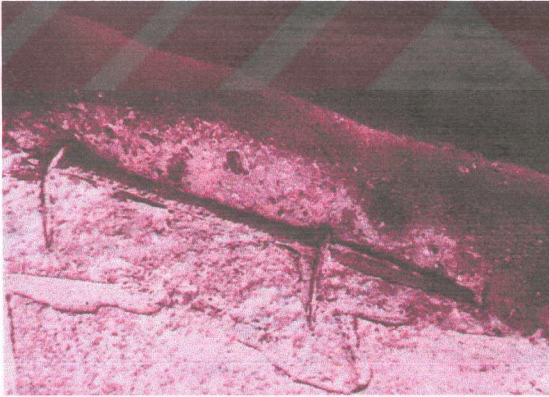
Ayrıca yapının temel zemininin özelliklerinin tam belirlenmeden, boyutlandırılan yetersiz temeller de projelendirme hatası olarak nitelendirilebilir ve sık karşılaşılan başka bir hasar nedenidir. Alt yapı eksikliği ve drenaj gibi önlemler zamanında alınmadığında, yapılan blokların altına çevre suları sızmakta ve durum daha da ağırlaşmaktadır. Bunun sonunda temellerde ortaya çıkan farklı oturmalar, üst yapıda çatlak ve hasarlara yol açmaktadır.

15.2. Fiziksel etkiler

Yapı, kullanım amacının değişmesi nedeni ile projede öngörülen yüklerden daha fazla yüklerin etkisinde kalarak deformasyona uğrar. Deprem ve aşırı yüklemeler, eğilme-çekme-burkulma etkileri, olumsuz çevre koşulları betonda uzama-kısalma olayını doğurur, büyük iç gerilmeler oluşturur ve sonuçta kırılma yaparak diğer dış kimyasal etkilerin betonun içerisine ve donatıya nüfuz etmesine neden olur (Bkz. Resim 1.2). Bu durum donatıyı örten betonun aşınımına ve donatıda korozyon başlangıcına yol açar (Bkz. Resim 1.3).

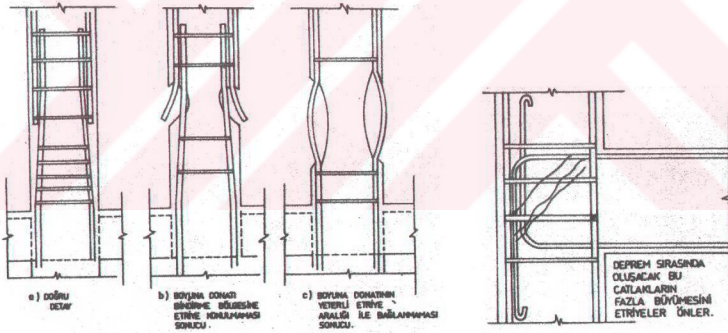


Resim 1.2 Mekanik etkilerle bozulmuş kolon



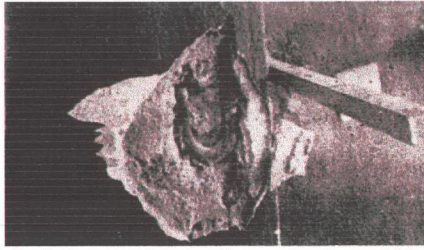
Resim 1.3 Dış etkilerle korozyonun ilerlemesi

Özellikle depreme dayanıklı olması gereken betonarme yapının kolon, kiriş gibi elemanlarında etriyeler en önemli donatılar olmaktadır. Etriyelerin projede öngörülen aralıklarla yerleştirilmemiş olması sonucu, özellikle şiddetli depremlerde, şekil 1.5'de görülen türde hasar oluşabilir. Kolonlarda boyuna donatıların uçlarının kanca yapılması sakıncalıdır. Kanca yapılan yerde betonda büyük ezilme gerilmeleri oluşmakta ve kolonun beton kabuğu çatlamaktadır (Bkz. Resim 1.4). Kolon boyuna donatısının çok sık aralıklarla yerleştirilmesi, donatıdan betona gerilme aktarılmasını sağlayamamakta ve donatıların dışındaki kolon kabuk betonu bütün kolon boyunca çatlayıp dökülmektedir (Bkz. Resim 1.5). Hesabın hiç yapılmamış olması, yapı elemanlarının boyutlarının yetersiz olması veya bu boyutlardaki elemanların deprem kuvvetleri altında yapacağı davranışın düşünülmemiş olması, yapıda bulunan eksantrikliğin dikkate alınmamış olması gibi çeşitli tasarım ve hesap kabul hataları yapılmaktadır.



Şekil 1.5 Etriyelerin ihmal edilmesi sonucu olabilecek hasar şekilleri a,b,c ve dış aks kolonlarında panel bölgesine etriye konulması gereği.

(Bayülke, 1977, s.42).



Resim 1.4 Kolonda boyuna donatıya kanca yapılması-Akkum Apartmanı, İzmir, 1974. (Bayülke, 1977, s.42).



Resim 1.5 Çok sık aralıklarla boyuna donatı konulmuş kolonda aderans yokluğu çatlağı- Akkum Apartmanı, İzmir, 1974. (Bayülke, 1977, s.42).

1.5.2.1 Çatlama

Betonarme taşıyıcı sistemlerde, çatlamların ilk nedenleri arasında, proje ve yapım sırasında yapılan bazı yanlışlık ve eksiklikleri sayılabilir. Özellikle, çekme gerilmesi alan taşıyıcı elemanlarda oluşan, bu tür çatlaklar yapının güvenliğini tehlikeye sokabilir. Betonarme elemanlarda çatlamların önemli nedenlerinden bir diğeri de, yapıya etkiyen yüklerin büyük olması ve sürekli etkimesidir. Günümüz koşullarında, konut sorununun büyük boyutlara ulaşması nedeni ile, mevcut yapılara ilave katlar yapılarak, betonarme taşıyıcı elemanlarda, sünme sonucu beton zamanla çatlamaktadır. Ayrıca aşırı yükler nedeni ile, temel oturmalarının da belli değerleri aşması durumunda, taşıyıcı elemanlar zorlanarak çatlayabilir. Yapıdan istenen; kullanım süreci içinde öncelikle tasarlanan güvenliğe ve sağlamlığa sahip olmasıdır.

Yapı taşıyıcı sisteminde oluşacak bu tür çatlaklar yapının güvenliğini ve sağlamlığını tehlikeye düşürebilir. Betonarme yapılarda bu tür çatlakların oluşmaması için, mühendis ve mimarların projelendirme ve yapım aşamasında, yeterli bilgiye sahip olması gerekir. Ayrıca çatlamaların oluşmaması için, yapım sırasında da ayrı bir özen ve dikkat gösterilmelidir.

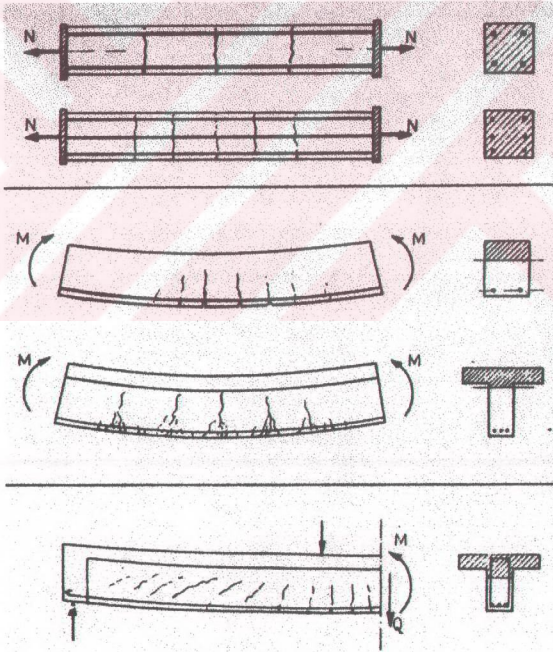
Zararlı olabilecek çatlak sınırları yönetmeliklerce saptanmış olup, çatlak hesapları yapılarak, çatlak büyüklüklerinin bu limit değerleri geçip geçmediği kontrol edilmelidir. Betonarme bir yapıda, donatının fonksiyonu bilindiği gibi, betonda oluşan çekme gerilmelerini almaktır. Ancak, betonun kopma uzamasının çeliğin kopma uzamasının yanında çok küçük kalışı, betonda donatı civarında çatlamaların oluşmasına neden olur. Genellikle, bu tür çatlaklar betonarme yapının doğal davranışının bir sonucudur ve zararsız kılcal çatlaklardır. Bununla birlikte çeşitli nedenlerle yapıda stabilite bozuklukları varsa, bunun nedenlerinden biri zararsız gibi görülen çatlaklardır. Artan yükler altında kılcal çatlaklar oluşur. Betonda oluşan bölgesel çatlakların sistemdeki etkisi de kalıcıdır. Yürürlükteki yönetmelikler, çatlak genişliklerini çeşitli ortam ve yapı cinslerine göre:

- *Zararlı dış etkenlere açık elemanlarda (0.1 mm.)*
- *Dış etkilere karşı korunmamış normal yapı elemanlarında (0.2 mm.)*
- *Dış etkilerden korunmuş normal yapı elemanlarında (0.4 mm.) olarak sınırlandırılmıştır. (Çamlıbel, 1984, s.43-44).*

Çatlak genişliğini ve uzaklığını etkileyen önemli etkenler olarak; çelik gerilmesi çubuk tipi, çubuk çapı, beton örtüsü, betonun dayanımı (özellikle çekme dayanımı), donatı oranı, etriyeler, rötre ve aderans dayanımı sayılabilir.

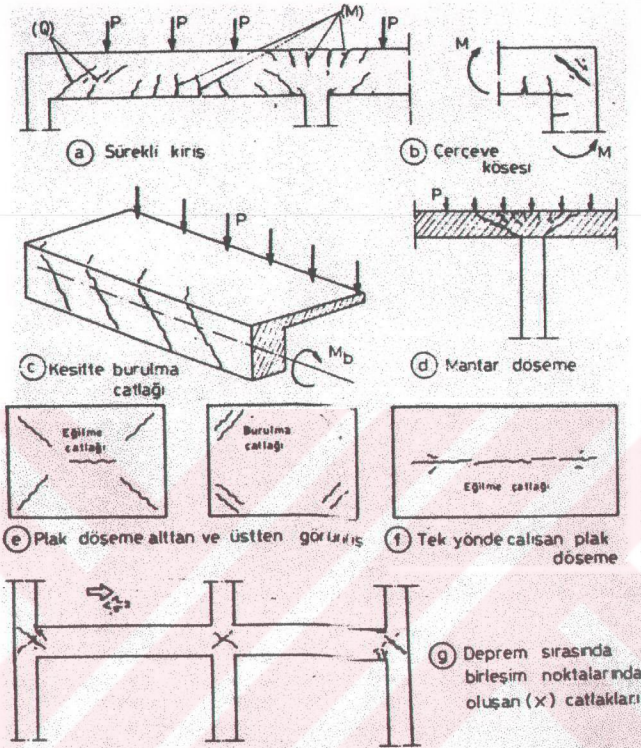
Çekme çatlakları betondaki etkilere dik olarak oluşur ve doğrultuları bellidir. Donatısız bir elemanda, ilk çatlakın oluşması elemanın kırılması ile sonuçlanır. Birbirlerine az veya çok yakın çatlakların ard arda ortaya çıkmaları, çatlayan kesitte bütün çekme kuvvetini donatı alabileceği için, ancak donatılı elemanlarda karşılaşılan bir olaydır. Çatlakların birbirinden uzaklığı ve açılmaları, hem beton

dayanımını aşacak ölçüdeki etkilerinden, hem de betondaki etkileri donatıya ileten beton ve çelik arasındaki iç aderansın değerlerinden etkilenir. Bu etkenlerden iç aderans özellikle çelik çubuğun kesitine bağlıdır. Çubuğun betona dışları aracılığı tutunması kaymayı azalttığından, betonun çeliğin uzaması ile, uyum sağlayamaması nedeni ile oluşan çatlakların sayısı artar. Böylece çeliğin toplam uzaması ile betonun toplam uzaması arasındaki fark, az açılmış çok sayıdaki çatlığa bölünmüş olur. Dolayısıyla aynı bir gerilme altında, dişlerle aderansı geliştirilmiş çubuklarla donatılmış elemanlardaki çatlaklar daha küçük değerlerde kalır. Çelik gerilmesinin artmasıyla da elemanda görülen çatlamlar büyür. Yüksek akma gerilmesi alan çeliklerle donatılmış elemanlarda çatlakların genişlikleri ve aralarındaki uzaklıkları önemli boyutlara ulaşır. Aşağıda şekil 1.6 ve şekil 1.7'de karakteristik çatlak örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 1.6 Çeşitli yükler etkisinde oluşan karakteristik çatlak biçimleri.

(Çamlıbel, 1984, s.52).



Şekil 1.7 Karakteristik çatlak örnekleri. (Çamlıbel, 1984, s.57-58).

1.5.2.2. Donma ve çözülmeler

Boşluklu bir malzemenin içerisinde bulunan su ısının 0°C 'nin altına düşmesi halinde donar ve bu donma esnasında malzemede % 9-10 oranında bir hacim büyümesi ortaya çıkar ki, eğer burada boşluklar tamamen su ile dolu iseler bu hacim artışı karşılayacak yeni bir hacim olmadığından bünyede bir takım basınç ve çekme gerilmeleri meydana gelir. Bu gerilmeler ise cisimlerin mekanik mukavemetlerini aşmadıkları müddetçe fiziksel olarak donmaya karşı dayanıklı kabul edilirler. Eğer bu, mekanik mukavemet sınırını aşarsa o zaman malzemede

çatlamalar, dökülmeler olmaya başlar ve hatta bu arada, malzeme parçalanarak dağılabilir de, bunun için malzemelerin kullanılmadan önce özel deneylerden geçirilmesi isabetli olur. (Çetin, 1991, s.17).

Boşluklu dökülmüş beton, yüzeydeki suyu emer, bu soğuk iklim koşullarında donarak hacmi artırır. Bu artış betonun bağ kuvveti (adezyonu) üzerinde büyük bir gerilme oluşturur ve betonu parçalar; devamlı tekrarlanan işlem, betonu bozar. Bundan korumak için tek çözüm suyun emilmesini önlemektir.

Su ve nem kimyasal reaksiyonlarda rol oynayan en önemli iki etkidir. Kimyasal reaksiyonlarla bozulmanın ilk aşamasından sonra, donma ve çözülmenin yıkıcı etkileri belirgin olarak karşımıza çıkar. Bu nedenle, betonarme malzemenin bulunduğu ortamdan suyu uzaklaştırmak yapının servis ömrü açısından yararlı olacaktır.



Resim 1.6 Donma-çözülme sonucu betonda oluşan çatlaklar.

1.5.3. Kimyasal etkiler

“Zararlı kimyasal etki, beton veya donatılı betonda betonu kimyasal yönden etkileyerek bu elemanın başta dayanım olmak üzere diğer özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek kalitesini düşüren ve hizmet süresini azaltan kimyasal etkilere” (T.S.E. 3440, 1982, s.1). Kimyasal etkilenme iç ve dış nemlenmelerin etkisi ile oluşur. Betonda çiçeklenmeler, yosunlanmalar ve organizmaların etkisi şeklinde görülen bu gibi etkilerin zararlarından korunabilmek amacı ile dayanımı yüksek, iyi sıkıştırılmış ve agrega ile çimentosu uygun seçilmiş betonlar üretilmelidir. Kimyasal maddelerin beton ile doğrudan doğruya etki etmesi daha çok bu tür maddelerin bulunduğu fabrika, imalathane v.s. gibi yapılar da görülmektedir. “Sertleşmiş beton kendisi bir bazdır. Genel olarak denilebilir ki bütün bazlar zararsızdır, bütün asitler ise zararlıdır.” (Kocataşkın, 1959, s.14). Kimyasal maddelerin ve özellikle asitlerin etkisine karşı alınması gereken önlem, betonun tecrit edilerek bu maddelerden etkilenmesini engellemektir. Ayrıca doğal suların da beton üzerinde önemli derecede olumsuz etkileri vardır. Aşağıdaki tablo 1.1 bazı maddelerin etkileri hakkında bir fikir vermesi amacı ile hazırlanmıştır.

Tablo 1.1 Kimyasal maddelerin betona etkisi (Kocataşkın, 1959, s.14)

MADDELER	ETKİSİ
Petrol yağları	Yoktur.....
Katran dilatasyonu ürünleri.....	Pek hafif.....
İnorganik bütün asitler.....	Vardır.....
<u>Organik maddeler:</u>	
Asetik asit.....	Hafif.....
Okzalik ve kuru karbonik asit.....	Yoktur.....
Sulu karbonik asit.....	Hafif.....
Laktik ve tannik asit.....	Vardır.....
Nebati yağlar.....	Hafif.....
<u>İnorganik tuzlar:</u>	
Kalsiyum-Sodyum-Magnezyum.....	Vardır.....
Potasyum-Alüminyum-Demir-Sülfatları...	
Sodyum-Potasyum-Klorürleri	Yoktur.....
Magnezyum-Kalsiyum-Klorürleri.....	Hafif.....
<u>Diğer maddeler</u>	
Süt.....	Hafif.....
Nebati üsareler.....	Vardır.....
Küsbe, glüköz, şurup.....	Hafif.....

Sertleşmiş betonu bozan en önemli etkilerin başında kimyasal etkiler gelmektedir. Betonun prizini kimyasal değişimler meydana getirir ve bu değişimler beton prizini tamamladıktan sonra da uzun bir zaman devam eder. Bu nedenle, beton kimyasal bakımdan hiç bir zaman “ölü bir cisim” olarak değil, içinde sürekli değişimler olan bir malzeme olarak kabul edilmelidir. Böyle kimyasal bir özelliğe sahip olan malzemeye dışarıdan bir madde etki ettiği zaman ve eğer ortam şartları da uygun ise, etki sonucunda oluşabilecek kimyasal değişiklikler malzemenin zarar görmesi, bozulması ve sonunda da dağılması gibi dayanımını düşürebilecek sakıncalı durumlara sebep olabilir. Kimyasal maddelerin etkime şekli sadece betonun bir sıvı ile etkileşmesi durumunda olur. Çünkü kimyasal maddenin betonu etkileyebilmesi için sıvı halde bulunması gerekir. Sıvıdan başka katı ve gaz halindeki maddeler ancak sıvılarda eridikten sonra etkileyebilirler. Katı maddelerin betona zarar verdiği durumlar, suyun katı maddenin zararlı etkiyen bileşimini (sülfat) eritmesinden sonra oluşur. Gazlar da katılar gibi, yalnız su karşısında -suda erimiş olarak- etkilerler. Örnek olarak gaz halindeki HCl’in ancak suda eriyerek etkileyebildiği gösterilebilir. Katı, sıvı ve gaz halinde bulunan maddelerin beton üzerine etkimleri arasında bir fark yoktur. Çünkü maddenin etkimesi için sıvı halinde bulunması gerekli olduğundan, sıvıdan başka, katı ve gaz halindeki maddeler sıvılarda eridikten sonra etkileyebilirler. Bu nedenle kimyasal maddelerin betona etkimleri anlatılırken bunların gaz, sıvı, katı halleri arasında bir fark gözetilmemiş, yalnızca bunlara ait kimyasal etkiler göz önünde tutulmuştur. Kimyasal maddeler: Bazlar, asitler, tuzlardır. Tuzlar, baz ve asitlerin birleşmesinden doğarlar. Bu üç kimyasal grup arasındaki fark aşağıdaki basit formülden kolayca anlaşılabilir:



Bazlar: Sodyum hidroksit (NaOH). Sabun taşı da denilir. Yakıcıdır.

Asitler: Hidroklorik asit (HCl) madenleri eritir.

Tuzlar: Asit ve bazlar birleşerek tuz yaparlar.

“Bileşimlerinde, serbest asitler, sülfürler, sülfatlar, amonyum tuzları, bazı magnezyum tuzları, bazı organik bileşikler bulunan su ve zeminler beton üzerinde zararlı etki yaparlar. Ayrıca sertlik dereceleri düşük suların beton üzerinde olumsuz etkileri vardır.” (Baradan, 1998, s.191). Kükürtlü hidrojen (H_2S) ve kükürt dioksit (SO_2) içeren gazlar, nemle birlikte bulundukları zaman betona etkileri zararlı olabilir. Aşağıda betonu olumsuz etkileyen zararlı kimyasal maddelerin etkileri ve sonuçları açıklanmaktadır.

Bazılar zarar verici bir etki yapmazlar. Asitler ise etkiyerek önce serbest olan alkaliyi (kireci) eritir, sonra da zayıf bir asit olan silisik asidi, bileşimlerinden, beraberce bulunduğu kuvvetli bazla (kireçle) birleşmek için açığa çıkarılır. Betonun bileşiminde bulunan çimento, serbest kireci aracılığı ile ayrı bir etki yapar. Çimentonun bazik kökü, tuzun asit kökü ile birleşerek yeni bir tuz yapar. Bu kimyasal olay, çimentonun bozduğu tuzun bazı, kuvvetli baz olan kireçten daha zayıf olduğu zaman zararlı bir etki yapar. Bu nedenle, magnezyum sülfat, magnezyum klorür, magnezyum nitrat ile demir ve alüminyumun çok zayıf olan bazları, magnezya, demiroksidi ve alümin kuvvetli bir asit olan sülfürik asidin (sülfattan gelme), kloridik asidin (klorürden gelme), nitrik asidin (nitratından gelme) asit kökünü zayıf bir şekilde tutabildiklerinden, kireç daha zayıf olan bazların elinden asit köklerini alarak betona zarar verir. Bu olay **betonun zehirlenmesi şeklinde** de tanımlanmaktadır. Çünkü serbest kireç tuz haline geçtiği gibi kalsiyum silikat halinde birleşik şekilde bulunan kireç de şeklini değiştirir. Bu değişim sonucunda kireç, kum taneciklerini çimentoda olduğu gibi birbirine yapıştıracak güçte değildir. Örneğin, kalsiyum-alüminyum-sülfatın bulunduğu hacim artması çok büyük olduğunda beton çatlar. Ayrıca yağlarında betona zararlı etkileri vardır. Gliserin bazı kireçten daha zayıf olduğundan betonun kireci tarafından açığa çıkarılır ve kireç yağ asidi ile yeni bir tuz oluşturarak betona zararlı bir etki yapar.

Asitlerin, tuzların ve diğer kimyasal bileşimlerin zararları genellikle çimento ile etki eden kimyasal madde arasındaki karşılıklı etkiden doğar. Bu etkileşimin şiddetini arttıracak etkenler (ortam koşullarının reaksiyonu hızlandırması gibi) ne kadar fazla olursa betonda oluşabilecek kimyasal etkinin zararları da o kadar büyük

olur. Bu etki, kimyasal eriyiğin yoğunluğunun büyük, miktarının ve ısı derecesinin yüksek olması ile çoğalır. Betonun sıkı yapılması, beton yüzünün koruyucu bir madde ile yalıtılması ve kimyasal maddelerin uzaklaştırılması ile zararlı etki azaltılabilir.

Beton bazik bir karaktere sahiptir ve bileşimindeki zayıf asit (silis asidi) kuvvetli bir baz olan kireç ile birleşmiştir. Ayrıca, serbest olarak da fazla kireç vardır. Bu nedenle, alkalilerin çimentoya karşı az ilgili oldukları ve diğer maddelerle örneğin sülfatlarla karışık olmadıkları zaman, genellikle zararsızdırlar.

Klorlu suyun etkisi sulu kloridrik asidin ekisi gibidir. Klorlu suyun betona etkimesi sonucu, suda eriyen kloritler oluşur. Bunlar betonu geçerken kireci eriterek alırlar. Betonun diğer yüzüne gelince havanın karbonik asidi ile bozularak klor uçar ve kalsiyum karbonat oluşur. Bu etkileşmenin sonucunda beton yüzeyinde beyaz lekeler kalır.

Ayrıca toplam sertlik derecesi düşük, çözünmüş olarak kalsiyum ve magnezyum tuzları içeren sular betondaki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'i çözebilir. pH değeri 6.5'dan küçük olan sular beton bileşiminde bulunan çimento ve agrega içindeki karbonat kökenli tanecikler üzerinde çözücü ve ayrıştırıcı etki yapar. Zararlı suların en önemli etkileri karbonik asit, sülfat ve deniz suyu etkisidir.

- **KARBONİK ASİT ETKİSİ:** Su içinde erimiş karbonik asit aktif durumda bulunuyorsa, başka bir deyişle suyun pH değeri 7'den küçük ise zararlıdır. Bu nedenle tatlı sular beton için tehlikelidir. Karbonik asit çimento içindeki serbest kireçle birleşerek onu suda erir duruma getirir ve böylece betonu eriterek dayanımını kaybetmesine neden olur. Alınabilecek en geçerli önlem suyu yapıdan uzaklaştırmak veya yalıtım yaparak betona etki etmesini engellemektir. Ayrıca betonun geçirimsizliğini arttırmak, serbest kireci az olan çimentolar kullanmak (yüksek fırın) veya özel katkı maddeleri kullanmak gibi önlemlerde alınmalıdır.

- **SÜLFAT ETKİSİ:** Bataklık sularında, dere çamurlarında ve maden sularında sülfat bulunmaktadır. *Bu gibi zemin veya sularla temas eden betonun (borular, kazıklar, temeller v.s.) içerisinde çimento basili adı verilen bir kalsiyum-sülfo-alüminat tuzu teşekkül etmeye başlar ki, 30 mol. billur suyu aldığı için hacmini çok fazla arttırarak betonu şişirip patlatmaya, parçalamaya sebep olur. Bu sebeple şüpheli suları (siyaha kaçan renk, kükürt kokusu) analize tabi tutmak ve ihtiva ettikleri serbest SO_3 miktarı %0.03'ü geçtiği takdirde derhal tedbir almak lazımdır.* (Kocataşkın, 1959, s.15). Betonun dayanımını ve geçirimsizliğini arttırarak, özel katkı maddeleri kullanarak sülfat etkisine karşı önlem alınabilir. Ayrıca suyun içerdiği sülfat miktarı % 0.1'den fazla ise mutlaka betonu çevre su etkisinin zararlı etkilerine karşı dayanıklı bir yalıtım ile korumak gerekir.

- **DENİZ SUYUNUN ETKİSİ:** Deniz suyu, içinde NaCl ve az miktarda $MgSO_4$ bulunduğu için, zayıf bir sülfat etkisi yapar. Deniz suyu sülfat içermesi nedeni ile betona zarar verir. Kimyasal etkiye ek olarak betonun gözeneklerinde kristalleşen tuzun ek basıncı da betonda patlamalara yol açar. Kristalleşme suyun buharlaşması sonucu olduğundan bu tip hasarlar, su seviyesinin üstünde kalan yüzeylerde görülür. Tuz eriyiği beton içinde kapiler yolla yükseldiğinden, betonun geçirimsizliğinin önemi burada da kendini göstermektedir. Su seviyesinin değiştiği, sürekli ıslak-kuru kalan bölgeler, tamamen su içinde kalan bölgelere kıyasla çok daha fazla hasar görürler. Bozulmanın ilerlemesi belirli bir süre sonunda boşluklarda magnezyum hidroksit birikimi ile yavaşlar. Tropik iklimlerde bozulma daha hızlı ilerler. Deniz suyunun olumsuz etkisi don, dalgaların darbe ve aşındırıcı etkisi ile artar. Deniz suyundaki sülfat etkisi, yer altı suyundaki sülfat etkisine benzemekle birlikte, betonda genleşme yaratmaz. Bunun nedeni deniz suyu içinde bol miktarda bulunan kloridlerin genleşmeyi kısıtlayıcı etkisidir. Alçıtaşı ve kalsiyum sülfoalüminat deniz suyundaki klorid eriyiğinden çok daha fazla eriyebilir olduğundan deniz suyu içinde eriyip giderler.

Aşağıda resim 1.7'de deniz suyu etkisi ile betonarme elemanda oluşan bozulma gösterilmektedir..



Resim 1.7 Deniz suyu etkisi ile betonarme elemanda oluşan bozulma.

Betonun dökülmesi ve donatı çeliğinin korozyonu.

Magnezyum sülfat (MgSO_4) ve magnezyum klorür (MgCl_2) gibi magnezyum tuzlarının, betondaki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile etkileşmesi sonucunda yumuşak ve jelatinimsi bir madde olan magnezyum hidroksiti oluştururlar. Magnezyum sülfatın sülfat etkisi vardır ve bazı koşullarda betona en önemli sülfat zararını zor eriyebilme özelliği ile MgSO_4 verir.

Amonyum tuzlarının (amonyum karbonat, amonyum oksalat, ve amonyum florür dışında) betondaki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'i çözücü etkisi, ayrıca amonyum sülfatın da sülfat etkisi vardır.

Bitkisel ve hayvansal yağların, betondaki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile etkileşmesi sonucunda yağ asidi kalsiyum tuzlarını oluşturur. Madensel yağlar, beraberlerinde serbest asitler ile bitkisel ve hayvansal yağların bulunmadığı durumlarda betona zarar vermez. Maden kömürü katranı yağları ise genellikle fenol (karbolik asit) içermeleri nedeni ile betonu etkilerler.

Bir başka kimyasal bozulma da silisli agregaların çimento ortamındaki alkalik sıvılarla reaksiyonu sonucu gözeneklerde oluşan jel bozulmasıdır. Bu jel, bünyesine su alarak kabarıp, bununla meydana gelen gerilme betonun parçalanmasına neden

olur. Silisli agregalardan kaçınılarak ve karışım suyu azaltılarak jelin genişlemesi önlenir ve koruma sağlanır.



Resim 1.8 Alkali-Silika tepkimesi sonucunda betonda oluşan çatlaklar, kabarmalar, ufalanmalar ve dökülmeler.

Malzemelerdeki kimyasal değişimler sonuçta tamamen yeni bir malzeme oluştururlar. Bu yeni malzeme orijinalinden tamamen farklıdır ve yeni kimyasal özelliklere sahiptir. Genelde kimyasal değişim fark edilebilir ısı içerir. Hacimde değişim ve genellikle genleşme olur. Bina yapımı sırasında oluşan kimyasal değişimler zararsızdır, ancak tamamlandıktan sonra olanlar ise zararlıdır. Bütün malzemeler herhangi türden bir kimyasal reaksiyona katılırlar. Fakat reaksiyonun derecesi değişiktir. Burada kimyasal etkiler, malzemeler üzerinde zararlı etkileri olan kimyasal reaksiyonlar anlamında kullanılmıştır. Gözenekli malzemelerde reaksiyon malzeme yüzeyinde başlar, ancak malzemenin nüfuz edilebilirliğine bağlı olarak malzeme bünyesine de geçer. Beton kimyasal reaksiyonlardan en çok etkilenen gözenekli bir yapıya sahip olan malzemedir. Kimyasal etkilerin türleri birbiriyle tamamen ilgili değildir. Betonarme elemanın üzerinde önemli kimyasal etkileri şu başlıklar altında inceleyebiliriz:

- Asit etkisi
- Sülfat etkisi
- Karbonatlaşma
- Donatı çeliğinin korozyonu
- Eriyebilir tuzlar-çiçeklenme
- Yangın etkisi

Zararlı kimyasal etkileri olan su, zemin ve gazların etkisinde kalacak betonlar için T.S.E. 3440 standardında belirtilen yapım kurallarına uyulmalıdır.

1.5.3.1. Asit etkisi

Asitlerin malzemeler üzerindeki zararlı etkileri çok çeşitlidir. Bu, malzemelerin gösterdikleri dirence, yoğunluğa ve asitlerin kaynağına göre çeşitlilik gösterir. Atmosferik gazlardan etkilenen malzemelerin başında çimento esaslı malzemeler gelmektedir. En önemli asit iki gazın (CO_2 ve SO_2) yağmur suyuyla birleşmesiyle oluşur. En sık rastlanan asitler ve etki şekilleri ise:

Beton malzemede kuvvetli çözücü etki yapan kimyasal maddeler sülfürik asit (H_2SO_4), hidroklorik asit (HCl) ve nitrik asit (HNO_3) gibi serbest mineral asitleridir. Kükürtlü hidrojen (H_2S) ise zayıf bir asittir ve ancak gaz halinde, nemli beton yüzeyinde su filmi içinde çözünüp, havanın oksijeni ile birleşerek sülfatları veya sülfürik asidi oluşturarak zararlı bir etki yapabilir.

Kükürt dioksit (SO_2) ise çoğunlukla yanma sonucu oluşan gazlarda bulunur ve beton içine sızarak veya nemli beton yüzeyinde çözünerek sülfüroz asit (H_2SO_3) ve sülfidler oluşturabilir. Bu kimyasal değişim sonucunda, oksijenin yeterli olduğu ortamlarda sülfürik asit ve (H_2SO_4) ve sülfatları oluşturarak zararlı etki yapabilir. CO_2 gazının su ile etkileşimi sonucunda karbonik asit oluşur.



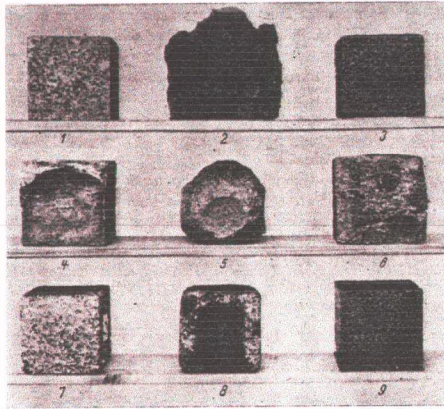
Karbonik asidin ise çimentodaki kalsiyum hidroksit üzerinde kireç çözücü etkisi vardır.

“Asetik asit (sirke asidi), laktik asit (süt asidi) gibi serbest organik asitler, kimyasal yapılarına uygun tuzlar oluşturarak, çimento harcındaki kireç üzerinde çözücü etki yaparlar. Ancak organik asitlerin etkisi, inorganik asitlere kıyasla daha azdır.” (Baradan, 1998, s.193).

Bütün asitler betonu etkiler ve eğer sıva tabakası yok ise betonun kısa zamanda zarar görmesine neden olurlar. Bu zararlı etki, asidin betonun bazı (kireç) ile birleşerek tuz yapmasından meydana gelir. Oluşan tuzlar da zamanla suda erir ve betonun yapısında bağlayıcı bir rol oynayan çimentonun direncini zayıflatır. H_2SO_4 'de, erimeden başka kabarmada görülür.

H_2SO_4 , HCl ve azotik asit en fazla zararlı etki yapan asitlerdir. HCl, betonun kirecini klorür haline getirir. Bu tuz suda çok eridiğinden HCl'ün bozucu etkisi büyüktür. Ayrıca betonarmenin kalitesini düşüren etkenlerden kloridlerin etkisi önemlidir. Klorid iyonları betonda yerel koşulların gereği prizi hızlandırıcı katkı maddesi olarak eklenen kalsiyum klorid biçiminde bulunurlar. Bu klorid iyonları gözeneklerdeki suyun elektriksel iletkenliğini yükseltir ve çelik donatıyı koruyan etkisiz yüzeyi bozarak korozyona neden olurlar. Çelik donatı paslanırken hacmini artıracak için nüfuz eden klorid etkisinin oluşturacağı gerilme betonu çatlatır. Böylece korozif bölgenin büyük ölçüde yayılmasına neden olunur. Betonun kalıba yerleştirilmesi işleminde ileri teknolojik vibrasyon yöntemleri kullanılarak donatının etrafını iyi kaplayacak biçimde boşluksuz, yoğun, katı kıvamda beton uygulayarak veya klorid iyonlarına karşı yüksek bir geçirgenlik direnci sağlayacak elastik bir zar örtü ile yüzeyi kaplamak sureti ile bu iyonların nüfuzu önlenabilir.

H_2SO_4 betonun kireci ile birleşerek alçı yapar. Alçı, HCl'in etkisinden oluşan $CaCl_2$ gibi suda çok erimediğinden betonun deliklerini tıkayarak koruyucu bir tabaka yapar. Bu nedenle H_2SO_4 düşük yoğunluklarda kendi tuzları ile HCl ve azotik asit daha az zararlıdır. Fakat uzun zaman etkiyecek olursa miktarı artan alçı "alçı şişmesi" yapar ve betonun kabarak parçalanmasına neden olur. Aşağıda şekil 1.8'de sülfürik asidin betona olumsuz etkileri ve betonda oluşabilecek bozulmalar gösterilmiştir.



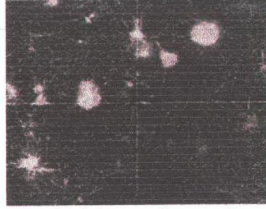
Şekil 1.8. Sülfürik asit etkisi ile betonda oluşan bozulmalar.1-suda, 2-keten yağında, 3-kloridrik asitte, 4-sodyum sülfatta, 5-magnezyum sülfatta, 6-sülfürik asitte, 7-kötü sıvanmış, 8-iyi sıvanmış, 9-çok iyi sıvanmış beton küplerin sülfürik asitte aldıkları şekilleri göstermektedir. (Grün, 1945, s.11).

Etkime şekli, etkiyen eriyiğin özelliğine bağlıdır. Şekil 1.8'de görüldüğü gibi kloridrik asit, karbonik asit gibi serbest asitler önce betonu, iç kısmına dokunmadan eritirler. (no:7) daha koyu asitler yavaş yavaş içine etkirler. Karbonik asit sadece dış yüze etkir. Sodyum sülfat ve magnezyum sülfatın etkilerinde de önce köşeler yenir (no:4), daha sonra da, beton çatlar (no:5), en sonunda beton (no:6) da görüldüğü gibi çatlar veya (no:2) de görüldüğü gibi çatlayarak dağılır. Bunlara karşı kullanılan koruyucu maddeler bozulmalara engel olabilir (no:9), veya etkiye az olur (no:8).

1.5.3.2 Sülfat etkisi

Sülfat etkisi deyimi genellikle solüsyon halindeki sülfatlarla çimento ve hidrolik kirecin belli bileşenleri arasındaki reaksiyonu belirtmek için kullanılır. Reaksiyon genişlemeye, yumuşamaya, parçalanmaya ve sonuçta malzemenin gücünü kaybetmesine neden olur. En çok etkilenen malzemeler çimento esaslı malzemelerdir. Magnezyum sülfat en saldırgan ve bozucu olanıdır. Magnezyum sülfat etkisi sonucunda harç ve beton yüzeylerinde sert mat bir kabuk oluşur. Bu

kabuk magnezyum hidroksitin çimento esaslı ürünlerin gözeneklerinde birikmesidir. Sülfatlar (sülfürik asit tuzları) her zaman tehlikelidirler. Çünkü kalsiyum, alüminyum sülfatın oluşmasına ve sonucunda şişmelere sebep olurlar. Sülfat bozulması, betonlarda görülen bozukluğun en fazla rastlanı ve en tehlikelidir. (Bkz. Resim 1.9).

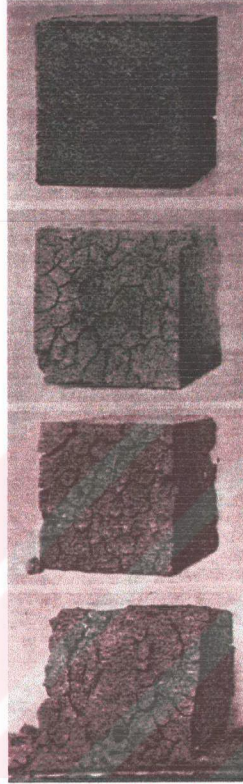


Resim 1.9 Sülfatın betona etkisiyle meydana gelen ve çimento basili olarak da tanımlanan bozulma. (Grün, 1945, s.80).

Sülfatın etki derecesi şu etkenlere bağlıdır:

- Sülfat eriyiğinin yoğunluğu
- Betonun doluluğu ve bileşim oranı
- Çimentonun özellikleri ve agreganın cinsi
- Etkinin süresi ve şekli

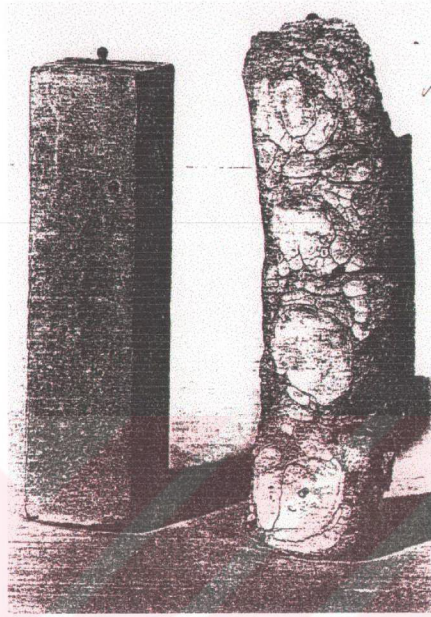
Sülfat eriyikleri betona hızla nüfuz ederek, çimento içindeki alüminatlarla birleşerek "ettringite" adı verilen hacmi çok büyüyen kristaller oluşturur. Büyüyen kristallerin genişleyici etkisi betonun çekme dayanımını aşır, betonu çatlatır, o bölgede kırılğan hale getirir. Beton zamanla dağılıp, unufak olur. bu olayın en belirgin izleri yüzeyde beyaz tuz birikimleridir. (Baradan, 1998, s.193). Sülfatın, çimento üzerindeki zararlı etkisi ise $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ve $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) ile etkileşmesi sonucu hacmi çok genişleyen alçı ve kalsiyum sülfaloalüminatın oluşmasıdır. Bu genişleme sonucunda beton parçalanır. Resim 1.10'da sülfat eriyiğinde bırakılan bir beton numunede görülen bozulma aşamaları gösterilmektedir.



Resim 1.10 Sülfat eriyiğinde bırakılan beton numunede oluşan bozulma. (Grün, 1945, s.81).

Resim 1.10'da görüldüğü gibi sülfat etkisinde bırakılan beton numunede önce çatlaklar oluşur ve dağılma başlar, sonra da beton şişerek parçalanır.

Sülfat etkisi ile betonda meydana gelen bozulmalar genellikle köşelerde, sivri noktalarda, birleşim yerlerinde başlar ve yüzeyde beyazımsı izlerle görülür. Daha sonra ilerleyen çatlaklar, pullanma ve dökülmelerin ardından beton kırılgan ve yumuşak bir şekle gelerek dağılır.



Resim 1.11 Sülfat etkisi ile oluşan çatlaklar, kabarmalar ve dökülmelerin ardından betonun dağılması. (CEB, 1992, S.21).

Sülfatın en önemli zararlı etkilerinden biri de korozyondur. Betonda sülfat korozyonu için beton bileşenlerini tek tek incelemek gerekir. Bunlardan en önemlisi çimentolardır. Sülfat korozyonu nedeni ile betonun ya da harcın bozulması, C_3A nın sülfatla reaksiyona girerek $3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.3H_2O$ trikalsiyum sülf aluminat haline dönüşmesiyle oluşur. Trikalsiyum sülf aluminat bünyesinde su tutmuş olduğundan belli bir oranda bir hacim genişlemesine neden olur. Betonun çatlaması, parçalanması, mukavemetinin azalması esas itibarı ile bu genişleme sonucu meydana gelir. Beton karışım suları miktar olarak az olduğundan, karışım suyu ile beton bünyesine giren sülfat pek tehlike yaratmaz. Buna rağmen beton karışım sularının fazla miktarda sülfat içermesi istenmez. Alçılı suların aktığı sel ve dere yataklarından alınan agregalar çeşitli şekilde kalsiyum sülfat mineralleri içerebilirler. Böyle bir agrega ile üretilmiş beton su ile birleştiğinde sülfat korozyonu meydana gelir. Sülfat korozyonundan korunmak için (C_3A) yüzdesi düşük olan çimento kullanılmalıdır.

Ayrıca portland çimentosuna puzolan katılmasında çok yararlıdır. Sülfat korozyonuna karşı, beton içindeki çimento miktarını artırmak, iyi kalitede agrega kullanmak ve düşük su/çimento oranlı karışım hazırlamak, sıkışmayı tam olarak sağlamak, pas payını standartlarda ve yönetmeliklerde belirtilen minimum değerden az yapmamak vb. şartlarla geçirgenlik azaltılarak önlem alınabilir. Bütün iyon reaksiyonlarında olduğu gibi, sülfat reaksiyonunda ancak suyun varlığı ile oluşur. Bu nedenle sülfat korozyonundan korunmak için en etkili çözüm, betonun tam bir izolasyonudur. Sülfat korozyonuna uğramış bir betonun onarımında, bu beton üzerine yeni bir kaplama yapılması tavsiye edilmez. Sülfat korozyonuna uğramış bir betonu söküp atmaktan başka çözüm yoktur.

Beton yapılar kullanım sırasında değişik şekillerde sülfatlı ortamlarla karşılaşabilmektedir. Özellikle temel betonların bulunduğu doğal zeminler yanında yer altı suları da sülfat tuzlarını taşıyabilir. Deniz suları değişik oranlarda sülfat içerirken, asit yağmurları da bir başka sülfat etkisi oluşum şeklidir. Bunların dışında sanayi atıklarının uzaklaştırılması ve gübre uygulamalarında sülfat etkisi ortaya çıkabilir.

Betonu sülfat etkisinden korumak için geçirimsizliğini azaltmak fiziksel bir önlem olarak düşünülebilir. Bunu sağlamak için daha iyi yerleştirme, doluluk oranını yükseltme, su/çimento oranını azaltma (örneğin akınlaştırıcı katkı ile) yanında yeterli kür ve yüzey uygulamaları ele alınabilir. Diğer yandan yüksek sıcaklıkta kür uygulamanın da sülfata dayanıklılığı artırdığı belirtilmiştir. Sonuç olarak sülfata dayanıklılıkla çimento bileşiminde bulunan C_3A miktarı kadar hidrasyon sonucu ortaya çıkan $Ca(OH)_2$ 'de önemlidir. Toprakta sülfat yoğunluğu ile birlikte yer altı suyunun hareketi de etki derecesini artırır. Özellikle beton, yan yüzeylerden basınç altında sülfatlı suyun etkisi altında kalıyorsa etkileşmenin şiddeti çok artar. Ayrıca betonda sürekli ıslanma-kuruma olayları da zararı artırılabilir. Buna karşılık beton hareketsiz su içinde tamamen gömülü durumda ise zarar daha az olabilir.

1.5.3.3. Karbonatlaşma

Betonun zayıflığı gözenekli olmasıdır. Gözeneklilik, s/ç değerinin artırılması ve hidrasyondan arta kalan su ile doğru orantının üzerinde bir artış gösterir. Alkalik korumanın temeli, Ca(OH)_2 'in saf yağmur suyu içinde bile kolaylıkla çözünür olmasıdır. Üst yüzeye yakın bölgelerdeki bu kayıp olayına hava içindeki kirlilik maddelerinin reaksiyonu da eklenir.

Beton, dökülüp, donmaya bırakıldığında alkalindir. Karbonatlaşma, yani betonun gözeneklerinden ve mikro çatlaklardan içeri etki eden karbondioksit, bu dengeyi bozarak, betonu düşman bir asit çevreye dönüştürür, bu çevrede zamanla çelik çubukların çapını genişleterek aşınma hücreleri oluşumunu başlatır ve zamanla betonun çatlamasına neden olur.

Bu konu “Bölüm 3.1 Betonarme elemanda karbonatlaşma ve oluşan bozulmaların dayanıklılığa etkisi” bölümünde ayrıntılı olarak incelenecektir.

1.5.3.4. Donatı çeliğinin korozyonu ve korozyondan kaynaklanan etkenler

Korozyon, madenlerin bulundukları ortamdaki maddelerle kimyasal reaksiyon yapmaları sonucu zarar görmeleri olarak genel anlamda tanımlanabilir. Korozyon, bir malzemenin yüzeydeki kimyasal ve/veya elektro-kimyasal etkilerle uğradığı değişikliklerdir. Genelde korozyon bir tür bozulmadır. Korozyonun etkileri strüktürel zayıflık, diğer yapı malzemelerinde ayrışma, suyun yapıya girmesi, görünüşteki değişiklikler gibi etkilerle kendini gösterir. Klor etkisi nedeniyle çelik donatının korozyonu, betondaki bozulmanın önemli sebeplerinden biridir. Genelde korozyon aşağıda sıralanan yapılarda görülür:

- Deniz ortamı içindeki yapılar.
- Havada bulunan klor iyonlarına bağlı olarak, sahile yakın yerlerde bulunan binalar ve diğer yapılar.
- Yüksek klor yoğunluğu içeren topraklarla temas halindeki yapılar.

Metaller normal hava içinde üst yüzeylerinde ince bir oksit tabakası oluşuncaya kadar bir başlangıç korozyonuna uğrarlar. Bu ince oksit tabakası korozyon olayını pratik olarak durdurur ve altındaki metali korur. Buna yaptığı işlev nedeniyle pasif tabaka adı verilir. Demirde de böyle bir pasif tabaka oluşur. Ancak bu normal atmosfer koşullarında dayanıklı değildir. Kuvvetli bir alkalik ortamda ise bu pasif tabaka dayanıklıdır ve korozyon işlevi başlamaz. Pasif tabakanın koruyuculuk etkisi betonun pH değerinin 9.5'un üzerinde olması durumunda vardır. Bunun nedeni beton bileşiminde bulunan hidroksit iyonlarının yüksek konsantrasyonudur. Böylece oluşan demir hidroksit (pas) eriyik içinde çözülür ve beton içindeki Ca(OH)_2 ile birlikte erimeyen ve pasive eden bir koruyucu tabaka oluşturur. Hidroksit iyonları pasif tabakayı sertleştirir ve pH değeri arttıkça pasif tabakanın dayanımı da artar. Ancak serbest klor iyonları, pasif tabakanın içine işleyerek yapısının gevşemesine sebep olur. Atmosferden beton içine giren karbondioksit gibi etkilerin de bu pasif durumu değiştirdiği görülmüştür. Betonarme çeliğinin korozyonu tamamen içinde bulunduğu betonun şartlarına bağlıdır.

Bu konu “Bölüm 3.2 Donatı çeliğinin korozyonu ve oluşan bozulmaların dayanıklılığa etkisi” bölümünde ayrıntılı olarak incelenecektir.

1.5.3.5. Eriyebilir tuzlar-çiçeklenme (Efflorescence)

Kireçli bileşenlerin sızması yüzeyde bazı koşullarda beyaz tuz birikimlerine yol açar. Gözenekli malzemelerin yüzeyinde, tuzların çözünmüş bulunduğu suyun buharlaşması sonucu, bu tuzların birikmesine “çiçeklenme” olarak tanımlanır. Buharlaşmada tuzların yoğunluğu sonuçta kristalleşene kadar artar. Belirli durumlar altında çözülebilir tuzlar malzemeler üzerindeki zararlı etkilerden sorumlu olabilirler. Çiçeklenmenin oluşumu birçok fiziksel olayın yanı sıra gözenekli malzemelerde su ve tuz transferiyle ilgilidir. Bu olay daha çok gözeneklerinden suyun köpürerek geçtiği kötü sıkıştırılmış, çatlaklı betonlarda, veya iyi düzenlenmemiş derzlerde görülür. Beyaz birikimler CaCO_3 veya $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ olabilir.

Çiçeklenme de önemli iki etken vardır ve birbiriyle yakın ilişkilidir.

- Yağmur suyuyla ıslanan malzemenin porozitesi, özellikle ince ve kaba gözenekli malzemeler arasındaki fark ıslanma ve kuruma süreçlerinde önemlidir. Bu genellikle malzeme homojen olmadığında ve değişik fiziksel özelliklere sahip malzemeler bir arada kullanıldığında olur.

- Malzemedeki tuzların miktarları önemlidir. Bunun önemi; tuzların çözünmek için suya gereksinimleri vardır ve tuzların ulaşımı için su “ulaşım ortamı” oluşturur. Sonuç olarak su onlara ulaşamazsa zararsız olarak kalırlar.



Resim 1.12 Betonda beyaz lekelerle kendini gösteren çiçeklenme.

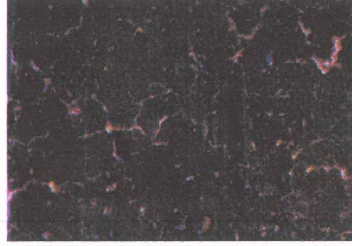
Genellikle çiçeklenme yıkanmamış deniz kumu kullanılan beton ve sıvalarda görülür. Agrega içinde bulunabilen alçıtaşı ve alkaliler de benzer görünüm yaratabilir. Kireç bileşenlerinin erimesi dışında, çiçeklenme yalnızca görünüm açısından kusur oluşturur.

1.5.3.6. Yangın etkisi

Yapı strüktürünü ve malzemelerini etkileyen önemli faktörlerden biri de yangın etkisidir. Yapıda yangın, strüktürel yapı sistemi, kullanılan malzeme, planlama şekli vb. gibi koşullara bağlı olarak etkisini değişik biçimlerde göstermektedir. Yangına karşı yapının belirli bir süre direnebilmesi; can, mal kaybının önlenmesi, yapının az hasarla kurtulması bakımından hedeflenmektedir. Ancak yüksek sıcaklıklara dayanıklı malzeme vardır. Burada önemli olan yapı fiziki açısından yanma, ya da fonksiyon dışı kalma süresinin geciktirilmesidir. Bu da malzemenin erime noktasının yüksek, ısı iletkenlik katsayısının küçük olmasını gerektirmektedir. Yangın malzemede fiziksel ve kimyasal etki yaratmaktadır. Fiziksel etki; ısısal deformasyon, erime, dağılma sonuçlarını yaratmaktadır. Sıcaklık artışı ile malzeme iç yapısındaki molekül bağlarının uzaması, ısısal deformasyon; elastik şekil değiştirmenin artması ve sonuç olarak iç yapı kristal sisteminin dağılarak malzemenin katı halden akıcı hale geçmesi de erime sonucunu doğurmaktadır. İşte ısı iletkenlik katsayısı da ısıнын iç yapıda süratle iletilmesi sonucunu ortaya çıkaracağından beton ya da demir malzemede meydana gelecek deformasyonlarda etkili olmaktadır. Betonlu oluşturan malzemeler de yangında da farklı davranış gösterebilmektedir. Kullanılan agrega cinsi, granülometrik yapı, çimento cinsi ve oranı, demir donatı cinsi, kesiti; donatının beton yüzeyden uzaklığı, pas payı, yüzeyin çıplak veya korunmuş olması vs. gibi pek çok faktör yangına karşı direnmede önemli etkindir. Betonun yangına direnci beton içindeki agreganın ağır ya da boşlukluluğu ile yakından ilişkilidir. *Beton malzemenin bünyesinde bulunan Ca-CO_3 - CaSO_4 , Ca(OH)_2 gibi yapılar yangında kimyasal değişime de uğrayarak molekül yapısının bozulmasına, değişimine neden olurlar. Malzemede molekül yapısının değişimi genelde kristal suyunun kaybolması ile meydana gelmektedir. Portland çimentosu bünyesinde yer alan CaO ; 400-450 C de Ca(OH)_2 haline dönüşerek hacim genişlemesine ve çimentonun kristal suyunu kaybederek bağlayıcılık değerinin yok olmasına neden olmaktadır. Beton başkalaşıma uğramaktadır. Buna paralel olarak betonarme malzeme içindeki demir donatıların da genişleme etkisi betonun parçalanmasını kolaylaştırmaktadır. Özellikle günümüzde bu ilişkinin bilinmesi yangına güvenli yapıların tasarlanmasında en önemli noktalardan biridir. (Reman, 1997, s.66).*



Normal bir beton yüzeyin görünüşü



350-400 °C sıcaklıkta meydana gelen yüzey çatlakları



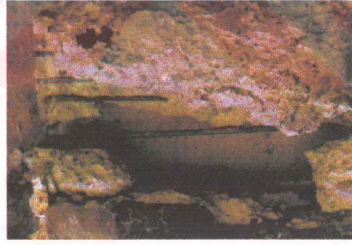
700-800 °C'deki çatlaklar ve pembe gri'ye açılmaya başlaması



1000-1200 °C sıcaklık ve sonrasında sarı-gri rengin açık griye dönüşmesi ve derin çatlakların oluşması



1000 °C ve üstündeki sıcaklıklarda derin çatlaklar ve gri-beyaz rengin oluşması



1000-1200 °C sıcaklığa maruz kalan betonun birkaç çekiç darbesi sonucunda aldığı durum ve süngersi doku yapısının görünümü

Resim 1.13 Yangın etkisi sonucunda betonda meydana gelen bozulmalar.

Yangında meydana gelen sıcaklık 1200 °C'ye kadar yükselmektedir. Bu nedenle malzemede sıcaklık artışına bağlı değişimler görülür. Bu değişim esneklik modülünde ve sıcaklık artışı ile demir çubuk yapısına bağlı olarak oluşan genleşmedir. Betondaki farklı gerilmelere, demir donatıdan kaynaklanan gerilmelerinde etkisi ile betonarme malzemede bozulma hızlanmaktadır. Bu etki, betonun daha kolay parçalanıp dağılmasına neden olmaktadır. Betonarme malzemenin yangına karşı davranışı incelenerek malzemede oluşabilecek değişimlerin incelenmesi yangına dayanıklı yapıların tasarımı için gereklidir. Betonarme elemanların yangın etkisinden en az zarar görmeleri için, yine yüksek dayanımlı beton ve donatı üzerindeki pas payının bu etki dikkate alınarak gerekli kalınlıkta yapılması gerekir. Yangın etkisinde kalmış binalar ayakta kalsa bile, durumları incelenerek, yapının yıkılmasına, onarılmasına veya takviyesine karar verilmelidir. Donatının iyi korunmuş olması durumunda, betonarme kısa süreli yangınlara dayanım gösterebilmektedir. “Örneğin, 3 cm. kalınlığındaki bir örtü betonu donatıları 1-2 saat, 5 cm. kalınlığındaki bir örtü betonu 3-4 saat yaklaşık 600 °C'lik sıcaklığa karşı koruyabilir. Alçı veya perlit sıvalı betonlar ise yangına karşı çok daha fazla dayanıklıdır.” (Baradan, 1984, s.10-21).

BÖLÜM 2

BETONARME BİRLEŞİMİNİ OLUŞTURAN BETON VE DONATI ÇELİĞİNİN ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde, betonarme elemanın önemli bileşenleri olan beton ve donatı çeliğinin özellikleri belirtilmektedir.

2.1. Beton ve donatı çeliğinin tanımı, sınıflandırılması

Taşıyıcı sistemi betonarme olan yapılarda kullanılan beton ve çelik malzemelerin sınıflandırılmasında dayanımları ve bazı özellikleri dikkate alınarak yapılır. Ülkemizde kullanılan sınıflama DIN 1045 Alman Yönetmeliğine uygun olarak, 28 günlük minimum basınç dayanımı dikkate alınarak, beton B160, B225, B300 olarak sınıflandırılıyordu. Avrupa Beton Komitesi'nce (CEB) beton ve çelik için yapılan sınıflamanın uluslararası bir kabul görmesi ile yeni T.S.E 500 "Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları" ndaki sınıflamalar da CEB'ye uygun olarak yapılmıştır. T.S.E 500'de beton, 28 günlük karakteristik dayanımı temel alınarak sınıflandırılmaktadır. Beton sınıfları C veya BS olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, C25 (CEB'e göre) veya BS25 (T.S.E. 500'e göre), 28 günlük karakteristik basınç dayanımı 25 N/mm^2 , yani 250 kgf/cm^2 olan betondur.

2.1.1. Betonun tanımı ve sınıflandırılması

Beton, farklı boyutlarda agrega adı verilen kum-çakıl gibi taneli mineral dolgu malzemesinin, bağlayıcı madde olarak çimento ve kimyasal reaksiyonu için su kullanılmasıyla oluşan zamanla sertleşip dayanım kazanan bir malzemedir. Yapay bir

taş olarak da tanımlanmaktadır. Betonarme birleşimli yapıların taşıyıcı sistem elemanlarının dayanımını etkileyen en önemli malzeme olarak da tanımlanmaktadır. Betonun diğer yapı malzemelerine üstün kılan en önemli özelliklerinden olan, istenilen şekilde hazırlanabilmesi ve kullanılmasının olumlu bir etkisi olsa da basınca gösterdiği direnç yanında çekme mukavemetinin zayıf olması, atmosfer etkilerine geçiririliği gibi olumsuz yanları da vardır. Betonun özellikleri kendisini oluşturan malzemelerin özellikleri ile yakından ilişkili olduğundan, üretim ve uygulama yöntemleri yönünden alınacak önlemlerle, uzun ömürlü yapılarda kullanılabilecek bir yapı malzemesidir.

Beton dayanımlarına ve yoğunluklarına göre başlıca iki guruba ayrılırlar. Dayanımlarına göre sınıflandırılırken, “BI” ve “BII” olarak, iki guruba ayrılırlar. BI betonları; karışım özellikleri basit olan ve normal teknolojilerle elde edilebilen betonlardır. BS15, BS20, BS25 veya C15, C20 ve C25 sınıflarını kapsarlar. BII betonları ise; üstün teknoloji gerektiren yapısal konstrüksiyonlarda kullanılırlar. BS30, BS35, BS40, BS45 ve BS50 veya C35, C40, C45 ve C50 sınıflarını kapsarlar.

Yoğunluklarına göre sınıflandırılırken; hafif, normal ve ağır betonlar olarak başlıca üç guruba ayrılırlar.

- *Hafif betonlar: Yoğunlukları; 0.700 – 2.000 t/m³*
- *Normal betonlar: Yoğunlukları; 1.200 – 2.800 t/m³ ve*
- *Ağır betonlar: Yoğunlukları; 2.800 – 5.000 t/m³ olan betonlardır.” (Özışık, 1997, s.3).*

Normal betonlar dolu ve oldukça sıkı, hafif betonlar ise gözenekli bir yapıya sahiptir. Ağır betonlar ise genellikle reaktör yapımları gibi özel yapılarda kullanılmaktadır.

Betonun tanımlanması ve sınıflandırılması, mekanik özelliklerinden sadece basınç dayanımı dikkate alınarak Alman Normlarına uygun betonarme şartnameleri veya Amerikan Standartlarına uygun Türk Standartlarına göre yapılmaktadır. Betonun en

önemli özelliği basınç dayanımıdır. Uluslararası ve ulusal yönetmeliklerde standart dayanım, 28 günlük dayanım olarak kabul edilmiştir. Üretilmekte olan betondan alınan numunelerin biçimleri de sınıflandırmada önemli rol oynamaktadır. Betonların sınıflandırılmasında da, silindir veya küp biçimindeki numuneler üzerinde yapılan deneylerin verdiği sonuç etkili olmaktadır. T.S.E. 500 “Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” na göre beton sınıflandırmasında betonun karakteristik dayanımı (N/mm^2) dikkate alınarak yapılır. Özellikle basınç dayanımın küp deneyleri ile bulunduğu durumlarda karakteristik beton dayanımı “ f_{ck} ” nın çizelgedeki değeri dikkate alınmalıdır. “Karakteristik beton dayanımı “ f_{ck} ”, denenecek numunelerin bu değerden düşük olma olasılığı %10 olduğu değerdir.” (T.S.E. 500, 1984, s.11).

Tablo 2.1 Beton sınıfları ve dayanımları (T.S.E. 500, 1984, s.11).

Beton Sınıfı	f_{ck} , karakteristik silindir basınç dayanımı Kgf/cm ² (N/mm ²)	Eşdeğer küp basınç dayanımı Kgf/cm ² (N/mm ²)	f_{ctk} , karakteristik çekme dayanımı Kgf/cm ² (N/mm ²)	E_c , elastisite modülü (28 günlük) Kgf/cm ² (N/mm ²)
BS14 (C14)	140 (14)	160 (16)	13 (1.3)	261500(26150)
BS16 (C16)	160 (16)	200 (20)	14 (1.4)	270000(27000)
BS20 (C20)	200 (20)	250 (25)	16 (1.6)	285000(28500)
BS25 (C25)	250 (25)	300 (30)	18 (1.8)	302500(30250)
BS30 (C30)	300 (30)	350 (35)	19 (1.9)	318000(31800)
BS35 (C35)	350 (35)	400 (40)	21 (2.1)	332000(33200)
BS40 (C40)	400 (40)	450 (45)	22 (2.2)	345500(34550)
BS45 (C45)	450 (45)	500 (50)	23 (2.3)	358000(35800)
BS50 (C50)	500 (50)	550 (55)	25 (2.5)	369500(36950)
NOT - BS14, BS16, BS20 ve BS25 normal beton diğerleri ise yüksek dayanımlı beton olarak tanımlanır.				

2.1.2. Donatı çeliğinin tanımı ve sınıflandırılması

Betonarmede beton malzemenin çekme dayanımı çok düşük olduğundan, çekme bölgesindeki gerilmeleri karşılayabilmek amacıyla çelik çubuklar kullanılır. Donatı çeliği: “Betonarme yapılarda beton teçhizatı olarak kullanılan, dairesel kesitli, düz yüzeyli veya yüzeyi nervürlü veya profilli olan çelik çubuklardır.” (T.S.E. 708, 1985, s.1).

Demirler kir, pas ve yağlı maddelerle kaplı olmamalıdır. Demirin en önemli kusuru paslanabilmeleridir. Demirler paslanmaları halinde özelliklerini kaybederler,

boyutlarında küçülme olur ve kopabilirler. Bu nedenle demirlerin pastan korunması için gerekli önlemler alınmalıdır. Betonarme malzemeden üretilen taşıyıcı elemanlarda kullanılan donatı çelik çubukları T.S.E. 708 “Beton Çelik Çubukları” standardında belirtilen özelliklere uygun olmalıdır. Betonarme donatı çeliklerinin sınıflandırılması üretim şekline ve en küçük akma dayanımına göre yapılır. Betonarme donatı çeliği, haddeleme işlemi sırasında veya sonucunda ısıl işlem uygulanmasıyla oluşan sertliklerine göre iki sınıfa, en küçük akma sınırı gerilmelerine göre ise üç sınıfa ayrılır. Sertliklerine göre:

- Doğal sertlikte (sıcakta haddeleme işlemi sırasında veya sonucunda ısıl işlem uygulanmasıyla oluşan sertlikte).
- Soğukta işlem görerek sertleşmiş.

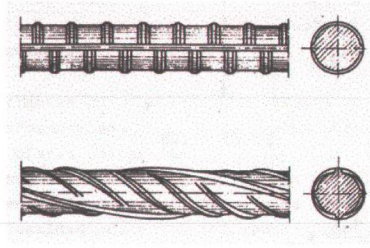
En küçük akma dayanımına göre donatı çeliklerinin sınıflandırılması ve mekanik özellikleri tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2 En küçük akma dayanımına göre donatı çeliği sınıfları ve mekanik özellikleri. (Ersoy, 1985, sf.70).

Donatı Sınıfı		Min. Akma Dayanımı f_{yk} Mpa (kgf/cm ²)	Çekme Dayanımı f_{su} MPa (kgf/cm ²)	Kopma Uzaması ϵ_{su}
CEB	T.S.E 500			
S220 (a)	BÇ-I (a)	220 (2200)	340 (3400)	0.18
S420 (a)	BÇ-III (a)	420 (4200)	500 (5000)	0.12
S420 (b)	BÇ-III (b)	420 (4200)	500 (5000)	0.10
S500 (bs)	BÇ-IV (bs)	500 (5000)	550 (5500)	0.08
S500 (bk)	BÇ-IV (bk)	500 (5000)	550 (5500)	0.05

Betonarme donatı çelikleri yüzey özelliklerine göre üç tipe ayrılır.

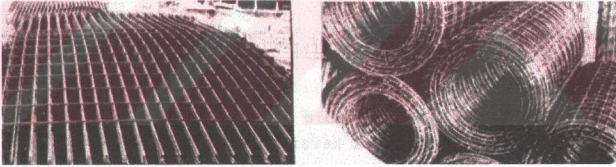
- Düz yüzeyli (D): Yüzeyinde beton malzeme ile aderansını artırıcı nervürler veya profiller bulunmayan yüzeyi düz, daire kesitli çelik çubuklardır.
- Nervürlü (N): Beton malzeme ile kenetlenmesini arttırmak amacıyla, çelik çubuğun yüzeyinde oluşturulmuş sürekli veya kesintili; enine, boyuna veya eğimli çıkıntılar veya fitiller bulunan çelik çubuklardır (Bkz. Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Nervürlü çubuklar

- Yüzey profili (P): Haddelme işlemi sırasında, çubuk yüzeyinde beton malzeme ile aderansı artırıcı çeşitli şekilli girintiler oluşturulmuş çelik çubuklardır.

Betonarme malzemeli elemanlarda, örneğin döşemelerde, donatı yerleştirme işlemini kolaylaştırmak amacıyla, birbirine dik ve paralel çubuklardan oluşan hasır donatı kullanılır. Bu çubuklar, düz yüzeyli veya nervürlü olabilir ve bağlantılar, kaynak veya özel kelepçelerle yapılır (Bkz. Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Hasır donatı

2.2. Betonun dayanımı

Betonun kalitesi veya dayanımı, üretim şekli, bileşimi oluşturan malzemelerin mekanik, fiziksel ve kimyasal dayanımları, atmosfer koşullarına dayanıklılık ve mekanik mukavemetleri gibi çeşitli özelliklere bağlıdır. Ancak bunların içinde betonun basınç dayanımı, bileşimin kalitesini etkileyen diğer özelliklerinin de bir göstergesidir. Genellikle yüksek bir basınç dayanımına sahip kaliteli bir beton diğer

özellikler bakımından da iyi kalitededir. Betonun dayanımında farklılıkların meydana gelme sebeplerinden en önemlileri beton bileşim özelliklerindeki değişikliklere ve deney metotlarındaki uygunsuzluklara bağlıdır. Aşağıdaki tablo 2.3’de genellikle karşılaşılan beton özelliklerindeki değişiklikler ve deney metotlarındaki uygunsuzlukların nedenleri verilmiştir.

Tablo 2.3 Beton özelliklerindeki değişiklik ve deney metotlarındaki uygunsuzlukların nedenleri (Özışık, 1997, s.7).

<u>Beton özelliklerindeki değişiklik</u>	<u>Deney metotlarındaki uygunsuzluk</u>
a) Su - çimento oranındaki Değişiklikler	a) Uygun olmayan numune metodu
- Su miktarının kötü kontrolü	b) Uygun olmayan bir fabrikasyon teknigi
- Agregadaki serbest suyun çok Değişmesi	- Sıkıştırma miktarı
b) Gerekli su isteklerindeki Değişiklikler	- Numunenin fazla miktarda elde oyalanması
- Agregada gronölometrisi	- Taze beton numunelerine gösterilen hassasiyet
- Üniform olmayan malzeme	c) Muhafazadaki değişiklikler
c) Bileşenlerin oranlarında ve Karakteristiklerinde değişiklikler	- Sıcaklık değişikliği
- Agraga	- Rutubet değişikliği
- Çimento	d) Kötü deney tekniği
- Puzzolan	- Başlıklama
- Katkı malzemeleri	- Basınç deneyi uyumsuzlukları
d) Sıcaklık ve muhafazadaki değişiklikler	

Yapılan beton deneyleri, özellikle yerinde dökülmüş yapı betonlarında meydana gelen mukavemet değişikliklerini, numunelere uygulanan deney yöntemi tipine göre tam yansıtılabilir veya yansıtmayabilir. Ayrıca numunelerin üretim şekli, korunumu ve deney tipi yapı betonunda bulunmayan mukavemet farklılıkları yaratabilir. Bu nedenle numune olma özellikleri, korunumu ve deney şekilleri uzun tecrübeler sonucu ortaya çıkarılmış olan bir standarda göre yapılmalı ve standartta belirtilen şartlara kesinlikle uyulması gerekmektedir. Standarda uyulması gerekliliği ile birlikte doğru ve sağlıklı bir sonuca ulaşabilmek için deneyde kullanılan pres ve diğer makinaların tam bir doğrulukla çalıştığından emin olmak ve bunların bakımlarının periyodik olarak yapılması gerekmektedir.

2.2.1. Beton dayanımını etkileyen etkenler

Betonun dayanımını etkileyen etkenlerin başında, beton bileşimini oluşturan malzemelerin, çimento, kum-çakıl ve suyun, mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri gelmektedir. Bu özellikler ileride ayrı ayrı incelenecektir. Betonun dayanımını etkileyen diğer önemli bir etken de betonun yaşıdır. Dayanımın zamana bağlı olarak artışı, gerçekte çimento tipi ve kalitesine, karışım oranlarına ve karıştırma suyuna bağlıdır. Betonun dayanım kazanması zamana bağlıdır. Bu da özellikle nem gibi gerekli ortam şartlarının sağlanmasıyla gerçekleşir. Beton dayanımını etkileyen etkenlerin her birinin kesin olarak dayanımı ne derecede etkilediği tespit edilememesine karşın şimdiye kadar yapılan araştırmalara ve tecrübelere göre bu etkenlerin dayanıma etkiye yüzdelerini yaklaşık olarak aşağıda verilen tablo 2.4’de toplamak yararlı olacaktır.

Tablo 2.4 Beton dayanımını etkileyen etkenlerin dayanıma yaklaşık etki oranları (%) (Özışık, 1997, s.8).

Çimento kalitesi	20
Granülometri	20
İnce malzeme hacmi	
a) Ayarlama yapılıyorsa	10
b) Hiç ayarlama yoksa	20
Harman yapma	
a) Ağırlıkça	8
b) Hacimce	
- İyi kontrol	16
- Normal kontrol	30
- Kötü kontrol	70
Kötü sıkıştırma	50
Betonun karılması ve taşınması	50
Sıcaklık	28 gün sonra yok
Numune alma ile ilgili diğer faktörler	
a) Farklı deney makinası kullanmak	25
b) Aynı makinayı kullanmak	10 şeklinde düşünülebilir.

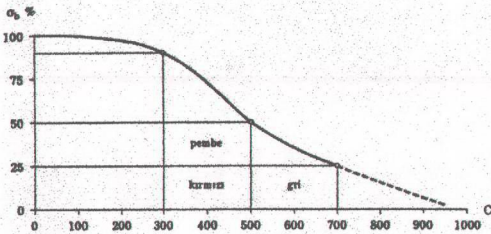
Betonun mukavemet değerinin saptanması 28 günlük dayanım süresi ile belirlenir. Aşağıdaki tablo 2.5’de yavaş, normal ve çabuk sertleşen çimento tiplerinin zamana göre beton basınç dayanımları verilmiştir.

Tablo 2.5 Betonun basınç dayanımını kazanmasında çimento tipinin ve zamanın etkisi (Özışık, 1997, s.39).

ÇİMENTO	28 günlük dayanıma göre dayanım (%) leri					
	1 gün	3 gün	7 gün	28 gün	180 gün	360 gün
Yavaş sertleşen	-	30-40	50-65	100	120-150	135-170
Normal sertleşen	-	40-50	60-70	100	120-140	130-150
Çabuk sertleşen	25-35	60-70	75-85	100	105-110	105-115

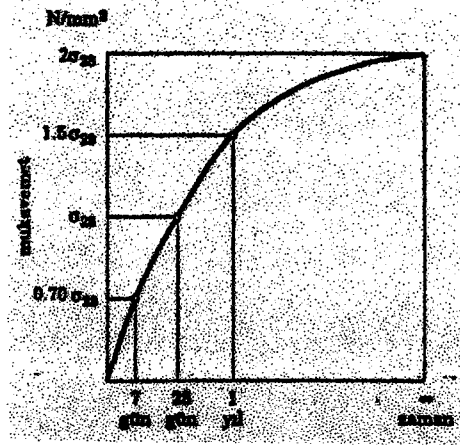
Betonun bileşenleri olan çimento ile suyun karıştırılması sonucunda kimyasal bir işlem başlar ve yaklaşık olarak bir saat içinde sertleşme meydana gelir. Sertleşme sonrasında beton dayanım da kazanmaya başlar ve bu dayanım zamana bağlı olarak artış gösterir. Betonun zamanla dayanım kazanma olayı, beton yaşının dayanıma etkisi olarak kabul edilir. Tablo 2.5’de belirtildiği gibi yavaş, normal ve çabuk sertleşen çimentoların 28 günlük dayanıma göre mukavemet değer %’leri aynı olmasına karşın zamana bağlı olarak yavaş sertleşen çimento ile oluşturulan betonların mukavemetinde diğerlerine oranla daha fazla artış görülmektedir.

Betonun su/çimento (s/ç) oranı ve doluluk oranı, basınç mukavemetini etkileyen en önemli etkenlerdir. Ayrıca, üretim ve bakım şartlarına bağlı olarak, kalıplara hatalı dökülmesi, yerleştirme sırasında gerekli özenin gösterilmemesi, su miktarının ve çimento kalitesinin kontrol edilmemesi beton mukavemetinin düşmesine neden olan etkenlerdir. Aşağıda betonda basınç mukavemetinin sıcaklıkla, zaman ve bakım şartları ile ilişkisi şekil 2.3, 2.4 ve 2.5’de gösterilmiştir.



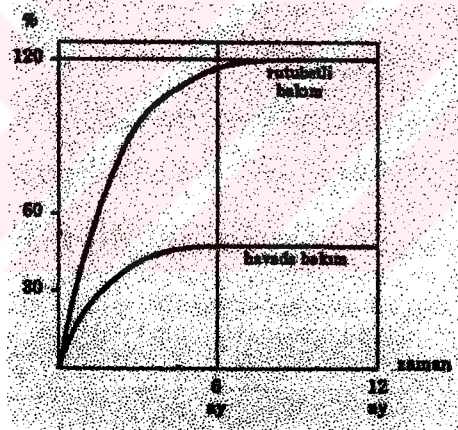
Şekil 2.3 Betonda basınç mukavemetinin sıcaklıkla değişmesi.

(Eriç, 1994, s.245).



Şekil 2.4 Beton basınç mukavemeti – zaman ilişkisi.

(Eriç, 1994, s.245).



Şekil 2.5 Beton basınç mukavemeti – bakım şartları ilişkisi.

(Eriç, 1994, s.245).

Beton malzemenin dayanım denetiminin standartlara, şartlara uygun ve doğru bir şekilde yapılmaması durumunda da beton mukavemetinde değişiklikler meydana gelebilir. Beton dayanımını kontrolü için numunelerin alınması, hazırlanması ve bakımı T.S.E. 2910 ve T.S.E. 3068'e göre yapılmalı, deneylerin yapımında da T.S.E. 3114'e uyulmalıdır.

2.3. Betonun malzemeleri, üretimi ve korunumu

Bu bölümde betonu oluşturan malzemelerin özellikleri, üretimi ve korunumu açıklanmaktadır.

2.3.1. Betonun malzemeleri

Beton bileşiminde kullanılan malzemelerin özellikleri, betonun da özelliklerini etkileyen en önemli etkenlerin başında gelmektedir. Bu nedenle bu bölümde betonu oluşturan malzemeler ve özellikleri tanıtılacaktır.

2.3.1.1. Çimentolar

“Belli oranlarda karıştırılan kil ($mSiO_2.nAl_2O_3.PH_2O$), Fe_2O_3 ve kalker ($CaCO_3$) karışımının çeşitli sıcaklık derecelerinde ($1200^{\circ}C - 1450^{\circ}C$) pişirilmesi sonucu elde edilen, havada ve suda katılaşma özelliği gösteren, gri veya beyaz renkli, inorganik esaslı bir bağlayıcı türüdür.” (Eriç, 1994, s.206). Çimento, bağlayıcı bir malzemedir. Su ile karıştırılarak hamur haline getirilen çimento, bir süre sonra katılaşarak taşlaşır. Ayrıca katılaşma (priz) süresi ortamın koşullarına bağlıdır. Betonun dayanım kazanması katılaşma ile birlikte “sertleşme” olarak tanımlanan olay ile başlar ve zamanla artar. Çimentoların priz süreleri ise şu etkenlere bağlıdır:

- Ortamın sıcaklığına: Sıcak ortamlarda, hidrasyon olayı hızlandığından priz süresi kısalmır.
- Yoğurma suyu miktarına: Fazla miktarda su kullanmak priz sürelerinin artmasına neden olur.
- Çimentonun bekletilme süresine: Fazla bekletilmiş çimentolarda oluşan rutubet nedeni ile priz geç başlar.

Ayrıca priz sürelerini kısaltmak veya uzatmak amacı ile beton karışımına belirli oranlarda katkı maddeleri de eklenmektedir. Çimentolar ana maddeleri ve bileşimlerinin oranlarına göre sınıflandırılırlar. Uygulamanın gerektirdiği çeşitli

özelliklere sahip bağlayıcı malzeme elde etmek amacı ile farklı çimento tipleri üretilmektedir. *Portland tipi çimentolar ülkemizde T.S.E. 19'a göre en son şekliyle üç tipte bulunmaktadır: PÇ 32.5 (Normal Portland Çimentosu), PÇ 42.5 (Yüksek Dayanımlı Çimento), PÇ 52.5 (Yüksek Dayanımlı Çimento). Son iki çimento, Normal Portland çimentosuna kıyasla daha fazla kalker içerirler ve daha ince öğütülmüşlerdir. Bileşiminde C_3S daha fazla olduğundan dayanımları daha fazladır. Bu nedenle PÇ 32.5'a kıyasla daha fazla $Ca(OH)_2$ oluşur. Bu yüzden PÇ 32.5'a göre PÇ 42.5 ile PÇ 52.5'un kimyasal dayanıklılıkları daha azdır. Hidratasyon ısıları fazladır ve daha fazla karışım suyu gerektirirler. Bu çimentolar yüksek yapılarda kullanılır. Barajlar, deniz yapıları, sülfatlı zeminlerde yapılacak inşaatlar için uygun değildir (Baradan, 1998, s.33-34). Tablo 2.6'da çimento tipleri ve özellikleri verilmiştir.*

Tablo 2.6 Çimento tipleri ve özellikleri. (Baradan, 1998, s.34).

Çimento Tipi		Karışım Yüzdeleri				İncelik (cm^2/g)
ASTM	CSA	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	
I	Normal	50	24	11	8	1800
II	Orta (Ara tip)	42	33	5	13	1800
III	Yüksek hızla dayanım kazanan	60	13	9	8	2600
IV	Düşük Isılı	26	50	5	12	1900
V	Sülfata Dayanımlı	40	40	4	9	1900

Türk Standartları Enstitüsüne göre çimento tipleri ise;

- T.S.E. 19 "Portland Çimentoları"
- T.S.E. 20 "Yüksek Fırın Cürufu Çimentolar"
- T.S.E. 21 "Beyaz Portland Çimentosu"
- T.S.E. 22 "Harç Çimentosu"
- T.S.E. 26 "Traslı Çimento"
- T.S.E. 640 "Uçucu Küllü Çimento"
- T.S.E. 809 "Süper Sülfat Çimentosu"
- T.S.E. 3646 "Erken Dayanımı Yüksek Çimento"
- T.S.E. 10156 "Katkılı Çimento"
- T.S.E. 10157 "Sülfatlara Dayanımlı Çimento"

Bu çimentolardan, üç tip portland çimentosunun ve erken dayanımı yüksek çimentonun üretimi, küçük farklılıklar dışında oldukça benzerdir. Katkılı çimento, traslı çimento, uçucu küllü çimento, harç çimentosu ve iki tip yüksek fırın cürufllu çimento, klinkere mineral katkı malzemesi ilavesi ile üretilir. Sülfatlara dayanıklı çimento ve süper sülfat çimentosu, sülfatlı ortamlar için üretilen özel çimentolardır. Genellikle kullanılan başlıca çimento tipleri aşağıda kısaca tanıtılacaktır.

- **PORTLAND ÇİMENTOSU:** Kullanımı ve üretimi bakımından en yaygın tipi oluşturan portland çimentosu diğer çimento tiplerinin de kökenini oluşturmaktadır. Ülkemizde üretilen çimentonun, Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanmış olan T.S.E. 19'a uyma zorunluluğu vardır. Bu standartta üç çeşit portland çimentosu öngörülmektedir.

- Normal Portland Çimentosu (NPÇ 350)
- Yüksek Dayanımlı Portland Çimentosu (YPÇ 500)
- İlk Dayanımı Yüksek Portland Çimentosu (İPÇ 600)

Bu üç çeşit çimentonun bileşimleri genellikle aynıdır. Çimentoların dayanım özellikleri tablo 2.7'de verilmiştir. Ayrıca yüksek dayanım, öğütme işlemi sırasında tane çapını küçülterek de sağlanmaktadır.

Tablo 2.7 T.S.E. 19'a göre çimentoların dayanım özellikleri

ÇİMENTO TÜRÜ		BASINÇ DAYANIMI (kgf/cm ²)			ÇEKME DAYANIMI (kgf/ cm ²)		
		3 gün	7 gün	28 gün	3 gün	7 gün	28 gün
Portland Çimentosu	NPÇ 350	-	300	350	-	22	28
	YPÇ 500	300	400	500	23	27	30
	İPÇ 600	400	500	600	25	30	35
Yüksek Fırın Cüruf Çimentosu	NDPÇ350	-	300	350	-	22	28
	NYPÇ350	-	300	350	-	22	28
Traslı Çimento	TÇ	-	300	350	-	22	28

- **YÜKSEK FIRIN CÜRUF ÇİMENTOSU:** Bileşimi normal portland çimentosuna benzemekle beraber aralarındaki en önemli fark, çimentoya öğütme aşamasında granüle duruma getirilmiş bazik yüksek fırın cürufunun eklenmesidir. Yüksek fırın cüruf çimentoları, normal portland çimentolarına oranla geçirimsizlikleri daha az olmakla beraber tuzlu suya ve endüstri dumanındaki gazların etkisine karşı daha dayanıklıdır. Bu özelliklerinden dolayı su yapılarında, temellerde, duman etkisi altında kalan elemanlarda ve hidretasyon ısısının düşük olması nedeni ile de masif yapılarda uygun kullanım alanı bulmaktadır.

- **TRASLI ÇİMENTOLAR:** Silisli ve alüminli maddeler olan traslar, betonda mevcut kireçle bağlayıcı olma özelliği kazanırlar. Üretim sırasında portland çimentosu klinkerine aktif volkanik tüfler veya benzeri traslar katılarak, bunların öğütülmesi ile elde edilirler. Geçirimsizliği az ve hidratasyon ısısı düşük olduğundan, genellikle kütle betonları ve su yapılarında kullanılmaktadır.

- **ALÜMİNLİ ÇİMENTOLAR:** Alüminli çimentoların üretim şekli normal portland çimentolarından çok farklıdır. Katılaşmaları yavaş olmasına karşın sertleşme, dayanım kazanma hızları çok fazladır. Alüminli çimento ile yapılmış betonların sülfatlara, yağ ve şekere dayanımı da diğer çimentolara oranla daha yüksektir. Bu tür çimentoların hidretasyon ısısı çok yüksektir. Bu nedenle özellikle kütle betonlarında ve sıcak iklimlerde kullanılması sakıncalıdır. Bu durumlarda mutlaka özel önlem alınmalıdır.

- **DİĞER ÇİMENTOLAR:** Yukarıda açıklanan çimento tiplerine ek olarak, “Havalı Çimento”, “Geçirimsiz Çimento” ve “Genleşen Çimento” gibi tiplerde kullanılmaktadır. Havalı çimentonun içinde, betonun donma – çözölmeye karşı direncinin artmasını sağlayan, hava taşıyan katkı maddeleri bulunur. Geçirimsiz çimento, amonyum streat ve kalsiyum streat gibi katkı maddeleri ile geçirimsizlik özelliği artırılmış çimentolardır. Genleşen çimento, içine karıştırılan katkı maddelerinin özelliği nedeni ile priz sırasında büzölme yerine genleşme özelliği gösteren çimentolardır. Bu özellikle rötire istenmeyen durumlarda ve onarım işlerinde kullanılmaktadır.

Çimento hamurunun bağlayıcılık kazanma hızı ve miktarı, çimento ile su arasındaki hidratasyonun (çimento ile su arasındaki kimyasal reaksiyonların) ne ölçüde oluştuğuna bağlıdır. Hidratasyonun ne hızda ve ne ölçüde oluşacağı ise, sıcaklık ve rutubet ortamlarına ek olarak, büyük ölçüde çimento bileşimine, çimento inceliğine ve betonda kullanılan çimento miktarına bağlıdır. Hidratasyon ürünlerinin artması, çimento hamuru içindeki kapiler boşlukların azalmasını da sağladığından, çimentonun ne ölçüde hidratasyon yapması, sadece çimento hamurunun (betonun) dayanımını değil, dayanıklılığını da etkilemektedir. Sertleşmiş betonun dayanım kazanma hızı ve miktarı ile çimento hamurunun gözenekliliği ve dayanıklılığı da yine, çimentonun ne ölçüde ve hızda hidratasyon yaptığına bağlı özelliklerdir.

Ayrıca yapı yerine kağıt torbalar içinde getirilmiş çimentonun rutubetten etkilenip prize başlayarak bağlayıcı özelliğini kaybetmemesi için rutubet ve hava etkilerinden özellikle korunması gerekir. Bu sebeplerden çimentoların depolanmasında, kuru bulunmalarına ve sıkışmamalarına dikkat edilmelidir.

2.3.1.2. Agregalar (Kum – Çakıl, taneli malzeme)

Agrega, kum ve çakıl (veya kırma taş) gibi taneli malzemelerin karışımından meydana gelmektedir ve kristal yapıdadırlar. Agregalar bir dolgu malzemesidir ve en önemli özelliği betondaki hacim değişikliklerini azaltmaktır. Agregalar, beton hacminin %60-75'ini oluşturan malzemeler olmaları nedeniyle, betonun dayanıklılığı üzerinde büyük bir etkiye sahiptirler. Tebeşir ve kum taşı gibi su çekerek genleşen agregalar, betonun donmasının ardından çatlaklara yol açarlar. Ayrıca boşluk oranı yüksek agregaların kullanılması da sakıncalıdır. Boşluklara giren su, donma-çözülme çevrimi sonucunda agregaların parçalanmasına ve betonun dayanıklılığının düşmesine neden olur. Silt, kil, mika, kömür ve toprak başta olmak üzere her türlü birikinti malzeme de betonun dayanıklılığını önemli derecede azaltır.

Yapılarda kullanılan kumlarda kaçınılmaz olarak belirli miktarda silt ve kil bulunmaktadır. Ancak bu oranın %10'u aşmaması istenir. Aksi takdirde bu çok ince tanelerin varlığı, kum taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderansı önemli ölçüde

azaltır ve betonun dayanımı büyük ölçüde düşer Deniz kumu temiz ve homojen olmasına karşın içinde tuz bulunur. Tuzun varlığı betonun dayanımını etkilemese de, çelik donatıyı paslandırdığından zararlıdır. Ayrıca tuz rutubeti çektiğinden, tuzlu kum kullanılan yapıların nemli olmasına yol açar. Ova kumları ise temiz olmalarına ve tuz içermemelerine rağmen yalnızca ince tanelerden oluştuğundan, beton yapımı için genellikle uygun değildir. Dere kumları ise genellikle bu sakıncaları taşımadıklarından beton üretimi için uygundur.(Baradan, 1984, s.9.6 – 9.7).

Betonun iyi işlenebilmesi için agreganın granülometresi çok önemlidir. Granülometre, geçirimsizlik, rötre ve sünmeyi de etkileyen en önemli etkenlerin başında gelmektedir. Agreganın kullanılırken dikkat edilmesi gereken şartlar aşağıda belirtilmiştir:

- *Deniz kumlarının tuzdan, ocak kumlarının ise kilden arınması için yıkandıktan sonra kullanılmalı,*
- *Kalker kumlarının kükürtlü fabrika dumanına maruz yerlerde kullanılmamalı,*
- *Sülfat ihtiva eden kumların kesinlikle yapıya girmemeli,*
- *Kırmataş malzemenin yumuşak kalkerden üretilmemeli,*
- *Yüksek fırın cürufunun camlaşmış ve gevrek yapılı olmamalı,*
- *Kömür artığı agreganın, mukavemeti etkilemesi nedeniyle %25'i geçmemeli,*
- *Şantiyelerde gerekli deneyler yapılarak agreganın kalitesinin kontrol edilmesi ve granülometri şartlarına kesinlikle uyulmalı* (Eriç, 1994, s.198).

Betonda kullanılacak kumun temiz olması ve kesinlikle betona ve donatıya zarar verecek kimyasal maddeleri yapısında bulundurmaması gerekir. Genellikle karşılaşılan sorun ise, kumun içinde fazla miktarda kil veya silt bulunmasıdır. Ayrıca karışımda kullanılan kum ve çakıldaki çeşitli tane çaplarının karışım içindeki oranları, üretilen betonun iyi kalitede ve kullanılabilir kıvam özelliğinde olmasını da etkilemektedir. Üretilen beton dayanım gücünü, çimento dayanımına ulaşmadan, çimento dayanımından daha az dayanıma sahip olan agreganın kırılması ile yitirecektir. Bu nedenle agreganın dayanımı çimento dayanımından daha az olmamalıdır.

2.3.1.3. Su

Beton karışımında, içme suyu olarak kullanılmasına izin verilen su kullanılabilir. Karışım suyunda beton prizini, katılaşmayı engelleyecek, donatı korozyonuna neden olacak maddeler, bitkisel ve hayvansal yağlar, alkali tuzlar, aminoasitler ve diğer zararlı maddeler bulunmamalıdır. Özellikle asit ve yüksek oranda tuz bulunmamalıdır. Şüpheli durumlarda suyun tahlile gönderilmesi gereklidir. “Beton içinde kullanılacak suyun betona zarar veren maddeler ihtiva etmemesi gereklidir. $pH < 7$ olan (asit karakterli) sular, %3’ten fazla tuz ihtiva eden sular, %1’den fazla SO_3 ihtiva eden sülfatlı sular, maden suları, deri, boya, galvaniz ve halı fabrikası suları yoğurma suyu olarak kullanılamazlar.” (Eriç, 1994, s.232). Özellikle az miktarda da olsa sülfat ve klorür içeren karbonlaşmış mineralli sular betonun mukavemetini olumsuz yönde önemli derecede etkiler.

2.3.1.4. Beton katkı maddeleri

“Beton kimyasal katkı maddeleri, betonun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bazılarında değişiklik yapmak amacıyla beton karışım suyuna belirli oranlarda katılan kimyasal maddelerdir.” (T.S.E. 3452, 1984, s.1). Kimyasal katkılar, bağlayıcı dozajının (çimentonun) ağırlık olarak %5’ini aşmadan genellikle beton karma suyuna eklenir. Beton katkı maddelerinin kimyasal yapıları;

- Ligno sülfanatlar
- Hidrokarbolik asit ve tuzları
- Naftalin/melamin sülfanat formaldenitler
- Kalsiyum nitrat
- Kalsiyum nitrit
- Yağ asitleri ve tuzları vs. olarak belirtilir.

Beton katkı maddeleri oluşturdukları etkiler ve fonksiyonlar açısından EN 934-2 Avrupa birliği standardına göre tablo 2.8’de gösterildiği şekilde sınıflandırılabilir.

Tablo 2.8 EN934-2 Avrupa birliği standardına göre önerilen katkı maddesi tipleri.

Tip	İşlevler
Su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkılar	Sabit kıvamda beton karışım suyunun azaltılmasını sağlayan, veya sabit su miktarında çökmeyi arttıran, veya her iki etkiyi birlikte yapan katkılar
Yüksek oranda su azaltıcı/süperakışkanlaştırıcı katkılar	Sabit kıvamda beton karışım suyunun yüksek oranda azaltılmasını sağlayan, veya sabit su miktarında çökmeyi önemli oranda arttıran, veya her iki etkiyi birlikte yapan katkılar
Su tutucu katkılar	Taze betonda terlemeyi azaltan katkılar
Hava sürükleyici katkılar	Belirli oranlarda ve küçük boyutlu hava kabarcıklarını taze betonda oluşturmak ve bu sistemin sertleşmiş betonda kalmasını sağlamak için betona karıştırma sırasında katılan katkılar
Priz hızlandırıcı katkılar	Taze betonun priz süresini kısaltan katkılar
Sertleşmeyi hızlandıran katkılar	Priz hızlandırıcı etki yaparak veya prize etkimeden erken yaşlardaki beton dayanımlarını arttıran katkılar
Priz geciktirici katkılar	Taze betonun priz süresini uzatan katkılar
Su itici katkılar	Sertleşmeyi betonda kılcal su emmeyi azaltan katkılar
Çok işlevli katkılar	Yukarıdaki işlevlerin birden fazlasını yaparak taze ve/veya sertleşmiş betonda birçok özelliği etkileyen katkılar

Bunların dışında rötre etkisini azaltabilecek genleşen çimentolar (grout), kılcal su emme özelliğini düzelten su itici kütle hidrofujleri, aderansı arttırıcı PVA polivinil asetat, PVC polivinil klorür esaslı katkı maddeleri de kullanılmaktadır. Ayrıca çimentoya renk veren pigmentler ve bceklenmeye karşı kullanılan bakır tozları da katkı maddeleri olarak kabul edilebilir.

Katkı maddelerini kullanırken aşağıdaki değerlendirmeleri gözönünde bulundurmak gerekir:

- *Kurallarına uygun üretilmeyen betonları, katkı maddeleri ile iyileştirmek mümkün değildir.*
- *Katkı maddeleri, her çimento, agrega türü ve granülometrisi için uygun sonuç vermeyebilir. Belki de katkı miktarını arttırmak, azaltmak gerekebilir. Bu nedenle katkının kullanılacak beton malzemeleri ile uyumu laboratuvar*

deneyleri ile araştırılmalıdır. Pazarlayıcılar tarafından önerilen dozajlar ön deneylerle kontrol edilmelidir.

- *Katkı maddelerinin ana işlevlerinin yanı sıra yan etkileri vardır. Bir özelliği düzeltirken diğer bir özellik bozulabilir. Ayrıca birden fazla katkı maddesinin bir arada kullanımı bazen olumsuz sonuçlar verebilir. Bu gibi konular daha önce deneylerle incelenip, kullanıma sonra karar verilmelidir. (Baradan, 1998 s.178).*

Beton kimyasal katkı maddeleri konusunda T.S.E. 3452 standardında belirtilen kurallara uyulmalıdır.

2.3.2. Betonun üretimi

Beton üretiminde izlenen sıra, malzemenin hazırlanması, ölçülmesi, karıştırılması, döküleceği yere taşınması, yerleştirilmesi ve korunumu şeklindedir. Beton elemanlarının herbirinin kendi cins ve kalitelerinin beton bileşimine etkileri olduğu gibi, aralarındaki karışım oranlarının ve korunum şartlarının özellikleri de betonu etkilemektedir. Betonun basınç dayanımı diğer bir çok özelliği de etkilediği için karışım seçiminde en önemli etken olarak görülür. Karışım seçilirken dikkat edilmesi gereken en önemli etkenler şunlardır:

- Öngörülen basınç dayanımının sağlanması
- Kullanıldığı yere göre işlenmesi kolay bir kıvamda olması
- Ekonomikliği

Ayrıca “Malzemeyi hazırlarken çimentoların rutubetsiz, üstü kapalı hacimlerde en fazla 3-4 ay sonra kullanılmak üzere depolanmasına, agreganın ise ayrışmasını önlemek için piramit şeklinden çok tabakalar halinde kullanılmasına dikkat edilmelidir.” (Eriç, 1994, s.238).

Beton kıvamı çeşitli yöntemlerle saptanabilmektedir. Ülkemizde genellikle kullanılan yöntem, “çökme deneyi (slump test)”dir. “Genelde kolon, kiriş gibi yapı

elemanlarında kullanılacak beton için bu deneyden elde edilen çökme 2-16 cm. olmalıdır. Temel betonları için öngörülen çökme miktarı daha azdır. Geçirimsiz beton kalıp ve vibratör kullanılan durumlarda daha katı kıvamda beton kullanılabilir.” (Ersoy, 1985, s.11).

Beton üretiminde kullanılan yoğurma suyu, bağlayıcı maddenin hidrasyonunu ve kum ile iri agrega tanelerini ıslatarak betonun işlenme yeteneğine sahip olmasını sağlar. Belirli oranlarda çimento, kum ve iri agrega karıştırılarak beton üretimi yapılırken en uygun oranda su kullanılmalıdır. Suyun gerekli olan miktardan az veya fazla kullanılması betonun dayanımını düşürür. “Suyun en uygun değerden az kullanılması hidrasyonun gelişmesine yeterli olmayacağından, fazlalığı ise betonda fazla boşluk bırakacağından zararlıdır.” (Baradan, 1984, s.10-3). Su/Çimento (S/Ç) miktarının belirli sınırlara kadar düşmesi ile betonun dayanımı artar. Ç/S oranının artması sonucunda da betonun dayanımı artar, S/Ç oranının artması sonucunda ise betonun dayanımı azalır. 1 m³ beton bileşiminde bulunan çimento miktarı (ağırlık olarak) “dozaj” olarak adlandırılır. Betonarme yapı malzemesi ile inşa edilen yapılarda kullanılan betonların dozajı genelde 250-400 kg/m³ arasında değişir. Genellikle beton dayanımının yalnızca dozaja bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir. Ancak, agrega granülometresi uygun bir şekilde ayarlanmış bir karışımda beton dayanımı, su-çimento oranı ile değişmektedir. “Örneğin, 300 dozluk (1 m³ teki çimento miktarı 300 kg) bir betona karıştırılan su miktarı değiştirilerek, 150 kgf/cm² den 300 kgf/cm² ye kadar değişen basınç dayanımları elde edilebilir.” (Ersoy, 1985, s.11). Bu oran öngörülen dayanıma göre, karışımın işlenebilir bir kıvamda olması ve ekonomik olması da dikkate alınarak saptanmalıdır. Ayrıca dayanımın su/çimento oranına bağlı olması ile beraber geçirimsizlik ve donatıyı paslanmadan korumak için, çimento dozajının belirli bir orandan az olmaması gerekir.

Beton karışımları ile ilgili Türk Standardı T.S.E. 802 dir. Özel şartlarda beton dökümü, soğuk hava, sıcak hava ve su altında beton dökümlerinde T.S.E.1247 ve T.S.E.1248 standartlarına uyulmalıdır.

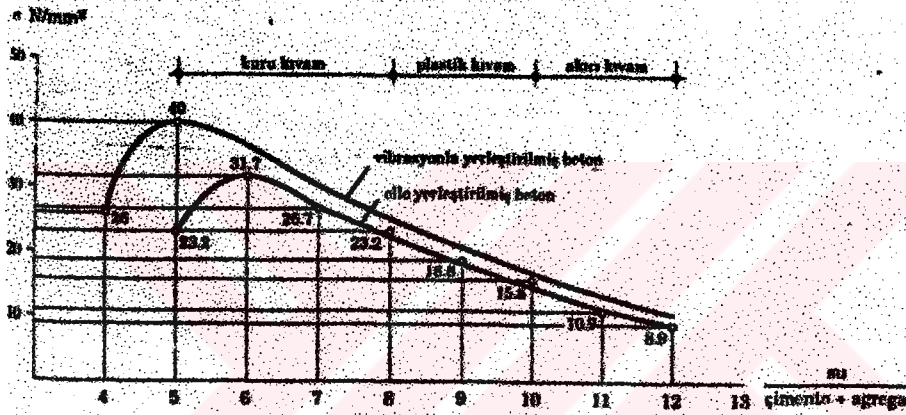
Betonun yerleştirilmesi: Betonun yerleştirilmesi sırasında dayanımının düşmesine, hatalı bir döküm ve yerleştirme sonucu, bileşiminde meydana gelen boşluklar neden olur. Dökümde amaç, betonun ayrışmasını önlemek ve boşluksuz bir şekilde sıkıştırılmasını sağlamaktır. Ayrıca dökümü etkileyen diğer bir önemli faktör ise kalıp çeşidi ve şeklidir. Betonun malzemelerinin hazırlanarak uygun oranlarda karıştırılması, taşınması ve yerleştirilmesi sırasında malzemede ayrışım (segregasyon) olmamasına dikkat edilmelidir. Sertleşmiş betonun gözenekli olması, genellikle betonun gerektiği gibi taşınmadığı durumlarda malzemede ayrışım meydana gelmesinden kaynaklanır. Ülkemizde bazı konut inşaatlarında yapıldığı gibi, beton kısa mesafelere el arabaları ile taşınabilir. Ancak, beton hiçbir zaman bir kattan diğerine kürekle atılarak taşınmamalıdır. Betonun daha uzak mesafelere taşınması gerekiyorsa özel konveyörler kullanılması gerekliliği ile beraber konveyör eğimi ve hızı, ayrışma neden olmayacak düzeylerde tutulmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca betonun yüksek bir yerden aşağı dökülmesi gerekiyorsa, mutlaka bir boru ile yapılmalı ve granülometresi, suyu uygun ise, beton malzeme borular içinde pompalanarak da taşınabilir. Beton karışımı hazırlandıktan sonra prize başlamadan önce yerine dökülüp işlenmeye başlanmalıdır. Beton kalıplara yerleştirildikten sonra vibratör ile sıkıştırılmalı ve iç vibratör betona alabildiğince dik sokulmalı, en derine indikten sonra yavaşça yukarı çekilmelidir. İnce plakların sıkıştırılmasında ise yüzey vibratörü kullanılmalıdır. Daha küçük çapta yapılan işlerde ise beton sıkıştırma işlemi şişlenerek ve tokmaklanarak da yapılabilir.

Yetersiz yerleştirme yerel bozukluklara sahip boşluklu ve homojen olmayan bir beton içyapısının ortaya çıkmasına neden olur. Bu tip bozuklukların bir yapının yüzeyinde veya yüzey tabakalarında oluşması özel bir problemdir. Yetersiz yerleştirme esas olarak su, klorürler, karbondioksit ve oksijen gibi zararlı maddelerin betonun içine girmesinin bir sonucu olarak donma hasarlarına, donatının korozyonuna ve diğer kimyasal reaksiyonlara yol açar. Yetersiz vibrasyon bir yapının kalitesini ve homojenliğini önemli derecede etkileyebilir. Ayrıca gereğinden fazla vibrasyon uygulamaları da kalite kayıplarına sebep olabilir.

Gerekli vibrasyon miktarı esas olarak aşağıdaki faktörlerden etkilenir:

- *Sertleşmiş betondan istenen temel kalite koşulları,*
- *Kalıp boyutları, donatı miktarı ve sıklığı gibi yerleştirme koşullarından dolayı yaşanan zorluğun derecesi,*
- *Karışımın işlenebilirliği ve kıvamı ile tanımlanmış beton tipi (Hazır beton, 1992, s.20).*

Betonun yerleştirilmesi ve mukavemet ilişkisi şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Betonun yerleştirilmesi ve mukavemet ilişkisi. (Eriç, 1994, s.239).

Döküm süresinin uzamasıyla birlikte yukarıda incelenen nedenlerle, işlenebilmenin azalması, betonun kalıbına yerleştirilmesini güçleştirecektir. Bu durumda betonu tekrar ilk kıvamına getirebilmek için karışıma su ilave etmek gerekecektir. Ancak karışıma konan bu suyun betonun mukavemetini ne yönde etkilediği belirlenmelidir. Böyle bir durumda ise döküm süresinin çok uzatılması sonunda işlenebilmeyi düzeltmek için katılan suyun etkin su/çimento oranını arttırması mukavemet azalacaktır. Bu nedenle ASTM C94 maksimum döküm süresini 1.5 saatle sınırlarken, T.S.E. 1222 bu süreyi 2 saatle kısıtlamıştır.

2.3.3. Betonun korunumu

Beton dayanımı zamana bağılı olarak artar. Beton bileşimindeki suyun bir bölümü belirli bir zaman süresi içinde hidrasyon için kullanılır ve bu suyun buharlaşarak kaybolması, hidrasyon için gereken suyun yok olması, betonun istenen dayanımı kazanamamasına neden olabilir. Bu nedenle taze betonun bakımı beton dayanımını etkileyen en önemli etkenlerin başında gelir. Kusursuz bir karışımla hazırlanmış beton, bakımı gerektiği gibi yapılmadığı durumlarda öngörülen dayanıma erişemez.

Betonarme hesapları betonun 28 günlük dayanımı dikkate alınarak yapılır. Genellikle beton, ilk 7 günde öngörülen 28 günlük dayanımın yaklaşık %70'ine ulaşabilmektedir. Bu nedenle betonun dayanımını, özellikle ilk hafta içinde bulunduğu ortamın özellikleri (nem oranı ve sıcaklığı) önemli ölçüde etkiler. Bu süre içinde ortamın sıcaklık ve neminin gerekli sınırlar içinde bulundurulması gerekir. Bu işleme “taze betonun bakımı” veya “kür” denir. “Betonun normal prizini yapması için en uygun sıcaklık, 15 °C ile 25 °C dir.” (Ersoy, 1985, s.16). Yüksek sıcaklık betonun prizini hızlandırır, düşük sıcaklık ise yavaşlatır. Yüksek sıcaklıkta gerekli nem sağlanamazsa, betonda büzülme (rötre) çatlakları oluşabilir ve beton yüzeyini etkileyen kuru rüzgar büzülme çatlaklarının oluşmasını hızlandırabileceğinden, taze betonun yüzeyi örtülerek bu etkilerden korunmalıdır. Priz için en uygun ortam, nemli bir ortamdır. Bu nedenle kür yapılırken beton yüzeyleri sürekli ıslatılmalı ve buharlaşmayı da önlemek için örtülmelidir. Düşük sıcaklıklarda, özellikle ısısın +4 °C den düşük olduğu durumlarda mutlaka önlem alınmalı ve kesinlikle önlem alınmadan beton dökülmemelidir. Su ve agregayı ısıtarak veya özel katkı maddeleri kullanarak da önlem alınabilir.

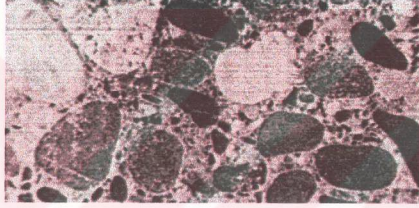
Betonun hazırlanmasında, taşınmasında, yerleştirilmesinde ve bakımında T.S.E. 1247 ve 1248'e uyulmalıdır. Zararlı zemin su ve gazlarının etkisi söz konusu olduğunda T.S.E. 3440 kurallarına uyulmalıdır.

2.4. Beton ve donatı çeliğinin özellikleri

Bu bölümde beton ve donatı çeliğinin mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri belirtilmektedir.

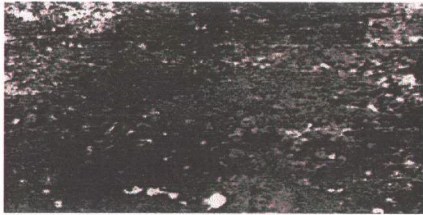
2.4.1. Betonun özellikleri

Yapı malzemesi olan betonun iç yapısında kristalli ve moleküllü sistemler bir arada görülür. Kristalleri büyük olduğu için sert ve gevrek bir yapıya sahiptirler. Basınç mukavemetine oranla çekme mukavemetlerinin düşük olmasının nedeni molekülüleri arasında boşlukların bulunmasıdır. (Bkz. Resim 2.1).



Resim 2.1 Yapay taşlardan, doğal kum ve çakılın çimento ile birleşmesi sonucu oluşan betonun gözle görülür yapısı. (Eriç, 1994, s.25).

Malzemede boşluk oranının artması, özellikle moleküllü ve karma bir içyapıya sahip olan beton malzemenin mukavemetinin düşmesine, ısı yutuculuk değerlerinin ise artmasına sebep olur. Ayrıca boşlukların devamlılığı halinde su ve buhar geçirimsizlik değerlerinde de artış görülür. Dolayısıyla malzemenin donmaya karşı dayanımı da düşer. (Bkz. Resim 2.2).



Resim 2.2 Yapay taş bir malzemenin boşluklu dokusu. (Eriç, 1994, s. 27).

Beton malzemede mukavemet ve geçirimsizlik özelliklerinin önemli olması sebebi ile boşluk oranının azaltılması için tane ölçümü (granülometri) hesaplarının T.S.E.500 ve T.S.E.706'ya uygun olarak yapılması gereklidir. Ayrıca birtakım katkı maddelerinin kullanılması da tavsiye edilmektedir.

2.4.1.1. Betonun mekanik özellikleri

Bu bölümde, betonun dayanım özellikleri tanıtılacaktır. Betonun basınca, çekmeye, eğilmeye ve eğilme çekmesine karşı dayanımları başlıca mekanik özellikleridir.

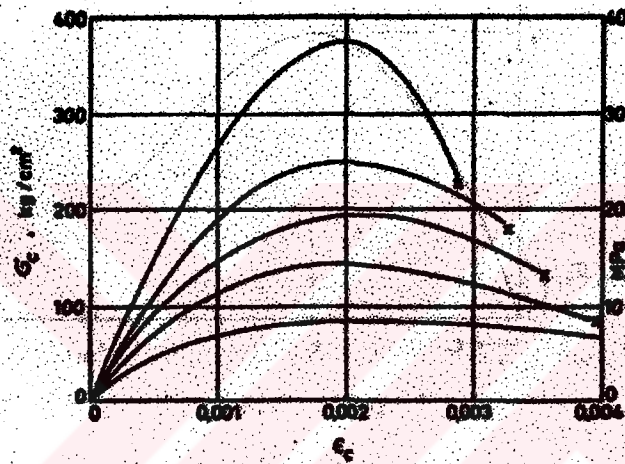
Betonun basınç dayanımı: Betonun bütün mekanik dayanımları arasında değeri en büyük ve en önemli olanı basınç dayanımıdır. Aşağıda betonun basınç dayanımını etkileyen faktörlerin en önemlileri kısaca irdelenecektir.

- Numune geometrisi ve boyutları
- Yükleme hızı: Yapılan araştırma ve deneyler sonucunda, yavaş yüklenen bir numune dayanımının, hızlı yüklenen bir numuneye oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
- Diğer etkenler: Basınç dayanımını etkileyen diğer önemli etkenler ise, su-çimento oranı, numunenin bakımı (kür), deney sırasında numunenin nemli olup olmaması ve deney presinin özellikleridir.

Betonun basınç dayanımını ve gerilme-birim deformasyon (σ - ϵ) ilişkisini etkileyen bütün değişkenler elastisite modülünü de etkiler. Betonun elastisite modülü aşağıdaki şartlara bağlıdır:

- Betonun basınç dayanımına,
- Beton bileşimini oluşturan malzemelerin özelliklerine,
- Kullanma gerilmesine,
- İlk kuruma şekline ve sonra etkisi altında kaldığı şartlara,
- Betonun nemlilik özelliklerine

Betonun gerilme deformasyon özellikleri: Beton için önemli olan, basınç dayanımıdır. Betonun basınç altındaki davranışını, gerilme birim-deformasyon ilişkisini, belirleyen σ - ϵ eğrileri, eksenel basınç altında 15×30 cm.lik standard silindirlerin denenmesinden elde edilir. Betonun gerilme-birim deformasyon özelliklerini birçok etkenin etkilediği bilinmektedir. Bu nedenle beton için tek ve kesin bir σ - ϵ eğrisi tanımlamak olanaksızdır. Bu bölümde, bu etkenlerden en önemli olanların etkileri kısaca irdelenecektir. Betonun σ - ϵ özellikleri beton dayanımı ile değişmektedir. Şekil 2.7’de çeşitli beton dayanımları için σ - ϵ eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Betonun basınç dayanımlarına göre σ - ϵ eğrileri. (Ersoy, 1985, s.526).

Dayanımın σ - ϵ eğrisi üzerindeki etkileri göstermek amacı ile verilen şekil 2.7’deki eğrilerden şu sonuçlar çıkarılabilir.

- Eğrilerin başlangıç eğimi (elastisite modülü olarak tanımlanabilir), beton kalitesi yükseldikçe artmaktadır.
- Yüksek dayanımlı betonların tepe noktaları daha belirgindir.
- Düşük dayanımlı betonlar, yüksek dayanımlı olanlara oranla daha fazla sünekliliğe (düktilite) sahiptirler. Başka bir deyişle, düşük dayanımlı betonlarda kırılma anındaki birim kısalmalar, diğerlerine oranla daha büyüktür.
- Maksimum gerilmeye karşılık olan birim kısalma, ϵ_{co} , beton dayanımından bağımsız olarak 0.002 mertebesinde.

Beton, zamana bağılı deformasyon gösteren bir malzeme olduğundan, yükleme hızı da, σ - ϵ eğrisinin özelliklerini etkilemektedir. Bugün yürürlükte olan şartnameler beton numunelerin sabit gerilme hızı altında denenmesini kabul etmektedir. Aslında ideal olan, deneyde deformasyon hızını sabit tutmaktır. Ancak, geçmiş yıllarda bu tür yükleme hassas olarak yapılamıyordu. Son yıllarda geliştirilen modern preslerle, sabit deformasyon hızı vermek mümkün olmuştur (Ersoy, 1985, s.25-26). Yükleme hızının azalması ile dayanım düşmektedir. Ancak, süreklilik önemli ölçüde artış göstermektedir. Betonun sabit, ölü yükler altındaki davranışı ile, deprem gibi ani gelen yüklemeler altındaki davranışı oldukça değişiktir. Bu nedenle özellikle deprem veya rüzgar gibi etkiler altında kalabilecek yapı elemanlarındaki beton, tekrarlanan gerilmeler altında boşalma ve yeniden yüklenme durumlarında, gerilme-birim deformasyon ilişkilerinin bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca betonun σ - ϵ eğrisinin özellikleri, beton dayanımı ve yükleme hızı dışında, numune boyutları ve kullanılan presin özelliklerine göre de değişebilir.

Betonun çekmeye dayanımı: Betonun çekmeye dayanımı, basınç dayanımından bağımsız değildir. Betonun basınç dayanımını etkileyen etkenler, çekme dayanımını da etkilemektedir. Ancak burada bağlayıcı madde ile agrega taneleri arasındaki aderans daha önemlidir. “Aderansın zayıf olmasına neden olan faktörler, örneğin kil ve silt fazlalığı, betonun çekme dayanımını düşürürler.” (Baradan, 1984, s.10-26). Ayrıca katık malzemenin tane şekli, basınç dayanımındakine oranla eğilme çekme dayanımında daha etkili olmaktadır. Betonda oluşan çatlamların ana nedenlerinden biri çekme dayanımının yetersizliğidir. Betonların çekme dayanımını tespit etmek amacıyla yapılan deney yöntemleri farklılıklar gösterebilir. Deney sonuçlarında da birbirinden farklı değerler elde edilebilir. Bu nedenle betonun çekme dayanımı verilirken hangi deney yöntemi ile tespit edildiği de açıklanmalıdır. Betonun çekme dayanımının ideal olarak, eksenel çekme altında denen bir elemandan elde edilmesi gerekir.

Betonun Eğilme Dayanımı: Betonun, eğilme dayanımı, nisbeten küçük kuvvetlere ve mekanik cihazlara sahip olunan şantiyelerde, prizmatik numuneler

üzerinde yapılan deneylerle bulunabilir ve küp dayanımlarının bulunması için başvurulacak bir referans olarak kabul edilebilir.

2.4.1.2. Betonun fiziksel özellikleri

Betonun başlıca fiziksel özellikleri; rötresi, ısı genleşmesi, ısı iletimi, hidratasyon ısı, ısı, ısıya ve ateşe dayanıklılığı, sıkılığı veya doluluğu, su geçirimsizliği, donmaya dayanımı ve dış etkenlere karşı dayanımı gibi özellikleridir. Tablo 2.9'da betonun fiziksel özellikleri belirtilmiştir.

Tablo 2.9 Betonun Özellikleri (Eriç, 1994, s.242).

Fiziksel Özellikleri	Birim	Değer
Birim Ağırlık (Δ)	Kg/m ³	1800-2400
Su emme – ağırlıkça (Sa)	%	1-8
Su geçirimsizlik katsayısı (k)	Cm/sn	10 ⁻⁷
Kapilarite katsayısı (k)	Cm ² /sn	10 ⁻⁵
Isı genleşme katsayısı (α)	Cm/cmC°	10-12 $\times$ 10 ⁻⁶
Isı geçirimsizlik katsayısı (λ)	Kcal/mhC°	1.1-1.4
Buhar geçirimsizlik katsayısı (ρ)	Gr/mh mmHg	0.003
Ses emme katsayısı (α)	%	0.02
Elektrik iletkenliği (e)	M oh	5-10 $\times$ 10 ⁻⁷

Betonun sıcaklıkta genleşme katsayısı çimento tipine, karışım oranlarına, neme ve kesit büyüklüğüne bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir. Sıcaklık azalması ile meydana gelen termik gerilmeler, büzülme gerilmeleri ile karşılaştırıldığında, belirsiz bir zamanda ve hızda olduğundan daha da tehlikelidir. Termik uzamalar ve kısaltmalar yapı sistemine göre çabuk artabilir ve azalabilir. Betonun ses geçirimi yüksektir ve bu özellik yapıda konfor açısından sakınca yaratabileceğinden, önlem alınması gerekebilir. Betonun ısıyı geçirimi ise veya bunlara karşı direnimi, ısı yayan tesislerde önem kazanmaktadır ve yoğunluğu fazla betonlar tercih edilmelidir.

Betonun su geçirimi (veya su geçirimsizliği) : Geçirimsizlik betonun kimyasal etkilere karşı dayanıklılığının artması bakımından çok önemli bir özelliktir. Zararlı bir ortam içinde bulunan bir betonun ayrışma yapmaması için geçirimsiz olması gerekir.

Betonun geçirimsizliği aşağıdaki şartlara bağlıdır.

- Betonun kompasitesi: Geçirimsizlik betonun içindeki boşluk miktarından başka boşlukların boyutları, bunların dağılma şekilleri ve bağlantılarına bağlıdır.
- Betonun su/çimento oranı: Genel olarak en az geçirimsizliği sağlayan s/ç oranı aynı zamanda dayanımı en fazla yapan s/ç oranından biraz daha fazladır. “Geçirimsizliği arttırmak amacıyla beton karışımında ince tanelerin özellikle 0.2 mm. den küçük tanelerin az miktarda bulunmasında yarar vardır. Bu taneler su etkisiyle şişerek beton içindeki boşlukları tıkayarak geçirimsizliği arttırırlar.” (Baradan, 1984, s.10-23).
- Betonun bakım koşulları: Betonun bakım koşullarına dikkat edilmezse rötre olayı sonucunda oluşabilecek çatlaklar geçirimsizliği azaltırlar.

Ayrıca betonun geçirimsizliğini arttırmak amacıyla beton üretilirken bir takım katkı maddeleri ilave edilir. Bunlar değişik şekillerde kimyasal reaksiyonu etkileyerek betonun geçirimsizliğini arttırırlar.

Betonun donmaya dayanıklılığı: Donma dayanıklılık geçirimsizlik ile orantılıdır. “Sıfırın altındaki sıcaklıklarda, betonun içinde bulunan suyun donup, %9 oranında hacmini arttırması sonucunda oluşan çekme gerilmeleri, betonun çekme dayanımını aşarsa beton çatlayıp dağılabilir. Bu nedenle çok sert iklim koşulları olan bölgelerde s/ç oranının 0.50’den büyük olmaması gerekir.” (Baradan, 1984, s.10-21). Beton için en tehlikeli koşullar, özellikle iklim şartları yönünden sert ve sıcaklık farklılıkları büyük değişiklikler gösteren bölgelerde çok sayıda arka arkaya tekrarlanan; geceleri donma olayının olması, gündüzleri ise sıcaklığın yükselip buzların erimesidir. *Betonun donma olayından zarar görmesi, boşluklarındaki suyun donması sonucu olur. Betonda çimento hamuru (jel boşlukları, kapiler boşluklar ve agrega boşlukları) olmak üzere iki türlü boşluk vardır. Donma, çimento içindeki kapiler ve agrega boşluklarının % 91.7 ‘sinin suyla dolması sonucu etkili olur. Suyun 0 °C’ de buz haline geçerek hacim genişlemesine uğraması beton bünyesinde gerilmelerin meydana gelmesine sebep olur ve malzemeyi dağıtır. Donma deneyi ASTM C 310’a göre, -20 °C havada yavaş donma ve +20 °C’ de çözülme şeklinde tekrarlanarak*

döküntü ve mukavemet düşmesi incelenir. Beton içinde %4-6 oranında bulunan küçük hava boşlukları, buzun hacim genişlemesine imkan verdiklerinden donma etkisine karşı dayanım sağlar. (Eriç, 1994, s.242). Ayrıca betonun donmaya dayanımını artırmak için hava sürükleyici ve prizi hızlandırıcı katkı maddelerinin kullanılması tavsiye edilir.

Betonun ateşe dayanıklılığı : *Bir yangında meydana gelen sıcaklık 1200 °C'ye kadar yükselir. Sıcaklığa bağlı olarak betonun bünyesinde çeşitli değişimler meydana gelir. 400-700 °C de çimentonun silisli hidratasyon ürünleri kristal sularını kaybederek %2 oranında rötre gösterirler. Ayrıca çimento bileşenlerinden CaO açığa çıkar ve soğuma sırasında su buharı ile birleşerek $Ca(OH)_2$ haline dönüşür ve betonda hacim genişlemesi meydana getirir. 250 °C'ye kadar beton mukavemetinde bir değişim olmadığı kabul edilir. Ancak PÇ'da 350 °C'de, kuvarslı agregada 550 °C'de kalkerli agregada ise 900 °C'de mukavemet düşmeleri görülür. (Eriç, 1994, s.242). Ayrıca betonarme donatısı 600 °C lik bir sıcaklıkta kısa bir süre sonra yük taşıma yeteneğini yitirebilir. Bu nedenle yangın olayı sonunda binalar ayakta kalsa da, durumları incelenerek, yapının yıkılmasına, onarılmasına veya takviyesine karar verilmelidir.*

Betonun elektrik iletkenliği : *Bu özellik, betonun içinde bulunan ve oldukça iyi iletken olan suyun miktarı ile yakından ilgilidir. “300 dozlu kuru betonun elektriksel direnci fazladır. $(5-10 \times 10^6 \text{ ohm})$. Rutubetli yerdeki betonun cm^3 'e karşılık gelen direnci ise 1×10^4 'e kadar düşer.” (Baradan, 1984, s.10-21).*

Ayrıca beton malzemenin fiziksel özellikleri arasında rötre ve sünme gibi olayların da etkisi önemli derecededir. Bu konu “Bölüm 2.5. Betonda zamana bağlı deformasyon” bölümünde ayrıntılı olarak incelenecektir.

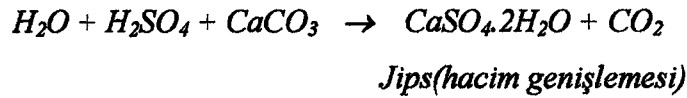
2.4.1.3. Betonun kimyasal özellikleri

Betonun kimyasal özellikleri, içinde bulunduğu ortama ve bileşiminde bulunan malzemelerin kimyasal özelliklerine ve kimyasal yapısı ise hidratasyon sırasında

oluşan faz'lara bağlıdır. Betonun kimyasal özellikleri ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı “Bölüm 1.5.3. Kimyasal etkiler” bölümünde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıca “Bölüm 3. Betonarme elemanın bozulmasına neden olan karbonatlaşma ve donatı çeliğinin korozyonu” bölümünde de ayrıntılı olarak incelenecektir.

Gazların Etkisi: “Şehir atmosferi içinde bulunan CO_2 ve SO_3 gibi gazlar yağmur suyu ile karışarak beton üzerinde karbonik (H_2CO_3) ve sülfürik (H_2SO_4) asit etkisinde bulunurlar. H_2CO_3 serbest kireci $\text{Ca}(\text{OH})_2$ haline getirerek suda erimesine, H_2SO_4 ise bünyede CaSO_4 oluşturarak hacimce genişlemeye ve dağılmaya neden olur.” (Eriç, 1994, s.243)

Suların Etkisi: Beton üzerinde etkili olan sular yağmur, deniz ve sülfatlı, sodyum sülfatlı, magnezyum sülfatlı zemin sularıdır. *Bir arı su olan yağmur suyunun çimentonun CaO 'ini hızla eritmesi mümkünse de, havada bulunan CO_2 'i bünyeye almasıyla suda çözülmeyen CaCO_3 meydana gelir. Genellikle $\text{Ph} < 7$ (serbest asit iyonları) olan sular betonda asit etkisi meydana getirir. Deniz suları NaCl yanında, zayıf sülfat (MgSO_4) etkisinde bulunur. Bataklık ve fabrika artık suları betona kuvvetli sülfat etkisi yapar. Bu suların içindeki SO_3 miktarı % 0.1' i aştığı zaman betonda şişme ve parçalanma meydana getirir.*



Betonda, çimentonun serbest kirecini etkileyen bazı tuzlar (CaCl_2 , Na_2SO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CaCO_3 , NaNO_3 gibi) yüzeyde kristalleşmeler (çiçeklenme) ve armatürlerden gelen pas lekeleride aynı şekilde yüzeysel renklenme ve lekeler meydana getirir. Çiçeklenmeler su ve seyreltik HCl asit ile, pas lekeleri ise % 10'luk CrCl_2 ile yıkanarak giderilebilir. Bunların dışında hayvansal yağlar ve şekerli maddelerin beton üzerinde zararlı etkileri vardır.(Eriç, 1994, s.243).

“Çimentoların içinde bulunan zararlı maddeler doğrudan doğruya hacim sabitliğini bozan, sönmemiş kireç (CaO), magnezi (MgO) ve SO₃ dür. Bunların su ile yaptıkları reaksiyon sonucu önemli bir hacim artması meydana gelir. Bu hacim artması yıllarca sürebilir ve yapıda çatlaklar ve hasar oluşturabilir.” (Baradan, 1984, s. 8-21).

2.4.2. Donatı çeliğinin özellikleri

Çeliğin gerilme-birim deformasyon özellikleri, genellikle çekme deneyleri yardımıyla saptanır. Doğal sertlikteki çeliklerde belirli bir akma sınırı vardır. Bu sınıra ulaşıncaya kadar gerilme ve birim uzama arasındaki ilişki doğrusal olarak gelişir. Akma sınırına ulaşıncaya kadar gerilme sabit kalır, birim uzama ise artış gösterir. Pekleşme sınırına ulaşıldığında ise gerilme tekrar artış gösterir ve belirli bir gerilmeye ulaşıldığında, donatı çelik çubuğun bir noktasındaki kesit küçülmeye başlayarak donatı çeliği bu noktada kopar. Soğukta işlem görmüş çeliklerin gerilme-birim deformasyon eğrileri doğal sertlikteki çubukların özelliklerinden farklı bir özellik gösterir. Kopma birim uzaması doğal sertlikteki çeliğe oranla daha küçüktür. Böylece soğukta işlem görmüş çelikler daha az sünek davranış gösterirler. Ayrıca doğal sertlikteki çeliğin enerji yutma kapasitesi daha yüksek ve daha çok sünek olduğundan, özellikle dalga etkisi ve deprem gibi dinamik yüklemeler altındaki taşıyıcı yapı elemanlarında soğukta işlem görmüş çeliğe tercih edilmelidir.

Her sınıf donatı çeliği için mekanik özellikleri; akma ve kopma dayanımları ile birim kopma uzama değerleri (Bkz. Bölüm 2.1.2) tablo 2.2’ de gösterilmiştir.

Ayrıca çelik çubukların yüzeylerinde derin olmayan çatlaklar veya çentik bulunması durumunda, tel fırçayla temizlenmiş çubukların T.S.E. 708’de belirtilen boyutsal ve yapısal özelliklere uygun olup olmadığı da kontrol edilmelidir. Donatı çeliğinin kalıba yerleştirilmesi, hazırlanması ve özellikle kenetlenmesi T.S.E. 500’de belirtilen kurallara uygun olmalıdır.

2.5. Betonda zamana bağılı deformasyon

Beton zamana bağılı deformasyon gösteren bir malzemedir. “28 gün suda saklanan bir numune kurumaya bırakıldıktan sonra kısalmaya başlar. Bu olaya “büzülme (rötre)” denir. Aynı eleman sudan çıkarıldıktan sonra sabit bir eksenel basınç altında tutulursa, ölçülen boy kısalması yüklenmemiş numuneye oranla daha fazla olur. Aradaki fark “sünme” olarak adlandırılan etkidir.” (Ersoy, 1985, s.53). Büzülme ve sünme zamanın bir fonksiyonu olarak artış gösterir. Ancak bu artış zamanla azalır. Betonda gerilme, numune veya elemanın deformasyon yapması önleendiği zaman oluşur. Betonarmede ise bu durum değişiktir. Donatı çeliğinde büzülme ve sünme deformasyonları olmadığından donatı, betonda meydana gelen bu deformasyonu engellemeye çalışarak hem betonda hem de donatıda gerilmelerin oluşmasına neden olur. Betonarme elemanın mesnet koşulları da büzülme ve sünmeye bağılı olarak gerilmelerin oluşmasına neden olur. Örneğin, “rijit kolonlara oturan bir kirişin rötre etkisi ile büzülmeye çalışmasını sözkonusu kolonlar etkileyeceğinden, gerilmeler oluşacaktır.” (Ersoy, 1985, s.54).

Betonarme yapı elemanlarında, büzülme ve sünme deformasyonlarına bağılı olarak, önemli gerilmeler ve deformasyonlar oluşabilir. Bu olaylar hasara ve çökmeye neden olabileceği gibi, kullanılabilirliği de etkileyebileceğinden zamana bağılı deformasyon, statik hesaplarda kesinlikle dikkate alınmalıdır.

2.5.1. Büzülme (Rötre)

Betonun işlenebilirliğini sağlayabilmek için karışıma katılan su miktarı, bileşimin ana malzemelerinden çimentonun hidratasyonu için gerekli olan su miktarından (çimento ağırlığının yaklaşık %25'i kadardır) daha fazladır. Bu nedenle, hidratasyon için gerekli olmayan suyun buharlaşması ile betonda, su kaybetmesine bağılı olarak hacımsal küçülme meydana gelecektir. Bu olay betonun büzülerek kısalması şeklinde tanımlanmaktadır. *Betonun kuruması atmosfer koşullarının, açıkta bulunan beton yüzey alanının ve karışımındaki su miktarının fonksiyonudur. Beton kuruyup, içindeki su miktarı azaldıkça büzülür, hacmi azalır. Bu olaya büzülme denir*

ve zamana bağılı bir olaydır. Büzülme olayı zaman geçtikçe hızı azalarak yıllarca devam eder. İlginç olan, büzülen bir örneğin suya batırılınca eski hacmine dönebilmesidir.(Baradan, 1984, s.10-37).

Betonda büzülme olayı çok çeşitlidir ve farklı nedenlerden meydana gelen rötre türleri vardır. Bunlar hidrolik, termik, bünyesel-erken (plastik) ve karbonatlaşma rötresidir. Bunlardan en önemlisi ve genellikle en sık rastlanan hidrolik rötre dir.

- **HİDROLİK RÖTRE:** Kuruma rötresi olarak da bilinen hidrolik rötre beton üretimini izleyen gün başlar ve 5-6 ay yavaşlayarak devam edebilir. Hidrolik rötre nin nedenleri hakkında kılcal borular, jel teorileri gibi çeşitli varsayımlar vardır.

- **TERMİK RÖTRE:** Çimentonun hidratasyon ısısı ile ilişkilidir. “Prizi sona eren ve sertleşmeye başlayan betonda, hidratasyon ısısının tüm kütleyi ısıtmaya yetecek şekilde artmaması sonucu kütle soğumakta ve termik rötre adı verilen olay meydana gelmektedir.” (Baradan, 1998, s.144). Termik rötre çatlakları geniş ve derin oldukları gibi zamanla derinleşme özelliğine de sahiptirler. Özellikle baraj gibi kütle betonlarında önemli sorunlar çıkarırlar.

- **BÜNYESEL RÖTRE – ERKEN (PLASTİK) RÖTRE:** Bünyesel rötre olayı kaçınılmazdır. Hidratasyon sonucu toplam mutlak hacimde büzülme oluşur. Ancak oluşan hidrate jel çok boşluklu olup, görünen hacmi daha büyüktür. Serbest rötre oluşumunun engellenmesi çok sayıda ince çatlakların oluşmasına neden olur. Beton taze iken priz süresince ortaya çıkan erken (plastik) rötre çatlakları genellikle geniş yüzey alanına sahip tüm betonlarda (döşeme, yer, yol, pist betonları) görülür ve özellikle yaz mevsiminde çok sık oluşan değişik boy ve derinlikteki düzensiz bir şekilde dağılmış çatlaklardır. *Genelde çatlak genişliği 1 mm.'den az olup derine gitmez ve yapı güvenliği açısından önemli sorun çıkmaz. İşlenebilme yönünden yeter bir kohezyona sahip olmayan betonlarda iri agrega taneleri dibe çökmeye, su ise yüzeye çıkmaya başlar. Yüzeyde biriken su hızla buharlaştığı takdirde şiddetli bir büzülme meydana gelir. Plastik rötre buharlaşan su miktarı, terleyen (kusulan) su miktarını aştığında belirginleşir. Buharlaştırma hızı su kuma hızından yüksek ise*

betonun dış yüzeyi kurumaya başlar. İç kısımlar ise bu büzülmeyi takip edemeyince yüzeyde oluşan çekme gerilmeleri yüzeysel çatlaklara yol açar. Plastik rötre nedeniyle donatıların ve iri agregaların alt yüzeylerinde hava cepleri oluşur ve aderans yeteneği azalır. (Baradan, 1998, s.145).

Buharlaşma hızını etkileyen etkenler; hava sıcaklığı, rutubeti, rüzgar hızı ve güneş'tir. Su kuma hızını etkileyen en önemli etken ise taze betonun kompasitesidir. Kompasitesi yüksek betonların su kuma hızı azdır. Bu nedenle hazır beton gibi kompasitesi yüksek betonlarda plastik rötre olayı daha hızlı gelişir. Plastik rötre çatlaklarını, beton döküm ve korunumu bölümlerinde belirtilen önlemler ve standartlar dikkate alınırsa büyük ölçüde önlemek mümkündür.

• **KARBONATLAŞMA RÖTRESİ:** Priz ve sertleşme aşamasında ortamda bulunan CO₂ gazlarının beton bünyesini etkilemesi sonucu, betonun iç yapısında bazı karbo-alüminatlar oluşur. Bu olayın sonucunda bir büzülme meydana gelir.

Büzülmeyi (rötre) etkileyen etkenlerin en önemlileri aşağıda verilmiştir.

- Karışımındaki su/çimento oranı,
- Karma suyunun miktarı. (Fazlalığı rötrenin artmasına neden olur).
- Ortamın sıcaklığı, rüzgarlı oluşu,
- Buharlaşma ve buharlaşmanın hızı,
- Nem oranı ve elemanın bu ortama açık olan yüzeyinin büyüklüğü,
- Çimentonun kimyasal bileşiminin özellikleri, dozajı ve hidrasyon ısısı. (Çimentoda CaO, MgO ve SO₃ gibi genişletici maddeler rötreyi azaltmakta, Jips ve C₂S'in fazlalığı ise rötreyi arttırmaktadır. Çimento dozajının ve hidrasyon ısısının yüksekliği de rötreyi artırıcı bir etkindir).
- Agreganın cinsi, tanelerin elastisite modülleri, miktarı. (Agrega miktarının ve tanelerin elastisite modüllerinin düşük olması rötrenin artmasına neden olan etkenlerdendir).

Büzülme olayının en önemli zararlı etkileri, betonda çatlakların ve betonarme malzemede bulunan donatıda gerilmelerin oluşmasıdır. Çatlaklar, betonun çekme dayanımını düşürürler ve böylece geçirimsizliğin artması nedeni ile betonun kimyasal etkilere, dış etkilere ve özellikle dona karşı dayanıklılığını azaltıp donatının korozyonunu kolaylaştırır. Büzülmenin yapıya olumsuz etkileri gözönünde bulundurulmalı ve özellikle betonarme yapıların hesabında dikkate alınmalıdır. Rötrenin zararlı etkilerini azaltabilmek amacı ile yukarıda açıklanan, rötreyi etkileyen etkenleride gözönünde bulundurarak aşağıda belirtilen önlemler alınabilir.

- Betonda dozajı yeterli ve çok ince olmayan çimento kullanılmalı. Kesinlikle çimento dozajı gereksiz yere arttırılmamalıdır.
- Yoğurma suyu gerekli olan en az miktarda tutulmalıdır.
- Agregası iyi cins olup, karışımda mümkün olan en fazla oranda kullanılmalı ve beton en fazla sıklıkta olmalıdır.
- Taze beton yüzeyinde hızlı buharlaşma önlenmelidir. Bu amaçla aşağıda verilen önlemler dikkate alınmalıdır.
 - *Betonun döküleceği zemin ve kalıplar ıslatılmalıdır.*
 - *Agregalar kuru ise kuru yüzey doygun konuma getirilmelidir.*
 - *Rüzgarın ve güneşin doğrudan yapı elemanına gelmesini önleyecek şekilde perdeleme yapılmalıdır.*
 - *Aşırı sıcaklarda beton malzemeleri soğutulmalıdır.*
 - *Aşırı soğuklarda gereğinden fazla ısıtmadan kaçınılmalıdır.*
 - *Taze betonun yerleştirilmesi ve perdelanması aşamalarında gecikmeler olması halinde, beton yüzeyi geçişi şekilde ıslak örtülerle kaplanmalıdır.*
 - *Rötre gerilmelerinin üniform dağılmasını sağlamak için betonarme donatıyı da kesit içine düzgün yerleştirmek gerekir. (Baradan, 1998, s.147-148).*

Betonarmede bulunan çelik donatı, betonun “rötre” etkisi nedeni ile kısılmasına engel olmaya çalışır. Bu olay gerek beton gerekse çelikte birtakım ek gerilmelerin ortaya çıkmasına neden olur. Özellikle nemin düşük olduğu ortamlarda, rijit kolonlara oturan büyük açıklıklı kirişlerin büzülme eğilimi söz konusu kolonlarla

engellendiğinde, kirişlerde büyük aksel çekme kuvvetleri oluşur. Eğilme nedeni ile oluşan normal ve kayma gerilmeleri, büzülmeden dolayı oluşan aksel çekme gerilmeleri ile birleştiğinde, kiriş gövdesinde çok yüksek asal çekme gerilmeleri meydana gelebileceğinden, kirişte önemli çatlamlar olabilir. Yeterli donatının bulunmadığı durumlarda, oluşan bu asal çekme gerilmeleri kirişin kırılarak çökmesi ile de sonuçlanabilir. (Ersoy, 1985, s.56).

2.5.2. Sünme (Krip)

Betonda büzülme deformasyonuna ek olarak, basınç gerilmeleri oluşturan kalıcı yükler altında “sünme-krip” adı verilen deformasyon meydana gelmektedir. “Sünme, betonda yüklerin sürekli tutulması durumunda, şekil değişimlerinin zamanla artımı olarak tanımlanabilir.” (Baradan, 1998, s.171). Sünmenin nedenleri hakkında çeşitli görüşler ve olayı anlatabilmek için matematiksel modeller geliştirilmiş olmasına rağmen, bu modellerden değişik sonuçlar elde edilmekte ve bunlardan hiçbiri genel kabul görmemektedir. Ayrıca sünme olayının büzülmeden bağımsız olup olmadığı da açıklığa kavuşmamıştır. “Sünmenin çimento hamurunun jel yapısından ve rötre gibi adsorbe su tabakasının hareketleri sonucu oluştuğu söylenebilir. Gerçekte bir yapıda zamana bağlı şekil değiştirmeler, sünme ve büzülmenin toplamıdır. Sünme, normal sıcaklıkta ve düşük gerilmeler altında oluşur.” (Baradan, 1998, s.171). Sünme olayının oluşumunu çok basit olarak “Sünger Analajisi” ile anlatılabilir. “Su emmiş bir süngere basınç uygulandığı zaman, emilen su, basıncın büyüklüğüne bağlı olarak dışarı atılacak ve bu suyun doldurmuş olduğu boşluklar basınç nedeni ile küçülecektir. Bunun sonucu olarak da süngerin basınç uygulanan yöndeki boyu kısılacaktır. Betondaki sünme olayının da buna benzer bir biçimde oluştuğu söylenebilir.” (Ersoy, 1985, s.59).

Betonun sünmesi betonarmeye de yansır ve bu malzemeninde ani şekil değiştirmeler yapmasına neden olur. Sünme olayı önceden dikkate alınmazsa, yapıda gözle görülür kusurlar oluşturabilir. Özellikle büyük açıklıklı konsollar gibi deformasyonu büyük olan yerlerde önem kazanır. Ayrıca çok yüklü kolonlarda ihmal

edilmeyecek kısalmalar gösterebilir. Sünme ile ilgili deformasyonun derecesi, birçok etkene bağlıdır. Bunlardan en önemlileri aşağıda verilmiştir.

- *Yük uygulanan betonun yüklenme anındaki yaşı. Betonu taze iken yüklenen numunedeki sünme deformasyonu, eski bir betona oranla daha fazla olur.*
- *Karışımındaki su/çimento oranı. Su/çimento oranı arttıkça, sünme deformasyonu artar.*
- *Ortamin ısısı, özellikle nemi. Nem arttıkça sünme deformasyonu azalır.*
- *Gerilme düzeyi. Kalıcı yük uygulandığı anda betonda oluşan gerilmelerin beton basınç dayanımına oranı bir ölçü olarak kullanılabilir. Bu oran 0.4'ten azsa, sünme gerilmeye orantılıdır. Daha yüksek oranlarda sünme deformasyonu gerilmeye orantılı olmayarak daha hızlı artar.*
- *Zaman. Sünmenin hızı zamanla azalmasına rağmen, deformasyon artışı yaklaşık üç yıl devam eder. (Ersoy, 1985, s.58).*

“Sünme miktarının bilinmesi önemli yapılar için gereklidir. Zamanla ilk şekil değişiminin 2-3 katına ulaşan şekil değişim artımları yapıda çatlaklara, görünüm bozukluklarına yol açabileceği gibi, yüksek gerilmelerde yapı elemanının çökmesine neden olabilir.” (Baradan, 1998, s.172). Sünme nedeni ile betonun elastisite modülü önemli ölçüde azalır. “Sünme nedeni ile elastisite modülünün azalması, elemanların eğilme rijitliğini de azaltır. Bu nedenle yüksek düzeyde kalıcı yük altındaki kirişlerde, yükün uygulanmasından bir, iki yıl sonraki deplasman (sehim), yükün uygulandığı andaki deplasmanın 2 veya 3 katına çıkabilir.” (Ersoy, 1985, s.60).

2.6. Aderansın nedenleri ve aderansı etkileyen etkenler

Beton malzeme ve donatı çeliği birleşiminden oluşan bir yapı elemanının betonarme malzeme olarak davranabilmesi için, donatı çeliğinin beton malzemeye kenetlenmesi gerekmektedir. Aderans olarak, donatıların çevrelerini saran beton malzemeye göre, eksenlerine paralel olarak kaymalarına karşı gelen bağ kuvvetleri belirtilmektedir. Beton ve çelik arasındaki aderans, betonarme malzemenin doğrudan doğruya bağlı olduğu bir ana olaydır. “Kenetlenmeyi sağlayan, çelik çubukla beton

arasındaki kayma gerilmelerine, aderans denir.” (Ersoy, 1985, s.526). Donatı çeliği ve beton malzeme arasındaki bağ kuvvetleri nedeniyle, donatıdaki gerilme moment değişimine paralel olarak değişir ve betonda oluşan büzülme, sünme gibi deformasyonlar donatıyı da etkiler. Aderans olayı, betonarme elemanların mukavemetlerini, yüklenme durumlarıyla ilgili olarak, iki ayrı şekilde etkilemektedir. Donatı çubuklarını, basınç veya çekme etkilerini vererek betondan ayırmaya çalışan bir yük durumunda, aderans donatının ankrajını sağlar. Bu bağlantıyı gerçekleştiren aderans “ankraj aderansı” veya “dış aderans” olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca çekme veya eğilmeye çalışan ve donatı çubukları beton malzemeden sıyrılmaya zorlanmayan betonarme elemanlarda, aderans her iki malzemenin birlikte çalışmalarını sağlar ve böylece elemanın çatlama durumunu belirler. Bu çalışmayı gösteren aderansa da “iç aderans” olarak tanımlanır.

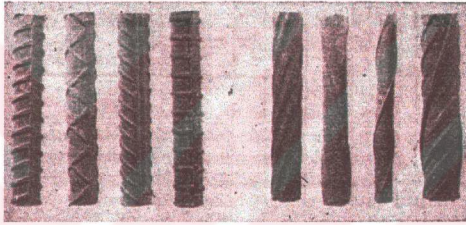
2.6.1. Aderansın nedenleri

Aderans olayının nedenleri kesin olarak açıklanmamış olmasına karşın çelik ve beton arasındaki bağın aşağıda belirtilen üç ana nedenden ileri geldiği genel olarak kabul edilmektedir.

- a) Çelik ve beton malzeme arasında yapışmayı sağlayan molekül sel ve kapiler bağ kuvvetleri: Bu yapışma çok küçük değerdedir ve zayıf kuvvetler altında, çelik ve betonun birbirlerine göre çok küçük yer değiştirmeleri sonunda kopar. Bağ kuvvetleri çelik ve beton malzeme arasında elastik bir bağ kurar.
- b) Donatı çubuklarının düz olarak tanımlanan kısımlarının yüzeyinde, yeni üretilmiş olsalar da var olan pürüzlerin betona tutunması ile oluşan sürtünme kuvvetleri: Sürtünme kuvvetleri molekül sel kuvvetlerden daha önemlidir. Düz yuvarlak demirlerin aderansı sürtünme kuvvetlerine bağlıdır.
- c) Donatı çubuğunu saran betonun makaslama ve basınç dirençlerinin de etkisiyle beraber helisel, tek veya çok sayıda, sürekli veya süreksiz nervürlerin ve enine çıkıntıların neden olduğu mekanik dış kuvvetler: Bu neden aderansı

geliştirilmiş çubuklarda ortaya çıkar ve özellikle seçilen yüzey biçimlerinin uygun olması durumunda aderansı önemli ölçüde etkiler.

Donatı çeliğinin yüzey özelliklerine göre bu nedenlere bağlılık derecesinde değişiklik gösterebilmektedir. Düz yüzeyli çubuklarda aderans, ilk iki nedene; yapışma ve sürtünmeye dayanmaktadır. Nervürlü çubukların aderansında ise bu ilk iki nedenin etkisi yok denecek kadar azdır ve bu tür çubukların aderansı, çubuk yüzeyindeki çıkıntılarının betona yaslanması ile sağlanmaktadır. Bu yaslanmadan oluşan kuvvetlere, mekanik dış kuvvetleri denmektedir. Aderans devamlı yüklemeye ve boşaltmaların sonunda bozulabilir. Ayrıca aderans çelikteki gerilmeye de bağlıdır.



Şekil 2.8 Aderansı geliştirilmiş donatı çeliği örnekleri

2.6.2. Aderansı etkileyen etkenler

Aderans gerilmesini etkileyen etkenler aşağıda verilmiştir. Bu etkenlerden bazıları yalnız aderansı geliştirilmiş çubuklar veya fazla korozyona uğramış yuvarlak düz yüzeyli çubuklar için geçerlidir. Donatı çapı, beton kalınlığı, kenetlenme boyu ve betonun çekme dayanımı aderansı etkileyen en etkili etkenlerdir. Pas payı sıfırına yakın bir düzeyde tutularak yapılmış bir uygulamada, aynı uygulama nervürlü donatı çelikleri ile donatılmış elemanlarda yapıldığı zaman, aderans açısından önemli sorunlarla karşılaşabilir. Sağlıklı bir yapı oluşturabilmek için aderans zorunlu olduğundan, bu iki ayrı tür donatının aderans davranışının iyi kavranması gereklidir.

Aderans dayanımı birçok değişkene bağlıdır. Aderans dayanımında, kesme-aderans etkileşimi ve boyut etkisi çok önemli rol oynamaktadır. Burada sayısal değerlendirme yapılmadan, aderans dayanımını etkileyen en önemli etkenler kısaca irdelenecektir.

- *Betonun çekme dayanımı. Nervürlü çubuklarla donatılmış elemanlarda kırılma yarıma ile olacağından, çekme dayanımı özellikle önemlidir.*
- *Çeliğin akma dayanımı kenetlenme boyunca aderans gerilmesi dağılımını etkileyeceğinden, önemlidir.*
- *Çubuğun yüzey geometrisi (nervürlü, nervürsüz)*
- *Donatı çapı. Çap değiştikçe, kenetlenmeyi sağlayan çevrenin, uygulanan kuvveti etkileyen alana oranı değişmektedir. Ayrıca, yarıma kırılmasında betonda oluşan çekme gerilmeleri de çapla orantılı olmaktadır.*
- *Aderans kenetlenme boyu ile değişir. Ancak aderans dayanımı, kenetlenme boyu ile orantılı değildir. Yani kenetlenme boyunun iki katına çıkarılması, aderans dayanımının iki kat arttığı anlamına gelmez.*
- *Donatı etrafındaki beton örtünün kalınlığı (pas payı).*
- *Betonarme çubuğunun betonlama sırasındaki konumu. Betonlama sırasında üst yüzeye yakın çubukların altında biriken havakabarcıkları bu çubukların aderansını zayıflatır.*
- *Yerel gerilmeler de aderansı etkileyebilir. Örneğin, mesnetin uyguladığı yerel basınç gerilmeleri, özellikle nervürlü donatı kullanılan durumlarda yarılmayı geciktirebilir.*
- *Sargı donatısı. Sargı donatısı özellikle nervürlü donatı kullanıldığında etkilidir. Sargı donatısı beton kütleyle sararak, yarılmaya karşı dayanımı önemli ölçüde artırabilir.*

Kullanılan agreganın cinsi ve katkı maddeleri de aderansı etkiler. Örneğin, hafif agrega ile yapılan betonun aderans dayanımı, normal agregayla yapılan orana daha düşüktür. Ayrıca puzzolanlı katkı maddeleri de aderansı olumsuz yönde etkileyebilir. (Ersay, 1985, s.532-534).

Beton ile ilgili etkenler: Betonun çekme ve basınç mukavemetleri, betonun bileşimi, yaşı, sıkıştırılması, korunumu betonla ilgili etkenlerdir. Betonun bileşimi malzemenin plastiklik derecesini de tayin eder. Aderans direnci ise plastiklikle ters orantılı olduğundan betonun bileşiminden büyük ölçüde etkilenir.

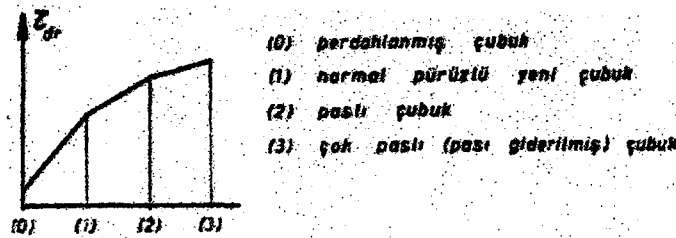
Aderansı etkileyen beton bileşimi ile ilgili etkenler:

- Beton bileşenlerin kalitesine ve bunların betondaki bileşim oranına bağlıdır.
- Çakıl miktarının az olması aderans direncini azaltır. Bu olay özellikle çakıl/beton oranının hacim olarak 0.7'nin altında olması durumunda önem kazanır.
- Çimento ve kum miktarlarındaki bir artış aderans özelliklerinde önemli bir düşmeye sebep olur.
- Aderans çimento cinsi ile yakından ilişkilidir. Portland tipi normal ve yüksek mukavemetli çimentolar aderans bakımından en iyi sonuçları vermektedir. Pozzolanlı, yüksek fırın cürufu çimentoların ise portland tipine göre yuvarlak düz demirlerde önemli bir derecede aderans düşmesine neden olur.
- Çakıl ve kumun özellikleri de aderans üzerinde etkilidir.

Betonun yaşı ise gerek beton direncinin zamanla artması ve gerekse plastikliğinin azalması yönlerinden aderansı etkiler. Betonun plastikliği azaldıkça daha yüksek aderans direnci gösterebilmektedir. Genel olarak beton malzemenin titre edilmesi ile yüksek bir aderans direnci kazanılabilir. Çeşitli yöntemlerle sıkıştırmadaki amaç, beton malzeme içindeki hava ve su boşluklarını yok ederek betonun donatıları daha iyi sarmasını sağlamaktır. Gerekli sıkıştırma yapılmazsa olumsuz sonuçlar verebilir. Betonun priz başladıktan sonra tekrar titre edilmesi aderans direnci üzerinde olumsuz bir etki yapmaktadır. Örneğin, hazırlanan beton malzeme kalıba yerleştirildikten yaklaşık üç saat sonra tekrar titre edildiğinde aderans direncinde önemli bir azalma olmaktadır. Ancak betonun sıkıştırılmasının araç ve personel etkenleri ile de yakın ilgisi olduğu unutulmamalıdır. Betonun kalıba yerleştirildikten sonra bulunduğu ortamın şartları da aderans direnci üzerinde önemli ölçüde etkilidir. Ortam şartları olarak ısı, nem, don, suya gömülme gibi etkenler belirtilmektedir.

Betonun sertleşme süresince nemlendirilmesi aderansı artırıcı bir etki yapmaktadır. Özellikle don, suya gömülme gibi şartlar altında korunmasız bırakılan betonun aderans direnci çok zayıflayabilmektedir.

Donatı çeliği ile ilgili etkenler: Çeliğin elastiklik sınırı, çeliğin çubuk çapı, özel profili, çubuk yüzeyinin niteliği olarak sıralayabileceğimiz özellikler donatı ile ilgili etkenlerdir. Donatı çeliği akma sınırına ulaştığında boyuna ve enine şekil değiştirmesi hızla artacak, büzülme nedeni ile donatı çeliği beton malzeme ile olan bağ ilişkisini kaybedecektir. Ayrıca çubuk çapının büyümesi gerek yuvarlak düz ve gerekse aderansı geliştirilmiş çubuklarda, çatlama bakımından olumsuz yönde etkiler. En önemli sorun beton ile çeliğin birlikte çalışması olduğundan çubuk yüzeyinin niteliği önemlidir. Donatı çeliğinin aderansını geliştirmek amacıyla çubuk yüzeyine verilen özel şekiller aderans direncini büyük ölçüde arttırmaktadır. Yeni üretilmiş (haddeden yeni çıkmış) çelik çubuk yüzeyinde bir takım pürüzler vardır ve zamanla paslanmasında etkisiyle de donatı çeliğinin aderans direnci bir derecede sağlanmış olur. Pas genellikle kızıl bir görünüş taşır ve aderans direncinin sağlanmasında yararlıdır. Ancak ilerlemiş ve kabuk görünüşünü almış pas ise betonla demirin bağını kesmesi yönünden aderansı azalttığı gibi hacminin artmasıyla beton içinde çatlaklara neden olabilir. Benzer olarak, topraklı, çamurlu, yağlanmış çubukların da aderans direnci yok denecek kadar azdır.



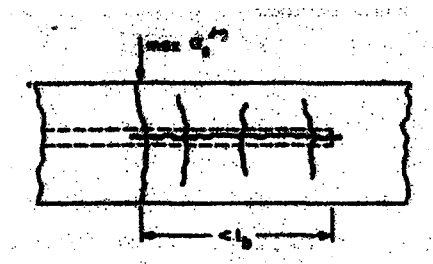
Şekil 2.9 Paslanmanın aderansa etkisi (Arda, 1968, s.38).

Kenetlenme boyu: Aderans olayında kenetlenme boyunun etkisi önemli derecede büyüktür. Statik hesaplamalarda ve yapım aşamasında mutlaka T.S.E. 500'de belirtilen şartlara uyulmalı ve özellikle kontrolü özenle yapılmalıdır. Aderans gerilmeleri çubuk boyunca büyük değişim gösterir ve çatlama donatıda yerel gerilme farklarını doğurur. Yeterli kenetlenme sağlandığında aderans sorun

yaratmamaktadır. Genelde aderans sorunu kenetlenme sorunu olarak ele alınmaktadır. Yeterli aderansı sağlamak için gerekli kenetlenme boyu “temel kenetlenme boyu” olarak tanımlanmaktadır. Ancak temel kenetlenme boyunun yaklaşık bir değer olduğu unutulmamalıdır. Eğilmeye çalışan bir betonarme yapı elemanında momentin bir kesitten diğerine değişebilmesi için, donatıdaki gerilmenin de değişmesi gerekir. Bu değişme ise ancak donatı çevresinde oluşan ve aderans gerilmesi olarak tanımlanan kayma gerilmeleri ile mümkün olmaktadır.

Betonarme malzeme içinde donatı çeliği yeterli uzunlukta gömülmüş ise donatının çekip çıkarılması mümkün değildir. Ancak gömülme boyunun yeterli olmadığı durumlarda çubuk yüzeyinin geometrisine bağlı olarak donatı çeliği beton malzemeden sıyrılıp çıkabilir veya kendisini saran beton kütleyle yarabilir. Beton malzemeye gömülen donatı çeliği boyu “kenetlenme boyu” ve bu tür aderans da “kenetlenme aderansı” olarak tanımlanmaktadır. “Kenetlenmenin yeterli olabilmesi için, donatı akma gerilmesine eriştiğinde veya depremde olduğu gibi, donatı akma ötesinde belirli bir birim deformasyona ulaştığında, çubuk betondan sıyrılmamalı ve betonu yarmamalıdır.” (Ersoy, 1985, s.527).

Aderansın neden olduğu çatlakların tanınmasında ve diğer çatlaklardan ayırt edilmesinde yarar vardır. Şekil 2.10’da kenetlenme boyunun yetersiz olması nedeni ile, kiriş alt yüzünde gözlenen çatlaklar gösterilmiştir. Bu şekilde, donatı çubuğu kesik çizgilerle gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Kenetlenme boyunun yetersiz olması nedeniyle kiriş alt yüzünde oluşan çatlaklar (Ersoy, 1985, s.536).

Donatıyı örten betonun kalınlığı (c): Bu etkenin ankraj aderansı veya dış aderans üzerindeki etkisi daha çok aderansı geliştirilmemiş çubuklar için önem kazanmaktadır. Yuvarlak düz çubukların; belirli bir pürüzlülüğe sahip olanları daha küçük ölçüde bir etkilenme gösterirler. Donatı üzerindeki çıkıntıların çubuktan betona aktardığı kuvvetlerin çubuk eksenine dik bileşeni betonu parçalamaya çalışır. Bu da çubuk eksenini boyunca uzanan boyuna çatlaklara sebep olur. Araştırmacılar donatıyı örten beton kalınlığı “c” nin artmasının çatlama olayı üzerinde olumsuz etkidiğine de değinmektedirler.

Çelik çubuğun betonlama sırasındaki konumu ve seviyesi: Çelik çubuğun betonlama sırasındaki konumu; düşey, yatay veya eğik olması ve beton üst yüzeyine göre seviyesi, yani altta veya üstte olması çubuğun aderansını önemli ölçüde etkiler. Üst ve alt sıralara konulan çubukların aderans özellikleri arasındaki fark aşağıda verilen sebeplere dayandırılabilir.

- Betonun döküm ve priz zamanları arasında tasman yaparak üst sıra demirlerinin alt yüzeyi ile bağlantısının zayıflaması.
- Prizden önce alt seviyede hidrostatik basıncın daha büyük olması ve bu basıncın betonu alt çubuk sıraları üzerine bastırması.
- Su ve hava dolu boşlukların sıkıştırma sırasında hafiflikleri sebebiyle üst seviyede toplanmaları ve üst sıra çubuklarını sarmaları.

Çubuğun kesitteki diğer çubuklara göre konumu ve çubuklar arası uzaklık da birçok araştırmacı tarafından aderansı etkileyen bir faktör olarak kabul edilmiştir.

Enine donatı: Enine donatı, özellikle aderansı geliştirilmiş çubukların aderansını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Enine donatının etkisi üzerinde önemli bir araştırma J. R. Robinson tarafından yapılmış ve sonuçları 1965’te yayınlanmıştır. Bu araştırma, bir bindirme ekinde, enine donatının iki ayrı ana görev yüklendiğini göstermektedir. Birinci görevi, beton kesme kuvveti etkisi altında 45° eğimle çatladığında, ekleme yapılan çubukları birbirlerinden ayırmaya çalışan enine kuvvetler oluşur ki etriyeler buna karşı koyarlar. Bu tür çalışmada enine donatı,

kesitin çeşitli yerlerinde bulunan çubukları birbirlerine bağlamaktadır. İkinci görevi ise çekilen çubuklar boyunca boyuna çatlaklar oluşmaktadır. Enine donatı bu tür çatlakların da açılmasına ve genişlemesine engel olmaktadır. Bu tür çalışmada etriyeler örtü betonunun bağlantısını da kuvvetlendirmektedir.

Bu iki görev birbirlerinden ayırırlar ve birinin sağlanmaması durumunda betonarme elemanın kırılması gibi olumsuz bir sonuç ile karşılaşılabilir.

Zamanla ilgili etkenler: Aşağıda aderans olayını etkileyen zaman ile ilgili etkenler kısaca belirtilmiştir.

- Kuvvetlerin etki süresi: Aderans direnci etki eden kuvvetlerin etki süresi arttıkça azalmaktadır.
- Yükleme hızı: Yükleme hızı etkisini beton ve çeliğin birbirlerine göre kaymaları üzerinde gösterir.
- Yorulma etkeni: Malzemenin diğer bütün mekanik özellikleri gibi aderans direnci de dinamik ve tekrarlanan yükler altında yorulma göstermektedir.
- Elektro-kimyasal etken: Demirden başka madenlerden yapıma kalıpların kullanılması durumunda ortaya çıkmaktadır. Bu durumda, donatı demirleri ile farklı madenden yapılmış olan kalıp malzeme arasında bir potansiyel farkı oluşmaktadır ve bu etkileşim donatı çevresinde aderansı büyük ölçüde azaltan gaz kabarcıklarının meydana gelmesine neden olmaktadır. Örneğin çinkonun (anod) katılaşmamış betonla temas yüzeyi donatı demirlerinininkiyle (katod) kıyaslanabilecek bir derecede ise ve bu madenler birbirlerinin yakınlarında bulunuyor iseler (bu şartlar kalıp halinde gerçekleşmektedirler), donatı çevresinde aderansı azaltan gaz kabarcıkları oluşmaktadır. Beton malzeme içinde, çok az miktarda da olsa, kalsiyum klorit tuzu bulunması durumunda olay şiddet kazanmaktadır. Aynı olay alüminyum ve bakır için de gözlenmiştir. Bu etken betonarmede kullanılan kalıpların ahşap veya sac olması gereğini ortaya çıkarmaktadır.

2.6.3. Çatlama olayı ve aderans ile ilgisi

Bu bölümde, çekme veya eğilmeye çalışan betonarme elemanlarda, aderansın her iki malzemenin (beton ve çelik) birlikte çalışmalarını sağladığına ve bu türlü çalışma gösteren aderansa “iç aderans” ve ona bağlı “çatlama olayı” üzerinde kısaca durulacaktır. Çatlakların maksimum açılma değerleri Avrupa Beton Komitesi (C.E.B.) ve birçok ülkelerin yönetmeliklerince aşağıda verilen şekilde sınırlanmıştır:

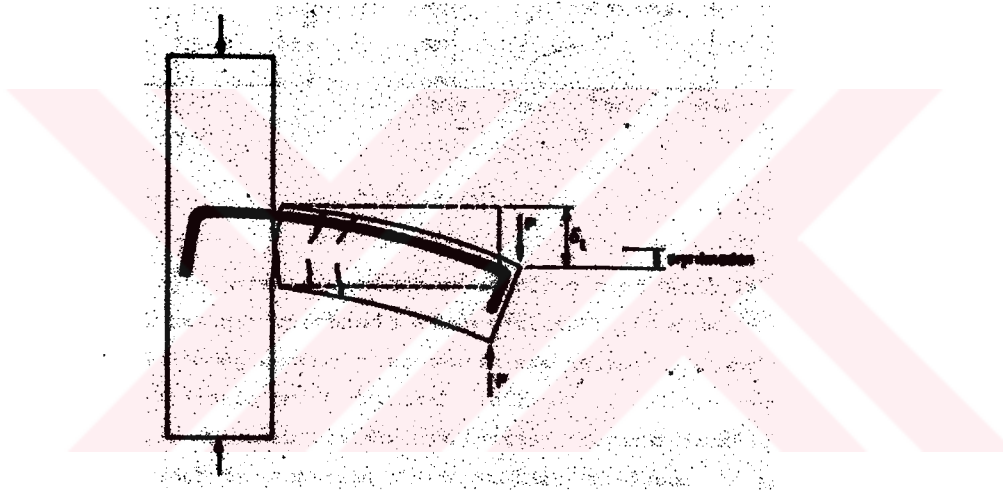
- Zararlı dış etkenlere maruz elemanlarda 0.1 mm.
- Dış etkilere karşı korunmamış normal yapı elemanlarında 0.2 mm.
- Dış etkilerden korunmuş normal yapı elemanlarında 0.3 mm.

Çekme çatlakları, betondaki kuvvetlere dik olarak meydana geldiklerinden doğrultuları bellidir. Çatlakların birbirlerinden uzaklığı ve açılmaları hem beton direncini aşacak ölçüdeki kuvvetlerin, hem de betondaki kuvvetleri donatıya ileten beton ve çelik arasındaki iç aderansın değerlerinden etkilenir. Bu etkenlerden iç aderans özellikle donatı çeliğinin özelliklerine bağlıdır. “Çubuğun betona dışlı kuvvetleri aracılığıyla tutunması kaymayı azalttığından, betonun çeliğin uzamasını takip edememesinden ileri gelen çatlakların sayısı artar. Böylece çeliğin toplam uzaması ile betonun toplam uzaması arasındaki fark az açılmış çok sayıda çatlağa bölünmüş olur. Dolayısıyla aynı bir gerilme altında, dışlı kuvvetleri meydana getiren aderansı geliştirilmiş çubuklarda çatlakların açılması daha küçük değerde kalır.” (Arda, 1968, s.66).

Aderans gerilmelerinin, bir başka deyişle elemanı yarılmaya zorlayan kuvvetlerin neden olduğu çatlama, donatı çubuklarının konumuna ve beton örtüsünün kalınlığına göre, elemanın alt veya yan yüzünde gözlenir.

Özellikle depremde, tekrarlanan ve tersinir yükler altında kalmak zorunda olan betonarme elemanlarda aderans olumsuz yönde etkilenmektedir. Böylece elemanın yerdeğiştirmesi artarken, rijitliğinde önemli zayıflamalar görülür. Beton malzeme ve donatı çeliği arasında meydana gelen kalıcı sıyrılmanın derecesi ve kapanmayan

çatlakların genişliği, daha önce uygulanmış yük veya yüklerin büyüklüğüne bağlıdır. Böyle bir durumda eleman tekrar aynı yönde veya ters yönde yüklendiğinde, artık aderansı zayıflamış bir eleman söz konusudur. Donatı çeliğinin iki yönde de sıyrılması aderansla büyük çapta zayıflamalara neden olacaktır. Tekrarlanır yük etkileri altında gözlenen aderans zayıflaması, yapının deprem davranışını da olumsuz yönde etkileyeceğini göstermektedir. Bu nedenle, depreme dayanıklı yapıların oluşturulmasında donatının kenetlenme sorunu son derece önemlidir. Aderans zayıflamasına örnek olarak, bir kenar kiriş – kolon birleşimi Şekil 2.11’de gösterilmektedir.



Şekil 2.11 Aderans zayıflamasının elemanın taşıyıcılığına etkisi
(Ersoy, 1985, s. 573).

Ayrıca tekrarlanan tersinir yük, bindirmeli ekleri de olumsuz yönde etkilemektedir ve ek bölgesinde oluşan zayıflama tekrarlanan yük sayısına bağlı olarak artış göstermektedir. Özellikle ek bölgesinde oluşan önemli derecede aderans zayıflaması ve sıyrılma nedeni ile eleman dayanımı ve rijitliğinde oluşacak büyük azalmalar, depreme dayanıklı yapı tasarımında önemli sorunlar yaratmaktadır. Ek boyunca yerleştirilen sargı donatısının ise dayanım üzerinde olumlu etkileri vardır. Eklerin aynı kesitte yapılması yerine şaşırtılarak düzenlenmesi de davranışı olumlu yönde etkilemektedir.

2.7. Kalıp

Betonarme yapı malzemesinin bileşimine girmemekle birlikte, betonarmede beton ve çelikten sonra üçüncü ve hemen onlar kadar önemli bir öğede kalıptır. Kalıp çok kere, yapı maliyetine etkisi dolayısıyla yapı sisteminin seçiminde baş rolü oynayabilir. Kalıp beton hamurunun içine döküldüğü ve sertleşinceye kadar kaldığı, ona biçim veren ortam görevini yapmaktadır. Kalıp yapmak için en çok kullanılan malzeme ahşaptır. Ahşap dışında metal ve plastik malzemeler de kullanılmaktadır. Ancak aderans bakımından ahşap veya plastik gibi elektrik yönünden yalıtkan ya da sac gibi donatıyla aynı elektriksel gerilim altında bulunan malzemelerin dışındaki çinko, bakır vb. levhalardan yapılmış kalıpların bir takım sakıncalar yarattığı unutulmamalıdır. Bu nedenle kalıp yüzeyi malzemesi seçilirken geçirimsiz olmasına, taze beton ile kimyasal reaksiyona girmeyen malzemeden seçilmesine özen gösterilmelidir. “Bütün kalıp ve iskeleler duruşunda emniyetli, taşıma gücü yeterli olmalıdır. Bunlar T.S.E. 647’ye uygun hazırlanmalı, birleştirilmeli, kurulmalı ve fazla deformasyon ve oturma yapmayacak şekilde düzenlenmelidir.” (T.S.E. 500,1985, s.14). Kalıp yüzeyi, taşıyıcı elemanlar ve yardımcı elemanlar, herşeyden önce beton dökümünden ötürü oluşacak tüm yükleri taşıyacak kapasitede olmalıdır. Vibratör kullanımı sırasında oluşacak titreşimlere karşı yeterli rijitlikte olmalıdır. Kalıp seçiminde sağlanması gereken önemli kriterler aşağıda sunulmuştur:

- Beton dökümünden kaynaklanan yükleri güvenle taşıyabilecek kalıp veya kalıp sistemi seçilmelidir.
- Kolay taşınabilir olmalıdır.
- Kalıp oluşturma ve sökme süresi mümkün olduğunca az olan sistemler seçilmelidir.
- Modüler ve aks ölçülerine uygun boyutlandırılmalıdır.

Beton dökümü işinin bitimi ile kalıp sökme arasında geçecek süre, kullanılacak çimentonun cinsine, betonun kalitesine, su çimento oranına, betonarme yapının yükünün cinsine, etkilerin büyüklüğüne ve hava koşullarına bağlıdır. Kalıp ve kalıp süreleri hakkında T.S.E. 500’de belirtilen kurallara uyulmalıdır.

BÖLÜM 3

BETONARME ELEMANIN BOZULMASINA NEDEN OLAN KARBONATLAŞMA VE DONATI ÇELİĞİNİN KOROZYONUNUN DAYANIKLILIĞA ETKİSİ

Bu bölümde betonarme elemanın bozulmasına neden olan karbonatlaşma ve donatı çelğinin korozyonunun dayanıklılığa etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmada verilen örnek yapılarıdaki betonarme elemanlarda oluşan bozulmaların nedenleri, bozulmanın yapının taşıyıcı elemanının yüzeyinde kendini gösterme şekli dikkate alınarak, gerekli gözlem ve incelemeler yapılarak irdelenmiştir. (Bkz. Bölüm 3.3). Bozulma nedenlerinin kesin teşhisi için laboratuvarında gerekli deney çalışmalarının yapılması ise tez kapsamı dışında kabul edilmiştir.

3.1. Betonarme elemanda karbonatlaşma ve karbonatlaşma sonucu oluşan bozulmaların dayanıklılığa etkisi

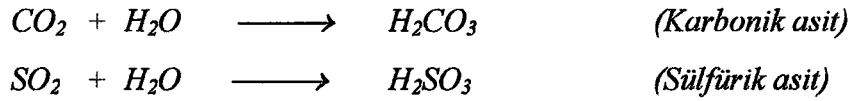
Beton yüksek dereceden alkali bir malzemedir. Alkali birleşimi özelliği ile betonarme donatılarını korozyondan koruyan beton, zamanla karbonatlaşarak bu niteliğini kaybeder.

Alkalik korumanın temeli, $Ca(OH)_2$ 'in saf yağmur suyu içinde bile kolaylıkla çözünür olmasıdır. Üst yüzeye yakın bölgelerdeki bu kayıp olayına hava içindeki

kirlilik maddelerinin reaksiyonu da eklenir. Atmosfer asit oluşturan gazları kapsamaktadır. Bunlar en fazla CO₂ ve SO₂ olup üç adımda reaksiyon gösterirler.

1. Adım: Betonun gözenek sistemi içine işlemesi

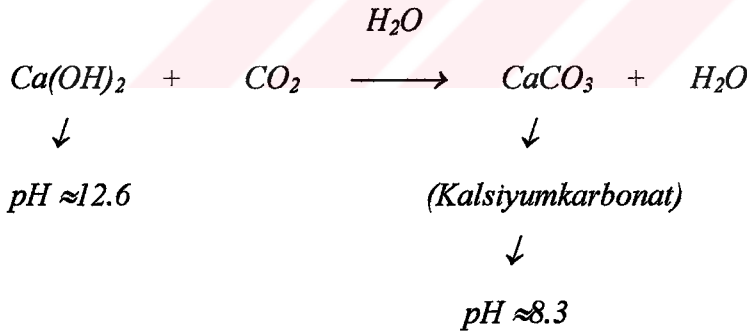
2. Adım: Gözenek suyu ile oluşan reaksiyon



3. Adım: Asitler gözenek suyu içinde çözülmesi olan betonun alkali bileşenleri ile reaksiyon yaparak bunları nötrleştirir.

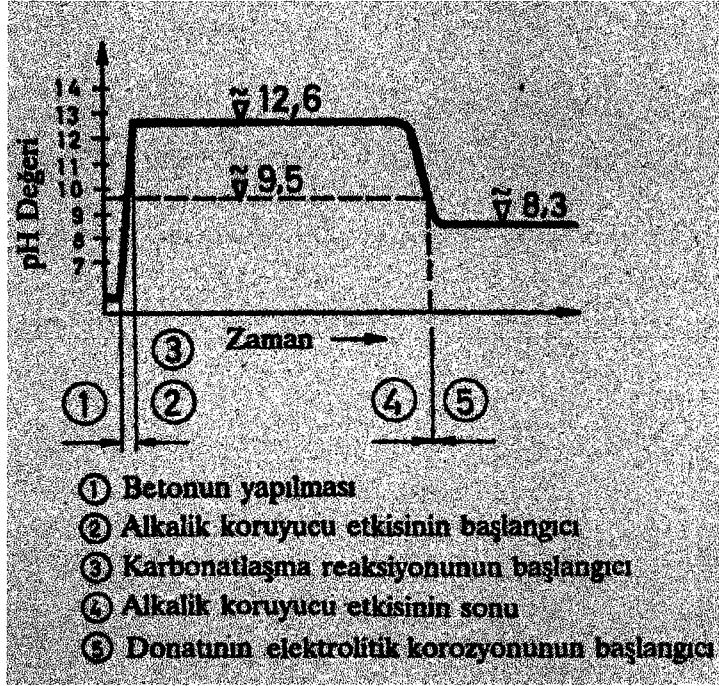


Atmosferdeki CO₂ değeri SO₂ değerinin yanında en önemli etkiyi oluşturan değerdir.



Bu reaksiyonda CO₂ kullanılarak bitmiş olduğundan dışarıdan tekrar içeriye geçmesi gerekmektedir. (Specht, 1994, s.47-48).

Gözenek suyunun doymun olabilmesi için beton bileşiminde bulunan Ca(OH)₂'in az miktarı yeterlidir. Bu nedenle pH değeri Ca(OH)₂'in tükenmesi durumunda, çok hızlı bir şekilde azalır Aşağıda şekil 3.1'de beton örtü tabakası içinde pH değeri ile zaman arasındaki bağıntı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Beton örtü tabakası içinde pH değeri ile zaman arasındaki bağıntı.
 (Specht, 1994, s.49).

Reaksiyon sonucu oluşan kalsiyumkarbonatın pH değeri 8.3'tür. pH değeri $8.3 < 9.5$ olması nedeni ile beton, donatı çeliğini koruma etkinliğini kaybeder ve pasif tabaka kararsız duruma geçer. "KOH, NaOH gibi hidroksitler karbonatlaşır ve çimento jölesinin CSH fazları kalsiyumkarbonata dönüşürler. CSH fazları su içeren SiO_2 jölesine dönüşürler. Bu nedenle su ayrışımı meydana gelmez. Bu olaya son ürün olan kalsiyumkarbonata bakılarak **betonun karbonatlaşması** adı verilir." (Specht, 1994, s.48). CaCO_3 değişimleri kararlıdır ve suda zor erirler. Ancak hacimleri daha büyüktür ($> \%20$). Bu nedenle betonun emme katsayısı, karbonatlaşmanın ilerlemesi ile artar. Aşağıda bir betonun karbonatlaşma hızını belirleyen etkenler verilmiştir:

- *Kapiler gözeneklerin büyüklüğü*
- *Kapiler gözenekleri su ile tıkamaksızın nemlendiren, bir miktar kirlenme maddeleri içeren yüksek bir hava nemi*
- *Reaksiyon yapma özelliği olan kalsiyumhidroksidin mevcut olması (beton kitlenin büyüklüğüne bağlı olarak). (Specht, 1994, s.48).*

Betondaki problem, betonun gözenekli bir yapıya sahip olması, zararlı maddelerin beton yüzeyinden içeri emilerek ve bunun sonucunda da donatı çeliğinin aşınmasıyla, betonun yapısal özelliğinin bozulmasına neden olmaktadır.

Beton, dökülüp, sertleşmeye bırakıldığında alkalidir. Karbonatlaşma; betonun gözeneklerinden ve mikro çatlaklardan içeri etki eden karbondioksit, bu dengeyi bozarak, betonu düşman bir asit çevreye dönüştürür, bu çevrede zamanla çelik çubukların çapını genişletecek aşınma hücreleri oluşumunu başlatarak, zamanla betonun çatlamasına neden olur. Çeliğin içine kadar işleyecek şekilde daha fazla aşınmaya izin verilirse çelik, betonu dış yüzeye doğru patlatıp, itecek ve yapısal düzen bozulacaktır.

Beton donatı için uygun bir koruyucu alkali çevre (pH 9.5) sağlar ve donatı çeliği yüzeyinde pasif film oluşur ki, bu onu korozyona karşı korur. Havanın karbondioksiti kalsiyum hidroksitle reaksiyona girmesi sonucunda betonun alkalitesi azalır ve çelik korozyona karşı korunamaz. Karbonatlaşma reaksiyonunun hızı karbondioksit konsantrasyonuna (0.6 gr/cm^3) ve çevredeki havanın bağıl nemine bağlıdır. Ancak beton tamamen ıslak veya kuru ise karbonatlaşma olmaz. %40-70 nem oranı arasında maksimum karbonatlaşma vardır. Beton karbondioksit etkisine karşı kesin dayanıklılığa sahip olmalıdır. Donatı çeliğinde korozyon oluşumunun tek nedeni karbonatlaşma değildir. Karbonatlaşma betonun korozyondan koruma özelliğini azaltır.

Karbonasyon olayı betonun bütün yüzeyinde tesir ederek 20-30 yılda içe doğru 3 cm. işleyecektir. Bunun gibi betonun hatalı karışımından ve kalıba uygunsuz yerleşmesinden doğan gözenekler veya küçük küçük rötre çatlakları değerinde daha çabuk büyümesine sebep olabilir. Örnek olarak: Su/çimento oranının 0.4'den 0.75'e kadar artmasıyla da boşluk hacminin artmasından dolayı karbonasyon oranı dört katına çıkar. Karbonasyon işlemi çelik donatıya ulaşırken pH düşer, sonunda 8.5-9'luk bir hacim limitine ulaşarak donatının paslanma olayının başlamasına sebep olur. Bu paslanma (korozyon) sırasında demirin hacmi 2.5 katı artar. Hacimdeki bu artışın sonucu meydana gelen basınç, betonu çatlatır ve pas lekelerinin yüzeye

yayılmasına sebep olur, daha sonra yarılan beton örtüyü atar (Bkz. Resim 3.1). (Küçük, 1988, s.56).



Resim 3.1 Karbonatlaşma ve donatı çeliğinin korozyonu etkisi sonucu betonarme elemanda oluşabilecek bozulma.

Beton bozulmasının önemi ve/veya büyüklüğüne göre her iki açıdan belirleyen bir düzen içinde teşhis metodları kullanılır. Bu amaçla;

- Karbonasyon testi için beton yüzeyine fenolftetalin püskürtülür. Püskürtme sonrası, pH değeri (alkalite) 10 dan büyük olan bölgeler karbonasyondan etkilenmemiştir ve renk pembeye dönüşür. Renksiz kalan bölgelerde karbonasyon olmuştur.
- Karbonasyon etkisi betona sabit bir zaman seviyesinde etkir. Çelik donatı üzerindeki beton kaplamasının kalınlığı konvermetre ile belirlenir. Bununla etkilenmiş donatı üzerinden zaman seviyesi tahmin edilebilir.

- Hafif vuruşlarla veya Schmidt çekici ile farklı ses tonu ve beton dayanımlarından çürük bölgeler bulunabilir.
- Çizerek ve kazıyarak oyucu ve benzeri aletlerle yüzey erozyonu ve gevrekliği belirlenir.
- Diğer yıkımsız testler özel teknikler kullanılmasıyla yapılabilir.

3.1.1. Karbonatlaşmayı etkileyen etkenler

Karbonatlaşma olayını etkileyen birçok etken vardır. Karbonatlaşmayı etkileyen en önemli etkenler aşağıda verilmiştir.

- Su/çimento oranı
- Kürlleme (bakım) şartları
- Çimento miktarı
- Betonun su içeriği ve çevre nemi
- Karbondioksit (CO_2) yoğunluğu

3.1.1.1. Su/çimento oranı

Harç ve betonun boşluk yapısını etkileyen faktörler CO_2 diffüzyonu açısından karbonatlaşma hızını da etkiler. Bunlar arasında su/çimento oranı ilk sırada yer alır. Su/çimento değerinin yüksek olması sertleşmiş betonda boşluğu artırır, gazın girişi kolaylaşır. Ayrıca çok düşük S/Ç değerlerinde de betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılması güçleştiğinden boşluk miktarı artabilir.

Beton sertleşirken, ağırlıkça çimentonun % 25'i kadar bir miktar su kristal halde tutularak çimentonun kalsiyum hidroksit ve silikat halinde hidratlanması sağlanır. % 15 kadar jel halindeki su ise çimento kururken buharlaşır, ortamdan uzaklaştırılarak böylece jelin yapacağı tahribat önlenir. Bu jel suyu buharlaşırken betondan 2.5 mm. çapında gözenekler meydana getirir. Bu gözenekler (boşluklar)

hidratasyona uğrayan çimentonun %20-30'luk hacmini işgal eder. Betondaki karışım suyunun aşırı fazlalığı olan bu miktarın buharlaşmasıyla çimento kapiler (kılcal) gözenekler ihtiva eden biçimi alır. Bu gözenekler su/çimento oranına bağlı olarak çeşitli boyutlarda olabilirler. Bu oran şartname ve standartlar gereği tutularak ve betonun kalıba yerleştirilmesi, sıklaştırılması ileri teknik araçlarla yapılarak iyi kalitede, kompakt, geçirgen olmayan bir beton karışımı sağlanmış olur. (Küçük, 1988, s.54).

3.1.1.2. Kürleme (bakım) şartları

Boşluk yapısını etkileyen diğer bir etken betonun kürüdür. Uzun süre ıslak kür edilmiş bir betonda hidrasyon ürünleri boşlukları tıkayarak karbonatlaşmayı azaltmaktadır. Özellikle puzolonik katkı maddeleri kullanılarak üretilen betonlar kür koşullarına karşı daha hassastır. Bu tür betonlarda yetersiz kür sonucu daha büyük miktarda karbonatlaşma meydana gelir.

3.1.1.3. Çimento miktarı

Yapılan araştırmalar yüksek dozajlı betonların düşük dozajlı betonlara göre daha az karbonatlaştıklarını göstermektedir. Bu durum çimento tanelerinin, agrega taneleri arasındaki boşluğu tıkayacak kadar yeterli olmadıklarında, agrega-çimento ara yerinin boşluklu, boşlukların bağlantılı yapısına bağlanabilir. Ayrıca, yüksek dozajlı betonlarda karbonatlaşabilecek öge miktarı dolayısıyla karbonatlaşma sonucu meydana gelecek ürün miktarı fazladır. Oluşan karbonatlar betonun boşluk hacmini darlaştırır ve böylece reaksiyon yavaşlar.

“Traslı, uçucu küllü veya cürufu çimentolu betonlarda karbonatlaşma hızı yüksektir.” (Akman, 1997, s.406).

3.1.1.4. Betonun su içeriği ve çevre nemi

Karbonatlaşmanın hızını değiştiren bir diğer özellik betonun su içeriği ve bununla dengede olan çevre nemidir. Karbonatlaşma reaksiyonu için ince bir su filmi ve sürekli bir CO₂ akımı gerektiğinden, %30'un altındaki rölatif hava nemi değerlerinde CO₂ karbonik asite dönüşemez ve karbonatlaşma meydana gelmez. Suya doygun bir betona CO₂ diffüzyonu ihmal edilebilir derecededir. Dolayısıyla rölatif hava neminin % 90'ın üzerinde olması durumunda da karbonatlaşma reaksiyonu pratik olarak durur. Bu nedenle açıkta bırakılan fakat yağmura karşı korunmuş elemanlar, korunmamış elemanlara göre ortalama 2-3 kez daha çabuk karbonatlaşır. Örneğin 60 cm. kalınlığında eğik olarak konmuş olan beton plakların alt yüzeylerinin, yağmura dönük yüzeylerinden ilk yıllarda 10 kez daha çabuk karbonatlaştıkları görülmüştür.

3.1.1.5. Karbondioksit (CO₂) yoğunluğu

Normal havada yaklaşık %0.03 oranında CO₂ bulunur. Ortamın CO₂ yoğunluğu yükseldikçe karbonatlaşma doğal olarak daha hızlı oluşur. Bu nedenle hızlandırılmış karbonatlaşma deneylerinde CO₂ yoğunluğu yüksek hava kullanılarak, birkaç yılda meydana gelebilecek karbonatlaşma miktarına birkaç günde ulaşılabilir.

Ayrıca yüksek sıcaklıklar (bacalar) ve havanın kirlenmesi de karbonatlaşmayı hızlandırıcı etki yapar.

Karbonatlaşma aynı zamanda rötreye de sebep olur. karbonatlaşma sonucu oluşan hacim artışına karşın rötrenin oluşması kesin olarak açıklanmamıştır. Karbonatlaşma rötresini kimyasal reaksiyon sonucu açığa çıkan suyun buharlaşmasına bağlayan yaklaşımlar vardır. Bir diğer yaklaşımda ise rötrenin, basınçlı bölgedeki Ca(OH)₂ ve CaCO₃ kristallerinin yer değiştirmeleri ve yeni geldikleri bölgede basınç gerilmeleri oluşturarak çimento hamurunu sıkıştırmalarına bağlanmıştır. Karbonatlaşma yüzeyden başlayıp iç bölgelere geçişi eşit olmayan bir rötreye dağılımına sebep olur, böylece dış bölge çekme gerilmelerine, iç bölge basınç gerilmelerine maruz kalır. Bu

durumda karbonatlaşma rötresi ile oluşan çekme gerilmelerinin birkaç aylık bir süre sonunda betonun çekme dayanımını aşması mümkündür. Üst kabuk iyice kuruduktan sonra yüzeyde çatlaklar oluşur. Derin olmayan bu ince çatlaklar bir ağ teşkil ederler. Mukavemet ve dayanıklılık açısından zararsızdırlar, ancak karbonatlaşmanın hızlı ve derin olduğu durumlarda çatlaklar önem kazanır.

3.2. Donatı çeliğinin korozyonu ve oluşan bozulmaların dayanıklılığa etkisi

Donatı çeliğinin kimyasal reaksiyon sonucu zarar görmeleri, özellikle üst yüzeylerinden başlayarak devam eder. Çelik oksijenle temas ettiğinde oksitlenir. Fabrikadan çıkan çelik, kuru ve zararlı maddeler içermeyen bir atmosferde, çok ince bir ferro-oksit tabakası ile kaplanır ki, bu tabakada, betonarme malzemenin içinde çeliğin betonla bağlanmasına yardımcı olur. Ancak körfez ülkelerinde görüldüğü gibi nemli ve tuzlu bir atmosferde çelik, oluşan aşınma hücreleri, durdurulamazsa çeliğin içine işleyerek yapısal özelliğini bozmasına neden olmasıyla aşınır.

Betonarme taşıyıcı elemanın bozulma nedenlerinin en başında geleni betonarme çeliğinin korozyonudur. Korozyonun başlaması belirli zincirleme olayların oluşmasını sağlar. Çeliğin korozyonu sonucu oluşan hacimsel genişleme çevreleyen beton içinde gerilmelere bu da çatlamalara, dökülmelere ve ayrıca elemanın yükleneceği gerilme kuvvetini karşılamak için projelendirilen kesit alanından daha az çelik alanın oluşmasına neden olur. Başlangıçta, beton içindeki çeliğin korozyona uğraması çevrenin yüksek pH değerinden dolayı mümkün değil gibi görünse de zamanla şartlar değişip korozyon başlayabilir. Kloridler ve atmosferden beton içine giren karbondioksit gibi etkilerin bu pasif durumu değiştirdiği görülmüştür. Betonarme çeliğinin korozyonu tamamen içinde bulunduğu betonun şartlarına bağlıdır. Beton içindeki küçük gözeneklerden oluşmuş boşluk sistemi değişik elementlerin çözeltilerini içerir. Bu çözeltiler betonarme çeliğini ya korur veya korozyonu başlatır.

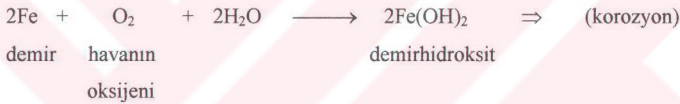
3.2.1. Korozyon türleri

Bazı özel durumlar dışında normal sıcaklıkta betonarme çeliğinin korozyona uğrama şekilleri aşağıda belirtilmiştir.

- Atmosfer korozyonu, (Oksijen korozyonu)
- Elektrolitik korozyon, (Oksijen korozyonu)
- Temas korozyonu (bimetal).

3.2.1.1. Atmosfer korozyonu

En sık rastlanan korozyon şekli açıkta bulunan demirin paslanmasıdır. Oksijen korozyonu;



Bu korozyon olayında oluşma şartları çok önemlidir.

Tablo 3.1 Atmosfer korozyonu

Metal	+	Oksijen Su buharı Hava kirliliği	=	Korozyon
-------	---	--	---	----------

Korozyon olayında su buharının en önemli etkisi, buhar basıncını doyum haline erdirmek ve demirin üst yüzeyinde ince bir su filmi tabakası oluşturmaktır. Böylece suyun içinde havanın oksijeni kolaylıkla erir. Buhar basıncının doyum haline erişmediği zamanlarda, bir başka deyişle rölatif hava rutubetinin % 100'ün altında bulunması durumunda demirin üst yüzeyi kuru kalır ve paslanmaz.

Korozyon olayında hava kirliliğinin en önemli etkisi ise, demirin üst yüzeyinde higroskopik (nem çeken) tuzların birikmesini sağlayarak korozyonu

kolaylaştırmasıdır. Havanın temiz olması durumunda korozyon olayı meydana gelmez. Hava kirliliği ile birlikte korozyonunda başladığı görülür. Ayrıca bu tuzlar doymuş buhar basıncının değerini düşürür. Bu olayda oluşan su filmi içinde reaksiyon için gerekli oksijen ile birlikte havada bulunan higroskopik tuzların da erimesiyle bir elektrolit eriyiği oluşur. Ancak elektrolitik korozyon olayının gerçekleşebilmesi için elektrolitik eriyiğinin sadece üst yüzeyde bir su filmi meydana getirmeyip çeliğin çevresini saran bir su kitlesi oluşması gerekir. Bu şart da betonarme malzemede bulunan beton içine gömülü olan donatı çeliğinde görülür. Hava kirliliğinin fazlalaşması ile korozyon hızının artması tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3.2 Hava içindeki zararlı maddelerin korozyon hızına etkisi. (Specht, 1994, s.17).

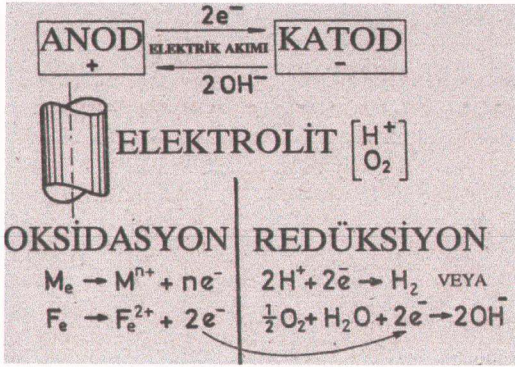
Atmosfer	Korozyon hızı çelik için ($\mu\text{m/yıl}$)
Kırsal kesim	4 – 60
Şehir havası	30 – 70
Sanayi havası	40 – 250
Zararlı atmosfer etkileri bulunması	100 - 1000 ve daha fazlası

Korozyona neden olan kirliliklerin en önemlileri ise:

- Genellikle bu maddeler bacalardan ve otomobillerden çıkan karbondioksit, klorhidratlar, azot oksitler, hidrojen sülfür ve çok etkili olan kükürtdioksittir.
- Deniz iklimindeki klorürler gibi doğrudan etkileyen tuzlar ve PVC malzemesinin yakılması ile açığa çıkan tuzlar.

3.2.1.2. Elektrolitik korozyon

Beton içindeki donatı çeliğine zarar veren en önemli korozyon olaylarından olan elektrolitik korozyon atmosfer korozyonunun genel şekli olarak da tanımlanır. Elektrolitik olayın ilk şartı olan elektrik ileten bir elektrolit eriyiğinin (su ve erimiş tuzlar) bulunması beton içinde kendiliğinden sağlanmıştır. Çimento bileşiminde yeterli derecede alkali maddeler vardır ve bunlar su içinde erirler. Su ise açık yerlerdeki yapı elemanlarında bulunur. Elektrolitik reaksiyon anod ve katod kısmi reaksiyonlarına ayrışır.



Şekil 3.2 Elektro-kimyasal metal korozyonu. (Specht, 1994, s.19).

Şekil 3.2'de gösterildiği gibi “anod'daki demirin erime hızı (korozyon hızı) katod'un rölatif büyüklüğüne ve reaksiyon hızına bağlıdır. Reaksiyon hızı da elektrolit içindeki oksijenin (oksidasyon maddesi) yoğunluğuna bağlıdır. Betonun dokusu homojen olmadığından ve beton örtü tabakasının kalınlığı da değişken olduğundan havanın oksijeninin elektrolit içindeki konsantrasyonu da farklı olacağından, aynı taşıyıcı eleman içindeki korozyon miktarları da farklı olabilecektir. Anod ve katodun potansiyelleri farklıdır. Metal ve nemli beton (elektrolit) geçirgendir. Her iki kısmi reaksiyon bu şekilde bir elektirik devresi oluşturarak galvanik elektrik devresi meydana getirir. Donatı çeliği elektronları katoda, elektrolit ise hidroksit iyonlarını anoda nakleder. Her iki kısmi reaksiyonun bulunduğu bölgeler birbirinden uzak olabilir.” (Specht, 1994, s.20). Etkileme derecesi ise elektrolitin etkilme uzaklığı, su miktarı, erimiş olan tuzların miktar ve cinslerine bağlıdır.

Tablo 3.3 Beton içindeki donatının korozyonu

Donatı	+	Su Oksijen Eriyik tuzlar	=	Korozyon
--------	---	--------------------------------	---	----------

Su, oksijen ve eriyik tuzlardan birinin bulunmaması durumunda korozyon olayı olmaz. Bu nedenle kuru iç hacımlarda (su bulunmaması) ve tamamen su içinde

bulunan (hava oksijeninin çok az olması) betonarme elemanların uzun zaman paslanmaya karşı dayanım olayını açıklar. En fazla zarar görecektir elemanlar ise elemanın su ile veya değişken nem ile karşılaşan, hiçbir zaman tam kurumayan ve hiçbir zaman tam ıslanmayan betonarme elemanlardır. Korozyon aşınması, betonun nem değerinin, çevresindeki nem denge durumuna bağlı olarak rölatif hava nemi derecesinin % 50-60 karşılığı olacak bir dereceye erişmesi durumunda meydana gelmektedir. En etkili koruyucu önlem ise yeterli kalınlıkta bir beton örtü tabakasının mümkün olduğu kadar sık dokulu olarak yapılmasıdır. Böylece hava oksijeninin beton içine girmesi önemli derecede azaltılmış olur. Fazla su içermeyen bir beton karışımı, taze betonun iyi sıkıştırılması ve üst yüzeyinin geçirimsiz nitelikte yapılması ile istenen doku sıklığı sağlanmış olur.

3.2.1.3. Temas korozyonu (bimetal)

Temas korozyonu elektrolitik korozyonun özel bir şeklidir. Beton içinde birbiri ile temas eden iki metalin birbirlerine uzun süre içindeki zararlı etkisi kesin olarak bilinmediği durumlarda, her iki metal kullanılan beton örtü tabakası kalınlıkları ile birbirlerinden ayrı tutulmalıdır. Örnek olarak betonarme çeliğinin bağlantı elemanları ile olan ilişkisi verilebilir. Ancak bugüne kadar normal betonarme çeliği ile paslanmaz çelik arasında hiçbir korozyon etkisi görülmemiştir.

3.2.2. Korozyonu etkileyen etkenler

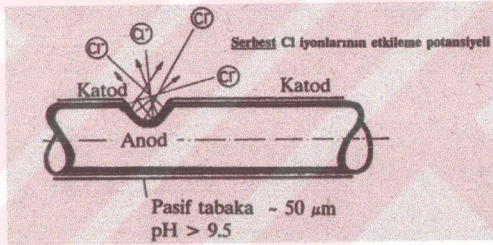
Donatı çeliğinin korozyonunu hızlandıran etkenler;

- Beton malzemenin üretiminde yapılan hatalar:
 - Yüksek su/çimento değeri,
 - İnce agrega fazlalığı,
 - Gereğinden fazla çimento katılması,
 - Çok az veya hiç vibrasyon yapılmaması nedeniyle yüksek geçirgenli beton,
 - Karışımın teknik kurallara ve standartlara uygun yapılmaması,
 - Yetersiz veya yanlış kür işlemi,

- Beton dökümü aşamasında donatı pas payının yetersizleşmesi.
- Beton malzemelerinin kirlilikleri.
- Betonun darbelere maruz kalması.
- Korozyonu artırıcı kimyasalların karışım aşamasında bünyeye alınması.

3.2.2.1. Klorür korozyonu (Klorürlerin korozyona etkisi)

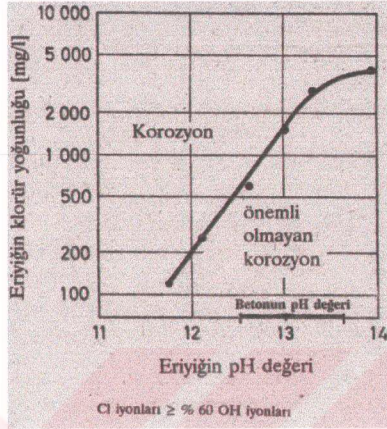
Klorür korozyonu yüksek dereceden alkalik bir ortamda meydana gelir. Demir iyonları betonun nemli olması durumunda eriyebilmektedir. Ayrıca hidroksit iyonlarının nakli içinde bir elektrolit bulunması gerekir. Çeliği koruyan stabil pasif tabaka karbonatlaşmamış betonun içinde yüksek dereceden alkalik bir ortamda yok edilebilmektedir. Serbest klor iyonları, pasif tabakanın içine işleyerek yapısının gevşemesine sebep olur. Bu nedenle pasif tabaka sürekli klor iyonları tarafından olumsuz yönde etkilenmiş olur (Bkz. Şekil 3.3).



Şekil 3.3 Klorür korozyonu. (Specht, 1994, s.38).

Beton malzeme içinde donatı çeliğinin genişlemesinin de etkisi olup olmadığı henüz kesinleşmemiştir. Pasif tabaka serbest Cl^- iyonları OH^- iyonlarının en az %60'ı kadar olduğu durumlarda delinebilmektedir (Bkz. Şekil 3.4). Demiri aşındıran bu olay da, kimyasal reaksiyon sırasında klor iyonları tükenmeden tekrar açığa çıkarak etkileme potansiyeli zayıflamamaktadır. Klorür korozyonunda genellikle çelik üzerinde derin çukurluklar oluşur. Önlem olarak 1960 yılında çimento bileşimindeki klorür miktarı sınırlanmıştır ve en yüksek değer %0.1 ağırlık olarak verilmiştir. Ayrıca klor içeren beton katkı maddeleri ve karışım suyu kullanılması da yasaktır.

Bütün bu önlemlere karşın klor etkisi kaynakları:Buz eritme eriyikleri, PVC yanması, klor içeren komşu elemanlar ve deniz suyudur.



Şekil 3.4 pH değerine bağı olarak serbest klor iyonlarının zararlı konsantrasyonu. (Specht, 1994, s.39).

Klorür yoğunluğu yüksek değerde ise beton dokusu zarar görür. Çimento harcı serbest klor iyonlarının bir kısmını bağlayacak özelliktedir. Bu nedenle beton bileşimi içindeki maddelerin kirliliği nedeni ile ortaya çıkan klor miktarı belirlenen limitlerin altında kalmalıdır.

Klorid iyonları betonda, yerel şartların gereği prizi (hidratasyonu) hızlandırıcı olarak ilave edilen kalsiyum klorid biçiminde bulunurlar. Bu klorid iyonları gözeneklerdeki suyun elektriksel iletkenliğini yükseltir ve çelik donatıyı koruyan etkisiz yüzeyi bozarak korozyonuna (paslanmasına) sebep olurlar. Çelik donatı paslanırken hacmini arttıracak için nüfuz eden klorid etkisi ciddi durumlar meydana getirebilir ve sonuçta meydana gelen gerilme, betonu çatlatır. Böylece koroziv bölgenin büyük ölçüde yayılmasına sebep olur. donatının etrafını iyi kaplayacak şekilde boşluksuz, yoğun, katı beton kullanarak veya klorid iyonlarına karşı yüksek bir geçirgenlik direnci sağlayacak elastik bir zar örtü ile yüzeyi kaplamak suretiyle klorid iyonlarının nüfuzu önenebilir. (Küçük, 1988, s.55).

Yüksek sıcaklık klorun betona etki oranını artırır ve bu da korozyon reaksiyonlarının oluşum hızını artırır. Ayrıca beton malzemelerin bir kısmı, özellikle de ince agregalar ve karışım suyu, korozyon reaksiyonlarına katkıda bulunabilecek oranda klor seviyeleri içerir. Betonun donatı çeliğini korozyona karşı koruma yeteneğini etkileyen temel etkenler, beton kalitesi, betonarme malzeme içinde bulunan donatının üzerindeki pas payı ve ek katkı maddelerinin kullanılmasıdır. Beton tüm kurallara ve standartlara göre üretilmiş olsa bile, klor betona etki eder ve korozyon meydana gelir ve istenen yüksek hizmet ömürlerine ulaşmak için ek korozyon koruma önlemleri almayı gerektirir.

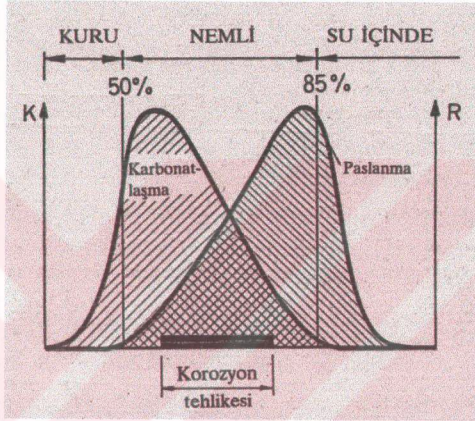
Klorürlerin beton içine girmesi: Klorürler beton içine su içinde eriyip dış yüzeyden kapiler boşlukları doldurarak girerler. Klorürlerin beton içine girmesi olayında kapiler emme olayının etkisi büyüktür. Betonun kapiler boşluklarındaki suyun hareketi en önemli etkilere sahiptir. Kapiler boşlukların artması ve bunu etkileyen diğer etkenler (s/ç değeri, betonun sonradan işleme tabi tutulması, agreganın elek değerleri, katkı maddeleri) klorürlerin beton içine girme, etkime hızını ve derinliğini artırır. Klorürün betona etki derecesi, kapiler bölge (suyun az üzerinde), su seviyesi değişim bölgesi ve sürekli su altında bulunduğu bölgeye göre belirtilen sırada azalma gösterir. Beton kalitesinin yükseltilmesi (s/ç değerinin azaltılması ile birlikte) klorür etkisini azaltabilir.

Yüksek klorür yoğunlukları etkisini öncelikle betonun kenar bölgelerinde göstermektedir. Beton kalitesi ne kadar iyi olursa, yoğunlaşma bölgesi de üst yüzeye o kadar yakın olmaktadır. Ancak, klorürlerin belirli bir derinliğe kadar etkin olması yoğunluklarına bağlıdır. Ayrıca yüksek fırın çimentosu kullanılması durumunda ise, klorürlerin etki derecesi, yüksek fırın kumunun bileşimdeki oranı arttıkça azalır. Böyle bir durumda betonun doku sıklığını arttırmak amacı ile iyi bir üst yüzey işleme yapılması şarttır. Sonuç olarak, düşük gözeneklilik, yeterli beton örtü tabakası kalınlığı ve yüksek alkali değeri korozyondan korunmada etkili olmaktadır. Su sıçrama bölgeleri ve durgun su bölgeleri gibi özel durumlarda ise bir üst yüzey koruması yapılmalıdır.

3.2.2.2. Karbonatlaşmanın korozyona etkisi

Karbonatlaşma olayı sonucu koruyucu alkali özelliğini kaybeden beton örtü tabakası altındaki donatı çeliğinde korozyon başlar. Betonarme elemanların yüzeyinde kapiler boşluk ve çatlaklar meydana gelir.

Aşağıda şekil 3.5’da karbonatlaşma ve korozyon ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Karbonatlaşma ve korozyonun kaymış olan eğrileri.

(Specht, 1994, s.52).

Karbonatlaşma reaksiyonu için ince bir su tabakası ve sürekli bir CO_2 akımı gerekmektedir. Su altında (CO_2 bu) ve %30'un altındaki rölatif hava nemi değerinde (yüksek derecede kirlenmede dahi su buharı yoğunlaşması meydana gelmez) reaksiyon önlenmiş olur. Karbonatlaşmanın en hızlı olarak ilerlemesi rölatif hava neminin %50 civarında bulunması durumundadır. (Bkz. K eğrisi). ikinci eğri olarak paslanmanın derine işlemesi (Bkz. R eğrisi) verilmiştir. R eğrisi bir miktar daha nemli hava yönüne kaymaktadır. Maksimum değeri yaklaşık %85 bulunmaktadır. Beton içindeki donatı çeliği için en büyük korozyon tehlikesi, rölatif hava neminin %50-%85 olduğu durumlardadır. Yağışlar ve yükselmiş olan kapiler yoğunlaşma gözencikleri su ile doldurur ve CO_2 taşınmasını yavaşlatır. (Karbonatlaşmanın

birinci adımı). Bu nedenle açıkta bulunan yağmura karşı korunmuş elemanlar, korunmamış olan elemanlara göre ortalama 2-3 kere daha çabuk karbonatlaşır. 60 cm. kalınlığında eğik olarak konmuş olan beton plakların alt yüzeyleri, yağmura dönük olan yüzeylerinden ilk yıllarda 10 kere daha çabuk karbonatlaşmıştır. (Specht, 1994, s.51).

Kuru iç hacimlerde genelde önemli bir korozyon tehlikesi yoktur. Ancak nefes alma sonucu oluşan CO_2 'in bulunduğu klimatize edilmiş iç hacimlerde (tiyatro, konferans salonları gibi toplantı mekanlarında) karbonatlaşma hızının artması beklenebilir. Buna hava neminin artması etkeni de eklenecek olursa (kapalı yüzme havuzları veya ıslak çalışma tesisleri) korozyon tehlikesi önemli ölçüde artar.

Beton örtü tabakasının kalınlığı, yapının tasarlanan kullanılma süreci içinde karbonatlaşma sivrilikleri donatıya erişemeyecek şekilde saptanmalıdır. Korozyona uğramış bir donatı çubuğunun onarımı sırasında donatı çubuğu çevresi, beton içinde serbest kalacak şekilde kırılmalı ve çevresinde pasif tabaka oluşturulmalıdır.

3.2.3. Çatlakların korozyona etkisi

Genelde üst yüzeye yakın bölgelerde oluşan ve donatıya ender olarak erişebilen rötire, hidratasyon ve patlatma çatlakları beton örtü tabakasının direncinin azalmasına neden olur. Direncin yeterli derecede büyük olması durumunda ise donatı korozyonunun oluşması bakımından bu çatlaklar çok önemli değildir. Ancak eğilme, kayma ve torsiyon çatlakları beton içindeki donatıya erişebilmektedir. Betonarme yapılarda malzemenin özelliğine bağlı olarak oluşurlar ve kaçınılmazdırlar. Genelde eğilme çatlakları eğilme çekme donatısına dik olarak ve etriye köşelerinin altında oluşurlar. Bunlar eğilme çekme donatısı için enine çatlaklar, etriye köşeleri altı için boylamasına çatlaklar, kayma ve torsiyon çatlakları ile birlikte üst yüzeye yakın donatı için eğik çatlaklardır. Genelde tüm kurallara uygun yapılmış taşıyıcı betonarme elemanlarda, kullanma yükleri altında en fazla ortalama 0.3 mm.- 0.5 mm. genişliğine ulaşırlar.

Çatlağın kuru olması veya su içermesi durumlarına göre, ayrılmış olan çatlakların oluşturabileceği korozyon tehlikesine dikkat edilmelidir. Donatının korozyonu sonucunda ise korozyon patlatma çatlakları oluşur. Hacmi korozyonun tipine göre çeliğin 2-4 katı daha büyük olan pas dokusunun basıncı sonucu oluşur ve beton örtü tabakasının patlamasına neden olur.

3.2.3.1. Çatlak içindeki korozyonun işlevleri

Beton çatlak bölgesinde çatlamamış bölgeye göre daha çabuk ve daha derin olarak karbonatlaşır. Betonarme elemanın yapısında bulunan çatlakların genişlikleri, güvenli sınırlar içinde tutulabilir. Dışarıda bulunan elemanlarda beton örtü tabakasının kalınlığına göre 0.5mm.'ye kadar olan çatlak genişlikleri zararsız olarak tanımlanabilir. Karbonatlaşma sivrililiğinin donatı çeliğine erişmemesi durumu, emniyetli bir en az beton örtü tabakası kalınlığı ile sağlanabilir. Öneri olarak geçerli olan beton örtü tabakasının kalınlık değerleri tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4 Öneri olarak geçerli olan beton örtü tabakasının kalınlık değerleri (Specht, 1994, s.58).

Çatlak genişliği w (mm)	En az beton örtü tabakası kalınlığı c (mm) + c ₀ (mm)
0.10	20+10(5)
0.15	25+10(5)
0.20	30+10(5)
0.40	40+10(5)

c₀ değeri uygulama da beton kalitesine göre toleransı belirten bir ek değerdir. Her iki değer toplamı ise donatıyı örten beton tabakasının kalınlık ölçüsünü verir.

Korozyon beton örtü tabakasının geçirim direncine de bağlıdır. Normal sertlikteki bir betonun denge nemi rölatif hava neminin %70-80 değeri ile eşdeğerdir. Bu da elektrolit oluşması için yeterlidir. Böylece açık yerde duran betonarme elemanlar için beton örtü tabakasının kalınlığı ve yoğunluğu önem kazanır. Yan etken olarak da çatlak genişliğinin derinlik ile azaldığı düşünülmelidir. (Specht, 1994, s. 62).

Çatlak genişliğinin 0.5 mm. değeri veya daha küçük olan enine çatlaklarda, seçilen beton örtü tabakasının kalınlığının minimum 2.5 cm. olması durumunda çatlak genişliğinin zararlı etkisi yoktur. Ancak bununla birlikte, çatlak bulunmayan bölgelerde de oluşabilecek zararlı etkilerin bir elektrolitik korozyonu gösterdiği düşünülmemelidir. Taşıyıcı betonarme elemanların uzun ömürlü yapılabilmesi için bu olayın önlenmesi gereklidir. Ayrıca çatlak genişliklerinin artması ile, oluşan zararlı etkide artmaktadır. Sürekli pasifliği yok olan çelik üst yüzeylerinin bulunduğu çatlak bölgelerinin etkisi, çatlak genişliklerinin artması ve beton örtü kalınlığının azalması ile de artış gösterir. Sonuç olarak sabit bir kritik çatlak genişliği yoktur. Beton örtü tabakasının direnci ile ilişkili bir olay vardır. Çatlak bölgesi içinde bulunan donatı pasifliğini yitirmiş ise, beton örtü tabakası ile "kalıcılık" bakımından çok önemli problemler ortaya çıkmayacak derecede zararlı etki önlenir. Ancak küçük korozyon etkileri tam olarak önlenemez.

Klorürler çatlaklar içinde çatlak bulunmayan betona göre donatı çeliği üst yüzeyine çok hızlı bir şekilde erişirler. Donatı çeliğinin üst yüzeyinin klorürle kaplanması nemliliğe bağlıdır. Ayrıca çatlak bulunmayan betonda da olduğu gibi kapiler emmenin de önemli etkisi vardır. Tuz eriyiği en ince çatlaklardan iç kısımlara sızabilir ve klorür miktarı katlanarak artar. Çatlak genişliğinin klorürlerin içe sızması açısından sadece bir geciktirme etkisi vardır. Çatlaktaki klorürler donatı çeliğinin pasif tabakasına zarar vererek başlamış olan korozyonu hızlandırıcı bir etki yaparlar. Çatlakların bulunduğu bölgedeki klorürün zararlı etkisin de beton örtü tabakasının kalınlığının ve yoğunluğunun önemi büyüktür. “Çatlak genişliğinin 0.5 mm.'yi veya klorür yoğunluğunun donatı bölgesinde çimento ağırlığının % 0.5'ini aşmaması durumunda, korozyon oluşumu kabul edilebilecek derecede düşük olur.” (Specht, 1994, s.72).

Klorür yoğunluğu özellikle yüzeye bulaşma şekline bağlıdır ve klorür yoğunluğunun sabit bir üst değeri de yoktur. Çünkü birçok etkenlerden etkilenir. Beton örtü tabakasının yüksek dirence sahip olması durumunda zarar verici klorür yoğunluğu limitine erişilmeyeceği kabul edilebilir. Ayrıca günlük ve mevsimlik sıcaklık farkları nedeniyle oluşan gerilmeler üst yüzeydeki çatlakların genişliklerini

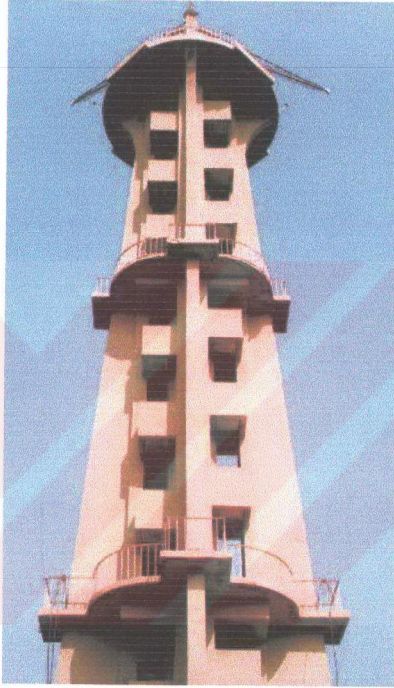
az veya çok etkiler. Dış elemanlarda ölçülen çatlak genişlikleri genelde bir anlık değerlerdir.

Ayrıca beton taşıyıcı elemanlarına dinamik yüklerin etkimesi durumunda, sıcaklık ile çatlak genişliğinin değişimine ek olarak, sürekli şişme olayı etkisiyle çatlakların büyümesi de katılır. Çatlama bölgesinde veya yakınında değişken yükün şiddetine bağlı olarak zamanla donatı çeliği ve beton arasındaki aderans kuvveti, yorulma nedeniyle zayıflayabilir. Bunun sonucunda donatı çeliğinin boyu uzar ve çatlak genişlikleri büyür.

3.3. Betonarme elemanın bozulmasına neden olan karbonatlaşma ve donatı çeliğinin korozyonunun örnek yapılarda incelenmesi.

Aşağıda örnek olarak verilen yapılarda gerekli gözlem ve incelemeler yapılmıştır. Bu yapılarda görülen bozulmaların nedenlerinin büyük ölçüde karbonatlaşma ve atmosferik korozyon etkisi olduğu sanılmaktadır. Betonarme elemanın dayanıklılığını olumsuz bir şekilde etkileyen bozulma çoğunlukla tek bir nedene bağlanamaz. Birkaç etkinin birlikte etkimesi sonucu betonarme elemanların umulmadık kısa bir sürede bozulduğunu görmek olanaklıdır. Oluşan bozulmalar taşıyıcı elemanın dayanıklılığını önemli derecede etkilediği gibi elemanın dayanımını ve dolayısıyla yapının servis ömrünü de büyük ölçüde etkileyebilmektedir. Bu nedenle gözlem ve incelemeler sonucunda belirlenen bozulma etkenleri gerekli deneyler yapılarak tespit edilmelidir. Yapı kullanımında güvenliğin sağlanabilmesi amacıyla kesin olarak teşhis edilen bozulma nedenine göre gerekli önlemler alınmalıdır.

3.3.1. Türk Hava Kurumu Paraşüt Kulesi, Kültürpark,  zmir



**Resim 3.2 Türk Hava Kurumu Para  t Kulesi,
Kültürpark,  zmir. 02.08.1999**

Para  t Kulesi 1936 yılında Rus mühendislerinin yönetiminde Türk işçileri tarafından yapılmıştır.  zmir'in ilk betonarme yapılarındandır.

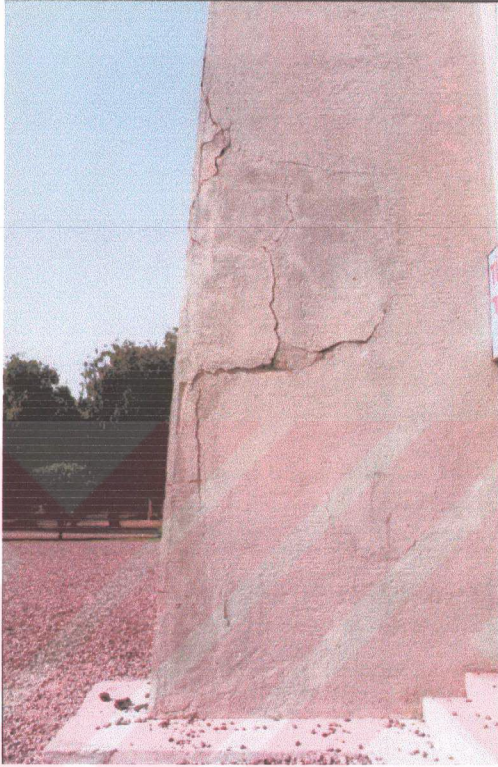


Resim 3.3 Paraşüt Kulesinin balkonlarının döşemelerinde oluşan bozulma.



Resim 3.4 Balkon döşemesinde oluşan bozulmanın yakından görünüşü.

Büyük ölçüde su ve karbonatlaşma etkisiyle oluşan bozulma betonarme elemanın yüzeyinde lekeler, kabarmalar ve dökülmeler şeklinde kendini göstermektedir.



**Resim 3.5 Yapının taşıyıcı elemanının dış yüzeyinde
taraklı mozaiklerde oluşan çatlaklar.**

Yapının taşıyıcı elemanında oluşan bozulma kendini elemanın yüzeyinde çatlaklar şeklinde gösterebilmektedir.

Yapının dış yüzeylerinde taraklı mozaiklerde görülen çatlaklar, taşıyıcı elemanın dayanıklılığını önemli derecede etkilediği gibi donatı çeliğinin korozyonunu hızlandırarak dayanımını da önemli derecede etkilemektedir.



Resim 3.6 Yapının taşıyıcı elemanının dış yüzeyinde taraklı mozaiklerde oluşan çatlakların yakından görünüşü.

Paraşüt Kulesi Mayıs 1999 tarihinde Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalı Başkanlığınca oluşturulan heyet tarafından yapılan gözlem ve inceleme sonucuna göre, yapının dış yüzeylerinde taraklı mozaiklerde görülen çatlakların taşıyıcı sistemde de devam ettiği ve birçok yerde donatı çeliğini örten beton tabakanın atması ve/veya çatlaması sonucunda donatıda önemli derecede korozyon oluşumu ve kesit daralmasının görüldüğü belirtilmektedir. Ayrıca bazı bölgelerde uzun süre önce açığa çıkan donatılarda korozyonun hızlı bir şekilde ilerlediği ve hatta bazı yerlerde donatıların yok olup yalnızca izlerinin kaldığı da gözlenmiştir.



Resim 3.7 Betonarme birleşimli taşıyıcı eleman yüzeyinde oluşan çatlaklar ve kabarmalar.

Sıvası kalkmış bölgelerde yapılan gözlem ve incelemeler sonucu beton kalitesinin oldukça düşük ve boşluklu olduğu sanılmaktadır. Bazı bölgelerde iri agrega elle beton bünyesinden sökülebilmektedir.

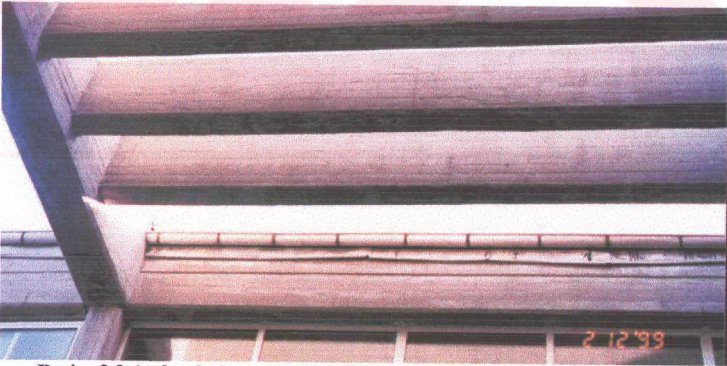
Yapılan gözlem ve incelemeler sonucunda, herhangi bir deney gerçekleştirilmemesine karşın, bozulmaların nedeninin önemli derecede karbonatlaşma olayı ve atmosferik korozyon etkisi olduğu sanılmaktadır. D.E.Ü. İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalı tarafından yapılan gözlem ve incelemelerde de aynı sonuca varıldığı tespit edilmiştir.

3.3.2. Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği Binası, Bornova, İzmir



**Resim 3.8 Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği binası,
Bornova-İzmir. 02.12.1999.**

Ege Üniversitesi Tekstil Mühendisliği binasında açıkta bulunan kirişlerin alt alın yüzlerinde çatlaklar, betonda kabarmalar, dökülmeler ve donatı çeliğinin korozyonu görülmektedir.



Resim 3.9 Açıkta bulunan kirişlerin alt alın yüzlerinde oluşan bozulma.



Resim 3.10 Açıkta bulunan kirişlerin alt alın yüzlerinde oluşan bozulmanın yakından görünüşü

Açıkta bulunan betonarme birleşimli kirişlerin özellikle alt alın yüzlerinde çatlaklar ve beton malzemede kabarmalar, dökülmeler görülmektedir. Özellikle beton örtü tabakasını atması ve/veya çatlaması sonucunda donatı çeliğinde önemli derecede korozyon oluşumu vardır.

Yapılan gözlem ve incelemeler sonucunda, bozulma nedeninin büyük ölçüde karbonatlaşma olayı ve atmosferik korozyon etkisi olduğu sanılmaktadır.

3.3.3. Beton Direkler, Alsancak, İzmir



Resim 3.11 Beton direklerde karbonatlaşma etkisiyle oluşan bozulma, Alsancak-İzmir. 10.08.1999.

Bozulma kendisini çatlaklar, beton malzemede kabarmalar ve dökülmelerle göstermiştir. Beton örtü tabakasının çatlaması ve/veya dökülmesi sonucu donatı çeliğinde önemli derecede korozyon oluşumu görülmektedir. Yapılan gözlem ve incelemeler sonucunda bozulmanın nedeninin, karbonatlaşma ve atmosferik korozyon olduğu sanılmaktadır.

Buraya kadar anlatılanlardan çıkarılacak en önemli sonuç yoğun, geçirimsiz ve yeterli kalınlıkta yapılacak donatıyı örten beton tabakanın karbonatlaşma reaksiyonuna büyük ölçüde engel olacağı, böylece betonarme elemanların servis ömürlerinin istenen düzeye ulaşacağı, buna karşılık boşluklu, geçirimli ve yeterli kalınlıkta yapılmayan beton örtü tabakasına sahip betonarme elemanların servis ömürlerinin beklenenden çok daha kısa olacağıdır. Uygulamada, şartnamelerin öngördüğü minimum beton örtü tabakası kalınlığının emniyetli yönde kalmak için bir miktar artırılarak kullanılması tavsiye edilir.

Ayrıca karbonatlaşma toplam boşluk oranını değiştirmemekle beraber kılcal boşlukların mikroporozite bölgesinde de etkili olmaktadır. Bu bölgenin beton dayanıklılığı üzerinde önemli etkisi vardır. Geçirimsizliğin sağlanması dayanıklılıkta birinci etkindir. Karbonatlaşmanın sağladığı geçirimsizlik agrega-harç ara bölgesinde de etkindir. Ancak bu yararlı etkilerin oluşmasının çimento dozajına ve tipine, su/çimento oranına, ortamın ve betonun su içeriğine ve daha birçok etkene bağlı olduğu unutulmamalıdır.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

4.1. Alınacak önlemler

Bu bölümde betonarme elemanın bozulmasına neden olarak dayanıklılığını etkileyen etkenlere karşı alınması gereken önlemler açıklanmaktadır. Bu önlemler özellikle betonarme birleşimin hazırlanması aşamasında dikkat edilmesi gereken konuları kapsamaktadır.

Alkali birleşimi sayesinde beton, donatı çelğini korozyona karşı koruyucu özelliği gösterir. Betonarme yapı elemanı yeterli miktarda su, tuzlar (elektrolit) ve oksijenin etkisi altında olsa da, bir başka deyişle yüzey yıprandırıcı korozyon için bütün şartlar bulunsa da, boşluk suyunun pH değerinin 12-13 arasında olması ile oluşan yüksek değerli bir alkali eriyiği donatı çeliğinin sürekli korunmasında etkili olmaktadır. Donatı çeliğinin korunmasında etkili olan bu reaksiyonu bir yapının ömrü kadar uzatmak da mümkündür. Katkı maddelerinden yüksek fırın cürufu, uçucu kül gibi maddeler alkali yedeğini düşürücü etki yaparlar. Ancak betonun üretiminde karışıma katılan katkı maddelerinin korozyondan koruma etkilerinin uzun süreli gözlemler yapılarak saptanması gereklidir.

Betonarme elemanın dayanımını ve dayanıklılığını olumsuz bir şekilde etkileyen özellikle karbonatlaşma ve donatı çeliği korozyonu problemini çözmeye yardımcı olabilecek önlemler aşağıda verilmiştir:

- Ortam şartlarına göre, zararlı bölgesel etkinin konstrüktif önlemlerle mümkün olduğu kadar azaltılması denenmelidir.

- Beton malzemenin zararlı etkenlere karşı direnci beton teknolojisi ve santiyede uygulama aşamasında alınacak önlemlerle artırılmalıdır.
- Deneyim ile tahmin edilebilen zararlı etkinin derecesine bağlı olarak yeterli kalınlıkta beton örtü tabakası seçilerek, planlanan kullanma süreci içinde çatlamamış bölgedeki karbonatlaşma cephesinin donatıya erişememesi sağlanmalıdır.
- Çatlakların üst yüzeyde mümkün olduğu kadar küçük olması için gerekli önlemler alınmalıdır. Özellikle çatlak genişlikleri dış yapı elemanlarında 0.5 mm.'den, su ileten ayrılma çatlaklarında 0.2 mm.'den daha büyük olmamalıdır.
- Pasif tabakasını kaybetmiş olan çatlaktaki çeliğin korozyon nedeni ile aşınması önemsiz sınırlarda kalabilmesi için betonarme elemanın üst yüzeyi, içe sızan oksijene karşı direnç gösterebilecek özellikte olmalıdır.
- Klorür yoğunlaşması önlenmelidir. Özellikle çatlaklardaki klorür yoğunlaşması etkisi ile oluşan hasarlar genelde klor yoğunluğu çimento miktarının % 0.5'ini aştığı zaman beklenir. Ancak sabit bir sınır değeri yoktur.

Beton ve donatı çeliği arasındaki aderans betonarme elemanın dayanım ve dayanıklılığını önemli derecede etkiler. Donatı çeliğinin korozyonu beton malzeme ile bağını kesmesi yönünden aderansı azalttığı gibi hacminin artmasıyla beton içinde çatlaklara da neden olabilir. Tez kapsamında yapılan irdelemeler sonucunda aderans dayanımı yüksek, zararlı kimyasal etkilere karşı dayanıklı betonarme elemanların üretimi ve donatı çeliğinin korozyonunun erken olarak meydana gelmemesi için gerekli önlemlerin alınmasında bazı öneriler aşağıda verilmiştir.

Aderans ile ilgili öneriler:

- Yüksek düzeyde tekrarlanan tersinir yüklerin olduğu durumlarda (şiddetli deprem gibi), kenetlenme ve bindirmeli ek boyu artırılmalıdır.
- Bindirmeli eklerin mümkün olduğunca şaşırtılarak yapılmasına özen gösterilmelidir.

- Bindirmeli ek veya kenetlenme boyunca bulundurulacak sargı donatısı yeterli olabileceği miktardan daha az kullanılmamalıdır.
- Plastik mafsallın oluşması mümkün olan yerlerde kenetlenmeye özellikle dikkat edilmelidir.
- Aderansı etkileyen önemli etkenlerden biri olan donatının kenetlenmesi T.S.E. 500'de belirtilen kurallara uygun olmalıdır.

Betonun, zararlı kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı, özellikle betonun yaşına, geçirimsizliğine, su/çimento oranına ve yapıda kullanılan çimento cinsine bağlıdır. Yeni dökülmüş, prizini tamamlamamış veya çok genç betonlar etkilere karşı çok duyarlı olduklarından zararlı kimyasal etkilere dayanıklılıkları yeterli düzeye ulaşmaya kadar direkt etkilere korunmalı ve bu konuda yapısal önlemler alınmalıdır. Yine istenilen dayanıklılığın sağlanabilmesi için, geçirimsizlik ve su/çimento oranı sınırlanmalı ve uygun bir çimento seçilmelidir. (T.S.E. 3440, 1982, s.14-15).

Zararlı kimyasal etkiler altında kalacak betonarme elemanlar bazı kurallara uyularak projelendirilmeli ve üretilmelidir. Bunlar;

- Taze dökülmüş, prizini yeni tamamlamış betonlar, zararlı kimyasal etkiler karşısında daha çok zarar gördüklerinden, bu etkilere uzak tutulmalıdırlar.
- Beton dökümü olabildiğince kesintisiz sürmeli, ara verilmeden tamamlanmalıdır. İş veya konstrüksiyon derzi zorunluğunda bu derzlerin geçirimsizliği sağlanmalıdır.
- Betonarme yapı elemanlarında keskin kenar ve köşelerden kaçınılmalıdır.
- Beton malzemelerin seçimine, üretimine, bakımına özen gösterilmelidir.
- Taze betonun priz hızını değiştiren (azaltan veya artıran) katkı maddeleri kullanılmamalıdır.
- Beton yapımında kullanılacak agregalar temiz, sert ve yüksek dayanımlı kayalardan oluşmuş, T.S.E. 706'da belirtilen uygun granülometride olmalı, özellikle kalker kökenli bulunmamalıdır.

- Beton karışımı hazırlanırken geçirimliliği azaltıcı ve işlenebilme özelliğini artırıcı katkıları kullanılmalıdır.
- Beton üretiminde T.S.E. 1247 ve T.S.E. 1248 de belirtilen kurallara uyulmalıdır.
- Betonun olabildiğince vibratör ile sıkıştırılması tercih edilmelidir.
- Donatı çeliğinin örten beton tabakanın kalınlığına (pas payına) özellikle dikkat edilmelidir. Standartlarda belirtilen minimum beton örtü tabakası kalınlık değerlerinin altına inilmemelidir.

Beton malzeme içinde bulunan donatı çeliğinde korozyonun erken olarak meydana gelmemesi için aşağıdaki önlemlerin alınması gereklidir:

- Kesintisiz bir alkali akımının (kalsiyumhidroksit) sağlanması için yapılan deneylere ve tecrübelerle göre belirlenen en düşük çimento dozajı değerinin altında çimento kullanılmamalıdır. Bu değer en az 300 kg/m³ olmalıdır.
- Mümkün olan en düşük su - çimento değeri sağlanmalıdır.
- Beton örtü tabakasının yeterli kalınlıkta olması gerekmektedir. Şartnamelerde belirtilmiş olan değerler genelde en küçük değerlerdir ve uygun, normal beton karışımları için geçerlidir.
- Betonun rahat işlenebilmesi için kıvamının akışkan olması tercih edilir. Ancak istenilen kıvam su/çimento değerinin artırılması ile sağlanır. Bu durumda beton örtü tabakasının kalınlığı artırılmalıdır. Bunların sağlanmaması durumunda ise beton üst yüzeyi özel olarak işlenmelidir.
- Betonun yüksek hidrasyon derecesine varması sağlanmalıdır. Etkin bir işlem ile örneğin birkaç gün nemli tutma, özellikle 1 - 2 gün kalıpta kaldıktan sonra en az 3 gün nemli tutulması sağlanmalıdır.
- Betonarme elemanların, dayanıklı bir kalıp ve uygun seçilmiş vibratör bölgelerinde iyi bir sıkışma sağlanmalıdır.

4.1.1. Malzeme seçimi

- **ÇİMENTO:** Genel olarak T.S.E. 19 standardına uygun çimento kullanılmalıdır. Gerek yapının, gerekse yapı çevresindeki durumun gereği olarak başka tip çimento kullanılması gerekirse, deneylerle özelliklerindeki uyarlık ve yeterlik araştırılmalıdır. Çimento kullanılacağı yere T.S.E. 19'da öngörüldüğü şekilde getirilmeli ve özelliklerinden hiçbir şey kaybetmeyecek şekilde korunmalıdır. (T.S.E.500, 1984, s.8).

Zararlı etkililiğin zayıf veya kuvvetli olduğu hallerde yüksek fırın cüruf çimentosu (T.S.E. 20) veya uçucu küllü çimento (T.S.E. 640) cinsleri tercih edilmelidir. C_3A oranı %8'i geçmeyen portland çimentoları da kullanılabilir. Zararlı etkililik derecesinin çok kuvvetli olduğu hallerde sülfatlı cüruf çimentosu kullanılmalıdır. (T.S.E. 3440, 1982, s.16).

Ayrıca sülfatlı ortamlarda trikalsiyum aluminat (C_3A) miktarı düşük sülfata dayanıklılık çimento kullanımı yanında puzolan katkıların da kimyasal dayanıklılığı artırdığı bilinmektedir.

“Traslı uçucu küllü veya cürufllu çimentolu betonlarda karbonatlaşma hızı yüksektir.” (Akman, 1997, s.406).

- **AGREGA:** Betonda kullanılacak agrega, yapının kullanım şekli ve yapı çevresindeki durum da dikkate alınarak T.S.E. 706 standardına uygun olmalıdır. Agrega granülometresinin beton kalitesi üzerindeki önemli etkisinden ötürü, kullanılacak malzeme ile önceden yapılacak deneylerle amaca en uygun granülometrenin bulunması gerekir. Betonda kullanılacak agreganın en büyük tane çapı, kalıp genişliğinin 1/5'inden, döşeme derinliğinin 1/3'ünden ve iki donatı çubuğu arasındaki uzaklığın 3/4'ünden büyük olmamalıdır. (T.S.E. 500, 1984, s.8-9).

Agrega, suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir. Agregada, kullanma yeri ve amacına göre, granülometrik bileşim, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, dona dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından bu standardın gereklerini yerine getirmelidir. (T.S.E. 706, 1980, s.2).

“Donatılı betonda kullanılacak agregalarda, donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye sokan, örneğin Nitratlar, Halojenürler (florürler hariç) gibi tuzlar zararlı miktarda bulunmamalıdır.” (T.S.E. 706, 1980, s.8).

“Agregada, alkali-agrega reaktivitesi gösteren zararlı minerallerin kuşku var olduğunda, T.S.E. 2517’de belirtilen alkali-agrega reaktivitesinin kimyasal yolla tayini yöntemi uygulanabilir.” (T.S.E. 706, 1980, s.9-10).

Agregaların numune alma T.S.E. 707 ve deneylerinin T.S.E. 3524, T.S.E. 3525, T.S.E. 3526, T.S.E. 3527, T.S.E. 3528, T.S.E. 3530 standartlarına uygun olarak yapılması ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

- *SU: Beton karma suyunun en iyisi içilecek su olmakla beraber, daha önce kullanılarak denenmiş ve iyi sonuç vermiş bütün sular kullanılabilir. Daha önce betonarme yapılarda denenmemiş olan sular, pH değeri, içinde bulunan sülfat ve diğer tuzlarla, başka yabancı maddeler bakımından analizden geçirilmelidir. Karma suyu asit reaksiyonu göstermemeli ($pH \geq 7$), suda agresif karbonik asit, mangan birleşikleri, amonyum tuzları, serbest klor, yağlar, madeni, organik maddeler ve endüstri artıkları bulunmamalıdır. Litresinde en çok çözülmüş halde 15g ve yüzer olarak 2g madde tuz, yine litresinde en çok 2g SO_3 bulunabilir.*

Yukarıdaki koşullara uyularak, deniz suyu da beton karma suyu olarak kullanılabilir. Yalnız deniz suyu ile yapılan betonların bir süre sonra lekелendiği görüldüğünden yapının dış görünüşü ile ilgili bu konunun önemlilik derecesi önceden düşünülmelidir. Ayrıca beton dayanımında bir miktar düşme

beklenebileceğinden bu husus basınç deneyleriyle de kontrol edilmelidir. Alüminli çimento ile yapılan betonlarda tuzlu su kullanılmamalıdır. (T.S.E. 500, 1984, s.9).

- DONATI ÇELİĞİ: Betonarme çeliği olarak kullanılacak çelikler T.S.E. 708 standardına uygun olmalıdır.

- BETON KİMYASAL KATKI MADDELERİ: Beton kimyasal katkı maddeleri T.S.E. 3452 VE T.S.E. 3456 standartlarında belirtilen kurallara uygun olmalıdır. Katkı maddesi kullanılmadan önce mutlaka deneysel kontrolü yapılmalıdır. Yapılan deney sonucunda katkı maddesinin olumlu etkisi tespit edilmeden hiçbir katkı maddesi kullanılmamalıdır.

Betonu oluşturan malzemelerin; su, çimento, agrega ve varsa katkı maddelerinin seçiminde içeriğinde zararlı kimyasal madde bulunmamasına dikkat etmek gerekmektedir. Agrega uygun tane dağılımı ve fiziksel özelliklere sahip olmalı ve organik madde, kil ve silt gibi aşırı ince maddeler, kil toprakları ve kömür gibi kolayca kırılabilen yumuşak ve hafif maddeler içermemelidir. *Silt, mika, humus, kömür ve tahta gibi organik maddeler, kimyasal tuzlar, kil toprakları, agrega etrafını saran tüm yabancı unsurlar zararlı maddeler olarak adlandırılırlar. Agrega içerisinde bu maddelerin fazla miktarda bulunması, bunlarla üretilen betonun mukavemetinin azalmasına bazen çimentonun priz yapmamasına dahi neden olabilir.* (Postacioğlu, 1986, s.187). Beton yapımında özenle seçilmiş malzemelerin karışım oranlarının tesbiti, karıştırılması, taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve bakım işlemlerinin yukarıda anılan standartlara uygun olarak yapılması betonarme elemanın dayanıklılık ömrünü önemli derecede artırır ve çimentonun da verimli kullanılmasını sağlar. Bu bakımdan hazır beton kullanımını özendirici tedbirler alınmalıdır.

4.1.2. Çimento miktarı

Çimento dozajının yükseltilmesi dayanıklılığı arttıran bir etken olmaktadır. Normal bir çimentonun içerdiği alkali miktarı, gözenek suyunu doyurmak için

yeterlidir. Ancak betonun dayanıklılık özelliği, karbonatlaşmanın derinliğine işleme hızını belirleyen en önemli etkidir. DIN 1045 çimento cinsine bağlı olmaksızın en az çimento dozajı olarak betonda 300 kg/m³ değerini belirlemiştir. Ayrıca yüksek fırın çimentosu, çok az öğütülmüş portland çimentosu klinkeri (% 15) içermesine karşın, içerdiği öğütülmüş yüksek fırın kumunun geçirimsiz bir doku oluşturması nedeniyle karbonatlaşma hızını kısmen yavaşlatır. Genelde yüksek fırın çimentosu ile üretilen betonların karbonatlaşması, portland çimentosu ile üretilen betona göre daha çabuk ve daha derin olarak oluşur.

4.1.3. Betonun geçirimliliği ve su/çimento oranının sınırlanması

“Geçirimsizlik betonun kimyasal etkilere karşı dayanıklılığının artması bakımından çok önemli bir özelliktir. Zararlı bir ortam içinde bulunan bir betonun ayrışma yapmaması için geçirimsiz olması gerekir.” (Baradan, 1998, s.150).

Geçirimsizliği etkileyen birçok etken vardır. Bunlardan en önemlileri çimento dozajı ve su/çimento oranıdır.

Çimentonun hidrasyonu sırasında karışıma katılan suyun bir kısmı kimyasal olarak bağlanıp sertleşen malzemenin içinde kalır. Hidrasyonunu tam olarak yapmış olan portland çimentosu ağırlık, yaklaşık olarak % 25 su içerir. Su/çimento değerinin artması durumunda ise ortalama jöle boşluklarının yaklaşık bin misli büyük olan su dolu veya boş kapiler boşluklar oluşur. Bu boşluklar zararlı maddelerin beton içine girmesine neden olurlar.

Su/çimento değeri, betonun (katkılı veya katkısız) sınıfı ve karşı karşıya kalacağı dış etkilerin şiddeti ile ilişkilidir. Tablo 4.1’de çeşitli yapı tipi ve dış etkilere göre en büyük su/çimento oranı verilmiştir. Betonun dokusu s/ç değeri ne kadar düşük ise o kadar geçirimsiz olur.

Tablo 4.1 Çeşitli yapı tipi ve dış etkilere göre en büyük su/çimento oranı (Ağırlık esasına göre). (Baradan, 1998, s.119).

Yapı Tipi	Dış Etkiler ¹			Pek az donma etkisinde kalan ılımlı sıcaklıkta, yağmurlu veya kurak bölgelerde		
	Havada	Sıcaklık farklarının çok olduğu veya sık sık donma ve çözülme etkisinde kalan bölgelerde		Havada	Su seviyesinde veya su etkisinde kalan kısımlarda	
		Tatlı suda	Deniz suyunda veya sülfat etkisi altında ²		Tatlı suda	Deniz suyunda veya sülfat etkisi altında ²
Korkuluk, bordür, eşik, çıkıntı, süs gibi ince veya pas payı 2.5 cm'den az olan elemanlarda, betonarme kazıklarda, borularda kullanılacak betonlar, görünür betonlar	0.49	0.44	0.40 (3)	0.53	0.49	0.40 (3)
İstinat duvarı, köprü kenar ve orta ayakları, kirişler gibi orta kalınlıklı elemanlarda ve kolonlarda kullanılacak betonlar	0.53	0.49	0.44 (3)	(4)	0.53	0.44 (3)
Su altında dökülecek betonlar	-	0.44	0.44	-	0.44	0.44
Zemin üzerindeki döşeme betonları, kanal kaplama betonları	0.53	0.50	0.50	(4)	0.50	0.50
Hava etkilerine karşı korunacak, bina içi veya zemin altındaki betonlar	(4)	-	-	(4)	-	-
Uzun yıllar korunmadan donma çözülme etkisi altında kalacak veya arkası toprakla doldurulacak yapılarda kullanılacak betonlar	0.53	-	-	(4)	-	-
1) Sert hava şartlarına açık bütün betonlarda hava sürükleyici katkı maddesi kullanılması uygundur. Beton karışımının işlenebilme özelliğini arttırmak için ılımlı hava şartlarında da hava sürükleyici katkı katılabilir. 2) Toprak veya yer altı suyunun %0.2'den fazla sülfat konsantrasyonu bulunduğu hallerde 3) Sülfatlara dayanıklı çimento kullanıldığı hallerde su/çimento oranı 0.05 kadar artırılabilir. 4) Su/çimento oranı istenilen dayanım ve işlenebilme özelliği esaslarına göre seçilmelidir.						

Çimento hamurunun geçirgenliği hidratasyon olayının gelişimine bağlıdır. Yüksek çimento dozajları ve düşük su/çimento oranı geçirgenliği azaltıcı etki yapar. Çimentonun özellikleri de betonun geçirimsizliğini etkilemektedir. Ayrıca agreganın tipine bağlı olarak da betonun geçirimliliği değişir. Betona sıcak buhar kürü ardından nemli ortam koşullarının sağlanması da geçirimliliği azaltmaktadır.

Betonun nem değeri bağıl hava nemi değerinin %50-60'ı olacak değere ulaşması durumunda korozyon hızı en fazla olmaktadır. Hava oksijeninin beton içine sızması açık kapiler boşluklardan difüzyon yolu ile olur. bu nedenle az boşluklu, düşük su/çimento oranlı, iyi sıkıştırılmış, üst yüzeyi iyi perdahlanmış, çatlaksız beton üretimi çok önemlidir.

Karbonatlaşmanın betonarme elemanına zararlı etkisi yoğun, geçirimsiz beton ile büyük ölçüde engellenebilir. Ayrıca yapılan araştırmalar yüksek dozajlı betonların düşük dozajlı betonlara göre daha az karbonatlaştıklarını göstermektedir.

Donma-çözülme olaylarının betona vereceği zarar azaltmak amacıyla düşük su/çimento oranlarıyla çalışmak çok etkin bir yöntemdir. Bu şekilde hidrasyonunu da tamamlamış beton bünyesinde çok düşük oranda boşluk ve bu boşluklar içinde çok az donabilecek su kalır.

Betonun zararlı kimyasal etkilere dayanıklılığı, zararlı etkili maddelerin betonun içine sızarak girebilme derecelerine bağlı olarak değişir. Bu ise betonun geçirimsizliği ile yakından ilgili olduğundan, zararlı kimyasal etkilere dayanıklılığın sağlanabilmesi için betonun geçirimsizliğinin sınırlandırılması yoluna gidilir. Zararlı kimyasal etkiler karşısında kalacak bir betonda, geçirimsizlik için sınır değerler beklenen etki derecesine göre tablo 4.3'de belirtilmiştir. Beton numunelerinde deneylerde bulunacak ortalama su işleme derinliği tablo 4.2'de belirtilenlerden fazla olmamalıdır. Betonun yukarıda anılan dayanıklılığa erişebilmesi için su/çimento oranlarının da tablo 4.2'de belirtilen değerlerden büyük olmaması sağlanmalıdır. (T.S.E. 3440, 1982, s.15). (Tablo 4.3 için bkz. Bölüm 4.1.4.).

Tablo 4.2 Zararlı etki derecesine göre izin verilebilecek en büyük su/çimento oranı ve su işleme derinliği değerleri (T.S.E. 3440, 1982, s.15).

Beklenen zararlı etkinin derecesi	Su işleme derinliği (max) (cm)	Su/çimento oranı (max)
Zayıf	5	0.60
Kuvvetli	3	0.50
Çok kuvvetli	Betonu koruyucu özel önlemler gereklidir.	

Çok kuvvetli etkinin söz konusu olduğu durumlarda ise bu konuda tecrübeli ve uzman kişilerin durumu incelemeleri sağlanmalı ve alınacak önlemler bu incelemelerin sonuçlarına göre belirlenmelidir. Çok kuvvetli etki derecesi karşısında uzun süre kalacak olan betonlarda, dayanıklılığın sağlanması olanağı bulunmamaktadır. Bu nedenle bu gibi betonlarda, zararlı etkili madde ile betonun doğrudan doğruya temas etmesini önlemek üzere uygun yalıtım ve koruma önlemleri alınmalıdır.

Geçirimsizlik, betonun su ya da diğer akışkanların içerisinden geçişine hangi düzeye kadar izin verdiğinin bir ölçüsüdür. Düşük geçirimsizliğe sahip olan beton donma-çözülme olaylarına, sülfatların zararlı etkisine ve klorür iyonlarının içeriye sızarak korozyona yol açmalarına karşı daha dirençli ve sonuç olarak da daha dayanıklı olur. Yeterli çimento miktarı, su/çimento oranı ve iyi bir agrega granülometrisi kullanılarak yapılan betonun kürü de başarıyla gerçekleştirilirse, geçirimsizliği düşük beton elde etmek mümkündür.

4.1.4. Yeterli beton örtü kalınlığı (pas payı)

Beton örtü tabakası, yapının kullanım süreci içinde karbonatlaşma cephesinin donatıya erişemeyeceği kalınlık ve yoğunlukta olmalıdır. Geçirimsizliği yüksek ve yeterli kalınlıkta beton örtü tabakası korozyon işlevini önemli derecede yavaşlatır. Ancak oksijenin geçmesini kesin olarak önleyemez.

Tablo 4.3 Zararlı etki karşısında bulunan betonarme yapı elemanlarında minimum pas payı değerleri (T.S.E. 3440, 1982, s.16).

Beton sınıfı	Minimum pas payı (cm)	Klorürler söz konusu olduğunda
(160) BS12	4.0	5.0
(225) BS20	3.5	4.5
(300) BS25	3.0	4.0

Donatının korozyondan korunabilmesi bakımından tablo 4.3’de gösterilen minimum pas payı (beton örtü tabakası kalınlığı) değerlerinin altına inilmemelidir.

Dış elemanların örtü tabakasının kalınlığı ve yoğunluğu sayesinde yüksek bir dirence sahip olması için;

- *Çatlak olmayan bölgedeki donatıya, kullanma süreci içinde karbonatlaşma cephesi erişememeli,*
- *Çatlaklar arasındaki katod kısmı reaksiyonunu frenlemek üzere oksijen difüzyonunu önleyecek yeterli dirence sahip olmalıdır.*
- *Çatlak genişliğinin mümkün olduğu kadar küçük kalmasıdır. Bu değer eğilme çatlaklarında ortalama 0.3 mm. (müstakil genişlik en fazla 0.5 mm.) ve su dolu ayrılma çatlaklarında ortalama 0.1 mm. (müstakil genişlik en fazla 0.2 mm.) değerlerini aşmamalıdır. (Specht, 1994, s.67).*

4.1.5. Betonun hazırlanması, taşınması ve yerleştirilmesi

Beton karışım hesabı, istenen kıvam, işlenebilme, dayanım, dayanıklılık, hacim sabitliği ve diğer özelliklere sahip en ekonomik betonu elde edebilmek amacıyla gerekli agrega, çimento, su, hava ve gerektiğinde katkı maddesi miktarlarını tespit edebilmek amacıyla T.S.E. 802 standardına uygun olarak yapılmalıdır.

- **BETON KARIŞIM ELEMANLARININ ÖLÇÜLMESİ:** *İstenen kıvam, işlenebilme özelliği, dayanım ve dayanıklılıkta beton elde edebilmek üzere T.S.E. 802'ye uygun olarak hesaplanarak bulunmuş olan karışım elemanları miktarlarının, beton yapımı ve dökümü süresince değişmez olarak kalması sağlanmalıdır. (T.S.E. 1247, 1984, s.3).*

- **SU MİKTARININ SEÇİLMESİ:** *Beton yapımı için gerekli karma suyu miktarı, doygun agreganın yüzey sel nem suyu ve ilave olarak verilecek suyun toplamıdır. Bu toplam su miktarı çimento miktarı ile büyük ölçüde bağıntılı olmayıp betonun kıvamı, agreganın tane dağılımı, tane şekli, yüzey alanı, çok ince agreganın ve karışıma girecek havanın miktarı ile ilişkili olup taze ve sertleşmiş betonda aranan işlenebilme dayanım ve dayanıklılık özelliklerini sağlayacak en az miktar olarak seçilmelidir. (T.S.E. 802, 1985, s.8).*

- **BETONU OLUŞTURAN ELEMANLARIN KARIŞTIRILMASI:** *Betonu oluşturan elemanların karıştırılması sırasında betonun yapısının, işlenebilme özelliğinin, dayanım ve dayanıklılığının olumsuz yönde etkileneceği uygulamalardan sakınmalıdır. Karıştırma sırasında agrega tane dağılımında, su, çimento varsa katkı maddesi miktarlarında değişme olmamalı, karıştırma donanımı, hesapla bulunmuş olan en büyük tane büyüklüğü ve en düşük kıvamlı betonu karıştırabilecek ve boşaltabilecek güçte ve nitelikte olmalı, karıştırma donanımının kullanılmasında, beton konusunda eğitilmiş ve tecrübe sahibi olmuş personelden yararlanılmalıdır. (T.S.E. 1247, 1984, s.3).*

- **BETONUN TAŞINMASI:** *Beton karışım yerinden döküm yerine ne çeşit taşıma aracı ile taşınırsa taşınısın su/çimento oranı, çökme değeri, hava miktarı gibi özelliklerinde taşıma sırasında değişme olmamalı ve ayrışmamalıdır. Ayrışma, taşıma yolu üzerinde sarsıntı ve/veya darbe oluşturabilecek engebelerin yok edilmesi ile önlenebilir. Karışım yerinin döküm yerine olan uzaklığı taşıma aracının cinsi gözönünde bulundurularak en az ayrışmaya izin verecek kadar olmalıdır. (T.S.E. 1247, 1984, s.5).*

- **BETON DÖKÜMÜ:** *Betonun karıştırılmaya başlanması ile dökülmesi ve sıkışmasının tamamlanması arasında geçen süre olabildiğince kısa olmalı karıştırıcıdan çıkan beton ile kalıba yerleştirilen beton arasında kıvam değişikliği olmamalı, kıvamın homojenliği sürekli olarak sağlanmalı, ayrışmaya neden olunmamalıdır. Deney numuneleri zamanında ve yeteri miktarda alınmalı ve deney zamanına kadar korunmalıdır.*

Beton kalıplara yerleştirilirken kalıp veya kalıp bağlama malzemesine zarar verilmemesine ö.en gösterilmelidir. Beton kalıpların ortasına ve düşey olarak dökülmelidir. Ayrışma olmaması için, serbest düşme yüksekliği 1.5 m'den fazla olmamalıdır, dar ve yüksek kalıplara beton en üstten değil, yandan bırakılan ceplerden yerleştirilmelidir. Beton dökümünde kullanılan araçlar, betonun sürekli olarak sabit kalitede dökülmesine ve niteliklerine uygun ölçüde sıkıştırılmasına imkan sağlayacak şekilde ve kapasitede seçilmelidir. (T.S.E. 1247, 1984, s.6).

• **BETONUN SIKIŞTIRILMASI:** *Sıkıştırma, betonun istenilen dayanımı kazanabilmesi, var ise, donatının arada boşluk kalmayacak şekilde beton ile sarılabilmesini temin için gerekli bir işlemdir. Sıkıştırma vibratörle yapılmalıdır. Zorunlu hallerde şiş ve tokmak da kullanılabilir. (T.S.E. 1247, 1984, s.7).*

Taze betonun iyi sıkıştırılması dayanıklılık açısından önemlidir. Kusurlu tanelerin özellikle iri yassı tanelerin varlığı dayanıklılık açısından iyi değildir. Bu tip tanelerin altında su dolu hava cepleri oluşabilir.

Vibrasyon yönteminde şu konulara dikkat edilmelidir;

- *Vibrasyon frekansı 6000 devir/dakikadan fazla olmamalıdır.*
- *Tüm beton kütlesi eşit şekilde titreşim görmelidir.*
- *Vibratörler düşey doğrultuda kalıbın dibine kadar daldırılmalı ve yavaş yavaş yukarı çekilmelidir.*
- *Yerleşmiş komşu beton kütlesi sarsılmamalıdır.*
- *Vibrasyon işleminin uygulama süresi çok önemlidir. Kısa süreli vibrasyon yeterli sıkıştırmayı sağlayamaz. Uzun süreli vibrasyon ise, taze betonun terleme denilen özelliği nedeniyle sakıncalıdır. Ayrıca süre fazla olursa, betonun üst yüzeyinde önemli miktarda su ve beraberinde sürüklediği çimento toplanır. Bu olayda rötre olayını kolaylaştırır.*
- *Kalıplar sağlam ve aralıksız yapılmalıdır.*
- *Beton karışımının hazırlanmasında kullanılan yoğurma suyu miktarı da vibrasyon yöntemi ile uygulama da terleme olayını hızlandırdığından, su miktarı daha az alınabilir. (Baradan, 1998, s.133-134).*

Betonyerden veya beton santrallerinden alınan taze beton, en az darbe ve sarsıntı etkisinde kalacak ve homojenliğini kaybetmeyecek şekilde, herhangi bir araçla taşıyıp kalıbına yerleştirilmesi gerekir.

Betonun yerleştirilmesi aşamasında çözülüp, dayanımının çok düşmesine şu etkenler neden olur;

- Sarsıntı ve darbeler
- Uzun taşıma mesafeleri

Betonun hazırlanmasında, taşınmasında, yerleştirilmesinde ve bakımında T.S.E. 1247 ve T.S.E. 1248'e uyulmalıdır. Zararlı zemin su ve gazlarının etkisi söz konusu olduğunda T.S.E. 3440 standardında belirtilen kurallara uyulmalıdır.

4.1.6. Bakım (Kür) şartları

Yerleştirilip sıkıştırılan taze betonun su içeriği çimentonun hidrasyonunu tamamlayabilmesi için yeterlidir. Ancak, bu suyun buharlaşarak kaybolması hidrasyonu güçleştirir ve tam olarak gerçekleşmez. Bu nedenle betonun bakımı, su kaybını (kurumayı) önlemek ve zararsız düzeyde tutmak bu suretle hidrasyonun hatasız şekilde tamamlanabilmesini sağlayabilmek için döküm aşamasını izleyen süreçte başlatılmalıdır. (T.S.E. 1247, 1984, s.8). Bu amaçla betona uygulanacak kür yöntemleri T.S.E. 1247 ve T.S.E. 1248 standartlarına uygun olmalıdır.

Betonun geçirimsizliğini etkileyen en önemli etkenlerden biri hazırlanan beton karışımının kalıba döküldükten sonra öngörülen bakım şartlarının uygulama aşamasıdır. Özellikle iyi bir bakım işlemi uygulamasında nemli tutma betonun geçirimsizliğini önemli derecede artırır. Karışımda çimento miktarı ne kadar az ise o kadar iyi bir bakım işlemi uygulanmalıdır. Ancak yüksek fırın çimentolu betonlarda bakım işlemi diğer çimentolu betonlarda yapılan işlem süresine oranla daha uzun tutulmalıdır. En iyi bakım işlemi betonun kalıp içinde çevre, yapım ve sistem koşullarına göre en az yönetmeliklerde öngörülen sürede bekletilmesidir.

4.1.7. Denetim-kontrollük

Beton kalitesinin belirli sürelerde kontrol edilmesi için şantiye şartlarında, hazırlanan betonun taşınıp kalıba yerleştirildiği yerde numune alınması gerekir. Deney sonucunda numunelerin ortalama basınç dayanım değerlerinin, proje dayanımından yüksek olmalıdır. Betonun basınç dayanımı yükseldikçe diğer özellikleri de olumlu yönde artar. Bu nedenle beton üretiminde basınç dayanımının kontrol altında tutulmasının, taşıma özelliğini sağlaması yanında diğer özellikleri bakımından da önemli yeri vardır. (Küçük, 1990, s.22).

“Karışım hesapları T.S.E. 802’ye göre yapılmalı, deneme karışımları hazırlanarak istenilen betonun elde edilebileceği kanıtlanmalıdır. Gerekli karışım bulunduğundan sonra şantiyedeki malzeme ve karışımla elde edilen beton sürekli olarak denetlenmelidir.” (T.S.E. 500, 1984, s.14).

Şantiyede betonun basınç dayanımı nitelik ve sertleşme deneyleri ile kontrol edilmelidir. Basınç dayanımı genellikle 15×30 cm’lik silindirik numuneleri üzerinde yapılan standard deneylerden saptanır. Ancak bu amaçla 20cm×20cm×20cm’lik küp numunelerde kullanılabilir. Bir deney, üç numuneden elde edilen basınç dayanımlarının ortalamasıdır. Nitelik kontrolü için, dökülen her 50 m³’lük betondan veya bir binanın her katından en az bir deneylik numune (3 numune) alınmalıdır. Beton kalitesi BS25’den yüksek betonlar için numune sayısı iki katına çıkarılmalıdır. Nitelik kontrolü için numunelerin alınması, hazırlanması ve bakımı T.S.E. 2940, T.S.E. 3068 ve T.S.E. 3351’e göre yapılmalı, deneylerin yapımında da T.S.E. 3114’e uyulmalıdır. (T.S.E. 500, 1984, s.13).

Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde betonun kabul edilebilmesi için T.S.E. 500’de belirtilen koşulların sağlanması gerekir.

Ayrıca çimento üretiminde olduğu gibi yapılarda da gerekli kalite ve standardı sağlayabilmek için yeterli yetki ve sorumluluğa sahip denetim kuruluşlarının oluşturulması gerekmektedir. Çimento üretiminde uygulanan dikkat ve kontrol,

betonu oluşturan diğer malzemelerin seçiminde ve betonun yapımında da uygulanmalıdır. Bu da malzemelerin özellikleri ve üretim amacı konularında üretici ve tüketicilerinin bilinçlendirilmesi ve yapıların denetiminde bilgi, yetki ve sorumluluğa sahip kontrol sisteminin kurulması ile mümkündür.

Konvansiyonel ve geliştirilmiş konvansiyonel sistemlerle üretilen taşıyıcı sistemi iskelet olan betonarme birleşimli yapılarda görülen tasarım ve uygulama hatalarının tekrarlanmaması için şu önlemler alınabilir:

- *Müteahhitlik karnesi alacak kişi mutlaka inşaatla ilgili teknik eleman olmalıdır. Daha önce müteahhitlik karnesi alanlara ise teknik eleman çalıştırma zorunluluğu getirilmelidir.*
- *Yüksek kaliteli beton ile özel üretim gerektiren şantiyelerde mutlaka makinalı karışım yapılmalıdır. Çünkü beton uygulamalarındaki hatalar giderilmesi olanaksız sonuçlar ortaya çıkarabilir.*
- *Sistemin çözümü, detayların ve malzeme seçiminde gerekli önlemlerin alınması gereklidir. Yatay ve düşeyde bağlantıların eksiksiz yapılması, ayrıca zemindeki farklı oturmalara karşı gereken önlemlerin alınması şarttır.*
- *Mimara düşen görev ise yapısının kullanışlı olması yanında, sağlam ve konforlu olmasını da sağlamaktır. O halde yapının sorumlusu mimar ve mühendisler büyük görevler düşmektedir. Malzeme, işçilik ve uygulama hatalarına yer verilmemesi için mimar kendi çizdiği projeyi yine kendisi uygulatmalıdır. Gerekirse mühendis ile birlikte çalışmalıdır. Bunu sağlayabilmek için malzeme özelliklerini, kullandığı detaylandırma ilkelerini, şantiye organizasyonunu ve de taşıyıcı sistemler konusunda yeterli bilgiye sahip olmasıyla mümkündür. (Koçu, 1994, s.86).*

İşçilik ve bunu gerçekleştiren personelin uygulamadaki bilgi, becerisi de betonun dayanıklılığı üzerinde etkili olmaktadır. Örneğin, donatı üzerindeki beton kaplamanın yeterince kalın olup olmadığının anlaşılabilmesi için, donatının nasıl yerleştirilmiş olduğunu incelemek gerekir. Eğer donatı dikkatsizce yerleştirilmişse, donatıyı olumsuz dış ortam şartlarına karşı koruyabilecek düzeyde bir beton kaplama

bulunmayabilir. Bu durumun tersi de söz konusu olabilir. Örneğin, tecrübeli bir usta, iyi oturmuş bir beton ile boşluklu olarak ve düzensiz bir sıklıkta kalıba dökülmüş betonun farkını daha beton donmadan anlayabilir ve gerekli önlemin alınmasında etkili olabilir. Bu nedenle becerikli ve bilgili bir personelin üretimdeki etkisi çok önemli olmaktadır. Yapı üretiminde personeli eğitmek için harcanacak zaman, çaba ve paranın çok daha fazlasıyla geri döneceği ise unutulmamalıdır. Uygulayıcı personelin bu konularda eğitilmeleri sağlanmalı, kontrol mekanizmalarının yaptırım gücünü daha etkin bir duruma getirebilmek için, ilgili standartların uygulanmasının yapı kullanım süresindeki olumlu etkisi (dayanıklılığı) konusunda mimar, mühendis ve diğer tüm teknik elemanların bilinçlendirilmesi gerekmektedir. .

4.1.8. Diğer önlemler

Betonarme taşıyıcı elemanların dış etkilere karşı korumak amacıyla yapılan yüzey kaplama malzemelerinin kolayca değiştirilerek yenilenebilir Kontrol ve değiştirme imkanı her zaman daha çok istenen önlemlerdir. Ayrıca derzlerin konum ve detaylandırılmasında da suyun derzlerden en hızlı ve en kısa yoldan uzaklaştırılması amacıyla uygulamada özen gösterilmelidir. Konstrüktif detaylandırma da çatlak genişliklerinin değeri en önemli etkenlerdendir. Çatlak genişliğinin 0.5 mm. değerine kadar önemli etkisi yoktur. Betonarme elemanın üst yüzey yapısının emniyetli bir şekilde sağlanabilmesi için geçirimsizlik özelliği olan, dayanıklı bir kaplama malzemesi ile kaplanması da zararlı etkilere karşı engelleyici olumlu bir etkisi vardır. Bu amaçla seçilecek kaplama malzemesi aşağıda belirtilen işlevleri yerine getirebilecek özellikte olmalıdır.

- Dış yüzey malzemesi öncelikle yağış, radyasyon vb. gibi atmosfer koşullarına yeterli dayanıklılıkta olmalıdır.
- Dış yüzey kaplaması buhar geçişine engel olmamalıdır.
- Özellikle baca gazlarının yoğun olduğu sanayi bölgesinde olmak üzere hava kirliliğinin yol açtığı kimyasal etkilere dayanıklı olmalıdır.
- Kolay kirlenmemeli, kirini göstermemelidir, yağışlarla doğal yoldan ya da çeşitli yöntemlerle temizlenebilir olmalıdır.

- Çeşitli mekanik etkilere büyük bozulmalar oluşmamalıdır.
- Uygulaması kolay, gerektiğinde onarılabilir ve ekonomik olmalıdır.
- Estetik isteklere cevap verebilmeli, seçim olanağı veren çeşitli renk ve dokulara sahip cinsleri olmalıdır.
- Ufalanmamalı, dökülmemeli ve renk değişmemelidir.

Donatının korozyonunun önlenmesi, korunması için yeterli pas payı bırakılmasına titizlikle uyulması, açık olan donatı yüzeylerinin temizlenip yeniden beton harç ile sıvanması, modern teknolojinin geliştirdiği cephe kaplama türlerinin veya onarım malzemelerinin ülkemizde kullanılmasının yaygınlaştırılması sağlanmalıdır.

Karbonasyon, karbondioksit karşı düşük geçirgenlikte olan fakat su buharının geçmesine izin veren fleksibl zar örtü ile kaplanması yoluyla önlenabilir. Veya yapılar mermer gibi taş kaplama malzemeleri, sentetik kaplama malzemeleri ya da akrilik esaslı koruyucu boya malzemeleri ile kaplanarak beton yapının korunmasının sağlar. (Küçük&Kıpın,1990, s.60).

Betonun kimyasal etkilere karşı kalıcılığını arttırmak için, yüzeyi bitümlü malzemeler, lastik, bitümlü boyalar, epoksi reçinesi gibi maddelerle kaplamak ta çok olumlu sonuçlar vermektedir. Bu maddelerin koruma etkinliği ise yüzeyin diğer dış mekanik etkilere zarar görüp görmemesine bağlıdır. Yüzeyi çizilen izolasyonun belirli bir süre içinde onarımı gerekmektedir. Taşıyıcı elemanlarda kullanılacak kaplama malzemelerinin elastik özellikte olması tercih edilmelidir. Çatlakların sürekli olarak çalıştığı düşünölmelidir. Çatlak genişliği sıcaklık ve değişen yüklerin etkisi ile devamlı olarak değişir. Ayrıca bu malzemelerin ilgili teknik şartnamelerde belirtilen koşulları sağlaması gerekmektedir. Kaplama malzemesinin ömrü sınırlı olduğundan belirli bir kullanım süresinden sonra yenilenmesi gerekmektedir.

Yukarıda açıklanan koruma önlemleri ve ileri teknik araç-gereçlerinin kullanılması, özellikle ilgili teknik kurallara uyulma şartıyla anılan yapım hatalarının oluşması büyük ölçüde önlenir.

4.2. SONUÇ

Tez kapsamında yapılan irdelemenin sonucunda tablo 4.4'de betonarme elemanın bozulmasına neden olarak dayanıklılığını etkileyen etki türleri ve önlemleri verilmiştir. Tablo 4.4'de görüldüğü gibi betonarme elemanın dayanıklılığını olumsuz olarak etkileyen etkenlere karşı bütün önlemlerin amacı, beton malzemenin oluşumunda, mümkün olan en düşük kapiler boşluk değerine erişilmesi, geçirimsiz olması ve bununla birlikte donatı çeliğinin üzerindeki beton örtü tabakasının yeterli kalınlıkta yapılmasıdır. Betonarme elemanın dayanıklılığını olumsuz olarak etkileyen bozulmanın çoğunlukla tek bir nedene bağlanamayacağı unutulmamalıdır (Bkz. Tablo 4.4). Birkaç etkinin bir arada oluşması sonucu betonarme elemanların bozulduğunu görmek mümkündür. Oluşan bozulmalar taşıyıcı elemanın dayanıklılığını önemli derecede etkilediği gibi elemanın dayanımını ve dolayısıyla yapının kullanım ömrünü de olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Bu nedenle gözlem ve incelemeler sonucunda belirlenen bozulma etkenleri gerekli deneyler yapılarak tespit edilmelidir. Yapı kullanımında güvenliğin sağlanabilmesi amacıyla kesin olarak teşhis edilen bozulma nedenine göre gerekli önlemler alınmalıdır.

Araştırma sürecinde yapılan incelemeler sonucunda belirlenen yapı hatalarının ve bozulmaların standartlara ve yönetmeliklerde belirtilen kurallara uyulmamaktan kaynaklandığı görülmektedir. Bu konu, ülkemizde kısa zamanda aşılması gereken en önemli konulardan biridir. Çünkü, ülkemizde gerek konut gerekse diğer kullanım amaçlı yapılara olan ihtiyaç her gün hızlı bir artış göstermektedir. Ülkemizin deprem kuşağında bulunması, konunun önemini arttırmaktadır. Bütün bunlar göz önüne alındığında, betonarme yapılarda teknik ve teknolojinin gelişiminden yararlanmanın gereğini, uygulamalara standart getirme, denetim ve ilginin artırılmasının önceliğinin hiçbir zaman unutmamamız gerekmektedir. Gecikilen her gün on binlerce metre kare denetimsiz yapı demektir.

Bu çalışmada, yapı üretiminde yapılan hataların betonarme elemanın bozulma hızını arttırıcı etki yaptığı ve oluşan bozulmaların elemanın sadece dayanıklılığını değil dayanımını da olumsuz olarak etkilediği sonucuna varılmıştır. Özellikle deprem

bölgesinde olan ülkemizde betonarme birleşimli yapıların taşıyıcı sisteminde oluşan bozulmaların yapının dayanıklılığını ve güvenliğini ne kadar tehlikeli boyutta etkilediği bu çalışma ile vurgulanmıştır. Bu nedenle dayanıklı, sağlıklı yapı üretimi gerçekleştirilmeli ve gerekli önlemler en kısa zamanda alınmalıdır. Ancak dayanıklı, sağlıklı yapı üretimi ise yapıların konusunda yeterliliği olan bilinçli kişiler tarafından üretilmesi ve etkin bir denetim sisteminin kurulması ile gerçekleştirilebilir. Bu amaçla aşağıda verilenlerin dikkate alınması gereklidir.

- Yapı denetimi, yapının proje aşamasında başlamalı, inşaat aşamasında da teknik denetim olarak devam etmelidir. Ancak sağlıklı yapı üretiminin gerçekleştirilebilmesi için etkin bir denetim sisteminin oluşturulması gereklidir ve sektörün tümünde (yükleniciden teknik elemana, ustabaşından işçiye) yeterlilik aranmalıdır.
- Yapı malzemesi üretim ve kullanımında kalite kontrolü etkinleştirilmeli, gerçekçi önlem ve yaptırımlar ile niteliksiz malzeme kullanımı önlenmelidir.
- Yapı üretiminde hazır beton kullanımının önemi ve gerekliliği belirtilerek daha yaygın kullanımı sağlanmalıdır. Beton karışımının elle hazırlanarak üretimin gerçekleştirilmesinin ise tehlikeli boyutu konusunda bilinçlendirici tedbirler alınmalıdır.
- Beton teknolojisi konusunda uzman kişiler yetiştirilmeli ve teknolojinin gelişimine paralel yeterli donanımına sahip araştırma-geliştirme laboratuvarları kurulmalıdır. Böylece betonarme elemanın bozulma nedeni kısa bir sürede kesin olarak teşhis edilebilecek ve gerekli önlemlerin alınmasında hızlı bir adım atılmış olacaktır.

Tez kapsamında irdelenen bütün bu konulara dikkat edilir ve yukarıda açıklanan önlemler alınırsa, özellikle deprem bölgesinde olan ülkemizde yeterli dayanıklılığa sahip, mantıklı bir zaman süreci içinde “kalıcı” denecek kadar uzun ömürlü olmalarını sağlayacak, en az bakımı gerektirecek betonarme birleşimli iskelet yapılar üretilecektir.

Tablo 4.4 Betonarme elemanın dayanıklılığını olumsuz olarak etkileyen etki türleri ve önlemleri

Dayanıklılığı etkileyen etkenler	Olusan bozulmalar	Bozulma nedenleri	Önlemler	
			İlgili standart ve yönetmelikler	
Tasarım, yapım, bakım ve kullanım aşamasında	Taşıyıcı elemanlarda Kılcal, kesme (yaklaşık 45° eğimli), burulma vb. çatlaklar ve deformasyonlar	- İlgili standartlara uygun olmayan üretim - Yanlış veya düşük dayanımlı malzeme seçimi - Kullanım amacına uygun olmayan tasarım - Hesap kabul hataları - Beton ve donatı çeliği arasında yeterli aderansın sağlanamaması - Üretimde denetim eksikliği - Uygulayıcı personelin bilgi ve beceri bakımından yetersizliği	- Standartlara uygun üretim - Kullanım amacına uygun tasarım ve detaylandırma - Deprem vb. diğer yüklere ve etkilere karşı yeterli hesap kabullerinin yapılması - Yeterli aderansın sağlanması - Üretimde organizasyonun ve yeterli denetimin sağlanması	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik T.S.E. 500-T.S.E. 706 T.S.E. 708 – T.S.E. 802 T.S.E. 1247 –T.S.E. 1248
F i z i k S e L	Taşıyıcı elemanlarda Kılcal, kesme (yaklaşık 45° eğimli), burulma vb. çatlaklar ve deformasyonlar	- İlgili standartlara uygun olmayan üretim - Yanlış veya düşük dayanımlı malzeme seçimi - Donatı çeliğinin özelliği - Kullanım amacına uygun olmayan tasarım - Hesap kabul hataları - Temel oturmalara, aşırı yüklenmeler - Beton ve donatı çeliği arasında yeterli aderansın sağlanamaması - Beton dayanımı ve aderans dayanımının düşük olması - Üretimde denetim eksikliği - Uygulayıcı personelin bilgi ve beceri bakımından yetersizliği	- Standartlara uygun üretim - Kullanım amacına uygun tasarım ve detaylandırma - Geçirimsiz, su/çimento oranı ve boşluk oranı düşük beton - Don dayanımı yüksek agrega kullanımı - Kaliteli maddelerin kullanımı (hava sıkıtkıleyici) - Yeterli ve doğru kır (bakım) - Üretimde organizasyonun ve yeterli denetimin sağlanması	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik T.S.E. 500-T.S.E. 706 T.S.E. 708 – T.S.E. 802 T.S.E. 1247 - T.S.E. 1248 T.S.E. 3452
	Donatı çeliğinin korozyonu, betonda çatlama, parçalanmalar ve dağılmalar	- İlgili standartlara uygun olmayan üretim - Beton bileşimini oluşturan malzemelerin özellikleri, birleşim oranları (granülometre, yüksek su/çimento oranı vb.) - Geçirimsiz, su/çimento oranı ve boşluk oranı yüksek beton - Yanlış veya yetersiz kır (bakım) - Üretimde denetim eksikliği - Uygulayıcı personelin bilgi ve beceri bakımından yetersizliği	- Standartlara uygun üretim - Kullanım amacına uygun tasarım ve detaylandırma - Geçirimsiz, su/çimento oranı ve boşluk oranı düşük beton - Betonarme elemanın yüzeyinde geçirimsiz koruyucu yalıtımın yapılması - Kimyasal maddelerin uzaklaştırılması - Üretimde organizasyonun ve yeterli denetimin sağlanması	T.S.E. 500 - T.S.E. 706 T.S.E. 708 T.S.E. 802 T.S.E. 1247 - T.S.E. 1248 T.S.E. 3440 T.S.E. 3452
	Betonda kabarma, çatlama ve parçalanma Donatı çeliğinin korozyonu	- İlgili standartlara uygun olmayan üretim - Beton bileşimini oluşturan malzemelerin özellikleri ve birleşim oranları (granülometre, su/çimento oranı vb.) - Geçirimsiz, su/çimento oranı ve boşluk oranı yüksek beton - Yetersiz pas payı tabakası - Gerekti koruyucu yalıtımın yapılması - Üretimde denetim eksikliği - Uygulayıcı personelin bilgi ve beceri bakımından yetersizliği	- Standartlara uygun üretim - Kullanım amacına uygun tasarım ve detaylandırma - Sulfata dayanıklı çimento kullanımı - Geçirimsiz, su/çimento oranı ve boşluk oranı düşük beton - Katkı maddelerinin kullanımı (puzolan) - Betonarme elemanın yüzeyinde koruyucu yalıtımın yapılması - Üretimde organizasyonun ve yeterli denetimin sağlanması	T.S.E. 500 - T.S.E. 706 T.S.E. 708 T.S.E. 802 T.S.E. 1247 - T.S.E. 1248 T.S.E. 3440 T.S.E. 3452
K i m y A S A L	Asit	- Etki köşelerde, sivri noktalarda ve birleşim yerlerinde başlar ve yüzeyde beyazımsı izlerin oluşumu - Çatlama ve donatı çeliğinde korozyon oluşumu - Aderansın zayıflaması - Betonda pullanma, dağılma ve dökülme	- Standartlara uygun üretim - Kullanım amacına uygun tasarım ve detaylandırma - Yüksek dozajlı beton kullanımı - Yeterli vibrasyon - Yeterli ve doğru kır (bakım) - Geçirimsiz, su/çimento oranı ve boşluk oranı düşük beton - Yeterli pas payı - Betonarme elemanın yüzeyinde koruyucu yalıtımın yapılması - Üretimde organizasyonun ve yeterli denetimin sağlanması	T.S.E. 500 - T.S.E. 706 T.S.E. 708 T.S.E. 802 T.S.E. 1247 - T.S.E. 1248 T.S.E. 3440 T.S.E. 3452
	Sülfat	- Çatlaklar - Donatının korozyonu - Aderansın zayıflaması - Betonda kabarma, dağılma ve dökülme	- Standartlara uygun üretim - Kullanım amacına uygun tasarım ve detaylandırma - Yüksek dozajlı beton kullanımı - Yeterli vibrasyon - Yeterli ve doğru kır (bakım) - Geçirimsiz, su/çimento oranı ve boşluk oranı düşük beton - Yeterli pas payı - Betonarme elemanın yüzeyinde koruyucu yalıtımın yapılması - Üretimde organizasyonun ve yeterli denetimin sağlanması	T.S.E. 500 - T.S.E. 706 T.S.E. 708 T.S.E. 802 T.S.E. 1247 - T.S.E. 1248 T.S.E. 3440 T.S.E. 3452
	K a r b o n a t l a r	- Aderansın zayıflaması - Çatlakların oluşu- mu, - Donatı - Çeliğinin genleşme, betonda kabarma ve dökülme	- İlgili standartlara uygun olmayan üretim - Beton bileşimini oluşturan malzemelerin özellikleri ve birleşim oranları (granülometre, yüksek su/çimento oranı vb.) - Geçirimsiz, su/çimento oranı ve boşluk oranı yüksek beton - Yetersiz pas payı tabakası - Yetersiz veya yanlış kır (bakım) - Karbondioksit (CO₂) yoğunluğu - Gerekti koruyucu yalıtımın yapılması - Üretimde denetim eksikliği - Uygulayıcı personelin bilgi ve beceri bakımından yetersizliği	T.S.E. 500 - T.S.E. 706 T.S.E. 708 T.S.E. 802 T.S.E. 1247 - T.S.E. 1248 T.S.E. 3440 T.S.E. 3452
Ç i ç e k l e m e	Yüzeyde beyaz tuz birikimleri	- Boşluk oranı yüksek beton üretimi - Bileşimde bulunan malzemelerdeki tuz miktarı - Yıkamamış deniz kumunun kullanılması	- Standartlara uygun üretim - Beton bileşimini oluşturan malzemelerin tuzdan ve diğer bozucu ekisi olan maddelerden arındırılmış olarak kullanılması - Geçirimsiz, s/ç oranı ve boşluk oranı düşük beton - Üretimde organizasyonun ve yeterli denetimin sağlanması	T.S.E. 500 - T.S.E. 706 T.S.E. 708 T.S.E. 802 T.S.E. 1247 - T.S.E. 1248 T.S.E. 3440 T.S.E. 3452

KAYNAKLAR

Kitaplar

Aitcin, P. C. & Baalbaki, M. (1994). Concrete Admixtures-Key Components of Modern Concrete. Barcelona: Proceedings of the international Workshop on Concrete Technology-New Trends, Industrial Application.

Aka, İ., Keskinel, F. & Arda, T. S. (1976). Betonarmeye Giriş. İstanbul: Birsen Kitabevi Yayınları.

Akman, S. (1977). Denizden Çıkarılan Beton Agregalarının Teknik Sorunları. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.

Arda, T. S. (1968). Betonarmede aderans. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi.

Arda, T. S. (1968). Enine Donatının Aderansa Etkisi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi.

Baldaş, A. & Kantar, F. (1975). Yapı Fiziği. İstanbul: Sermet Matbaası.

Baradan, B. (1984). Yapı Malzemesi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları, No:71.

Baradan, B. (1998). Yapı Malzemesi I. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 226.

Baradan, B. (1998). Yapı Malzemesi II. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 207.

Bayazit, Ö. L. (1975). Beton ve Deneyleri. Ankara: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Yayını.

Bayülke, N. (1995). Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi. İzmir: İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını.

Bayülke, N. (1998). Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı. İzmir: İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No: 27.

Bazoğlu, S. (1984). Geleneksel ve Endüstriyel Konut Yapım Sistemlerinin Kullanım (fayda) – Değer Analizine Göre Karşılaştırması Araştırması. Ankara: Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Teknik Araştırma ve Uygulama Genel Müdürlüğü.

CEB & RILEM International Workshop. (1983). Durability of Concrete Structures Workshop Report. Editor: Rostam, S., Copenhagen: Department of Structural Engineering Technical.

CEB (Comite Euro-International du Beton) Design Guide. (1992). Durable Concrete Structures. Lausanne: Thomas Telford Ltd.

Chudley, R. (1992). Construction Technology Volume 1-2-3-4. London: Longman Scientific & Technical. Longman Group UK Limited.

Çamlıbel, N. (1984). Betonarme Yapılarda Çatlamış Elemanların Davranışı ve Sağlamlaştırma Yöntemleri. İstanbul: Yıldız Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları.

Erdoğan, T. (1995). Betonu Oluşturan Malzemeler “Agregalar.” Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayınları.

Erdoğan, T. (1995). Betonu Oluşturan Malzemeler “Çimentolar.” Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayınları.

Erdoğan, T. Y. (1995). Betonu Oluşturan Malzemeler – ÇİMENTOLAR. İstanbul: Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları.

Eriç, M. (1994). Yapı Fiziği ve Malzemesi. İstanbul: Literatür Yayınları.

Erman, E. & Seren, Ö. (1996). Ankara Toplu Konut İnşaatlarında Gözlenen Proje, İşçilik ve Malzeme Kullanım Hataları. Ankara: T.C. Başbakanlık Toplu Konut İdaresi Başkanlığı, Konut Araştırmaları Dizisi.

Ersoy, U. (1985). Betonarme Taşıma Gücü ve Hesap İlkeleri. İstanbul: Evrim Yayınevi. 3.Basım.

Eser, L. (1977). Geleneksel ve Gelişmiş Geleneksel Yapı I. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.

Everett, A. (1993). Materials. London: Longman Scientific & Technical, Longman Group UK Limited.

Gerçek, C. (1979). Yapıda Taşıyıcı Sistemler (Proje Uygulama). Ankara: Yaprak Kitabevi.

Grün H. (1945). Kimyasal Maddelerin Betona Etkisi. (Çeviren: Serdaroğlu, N.). İstanbul: Tan Matbaası. T.C. Bayındırlık Bakanlığı Yayınları, Seri: 6, Sayı: 9. (Original work published 1939).

Günsoy, O. (1965). Yapı. İstanbul: Arı kitabevi matbaası.

Hurd, M. K. (1989). Formwork for Concrete, ACI Committee 347. Detroit: American Concrete Institute.

Keskinel, F. (1971). Yapı Sistemlerinde Güvenlik Hesabı. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.

Kocataşkın, F. (1959). Beton Teknolojisi. İstanbul: Kutulmuş Matbaası.

Kocataşkın, F. (1959). Betonarme İnşaat. İstanbul: Arı Kitabevi.

Kocataşkın, F. (1968). Yapı Malzemesi Bilimi Deney Metotları. İstanbul: Arı Kitabevi Matbaası.

Kocataşkın, F. (1975). Yapı Malzemesi Bilimi. İstanbul: Birsen Kitabevi Yayınları.

Kocataşkın, F. (1976). Yapı Mühendislerine Malzeme Bilimi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.

Kuyucular, A. (1998). Betonarme Yapılar. Isparta: Tuğra Matbaası.

Macdonald, A. J. (1994). Structure & Architecture. Oxford: Architectural Press.

Neville, A. M. & Brooks. J. J. (1987). Concrete Technology. England: Longman Group Limited.

Özbilen, A. (1967). Türkiye’de Yapının Objektif Kalitesi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.

Özışık, G. (1997). Beton. İstanbul: Teknik Yayınevi.

Özışık, G. (1997). Malzeme. İstanbul: Teknik Yayınevi.

Postacıoğlu, B. & Bursalı, S. (1949). Cimento ve Beton Lügati. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası.

Romanow, V. V. (1969). Corrosion of Metals. (Ch. Nisenbaum. Trans.). Jerusalem: IPST Press. (Original work published 1965).

Sey, Y. & Tapan, M. (1987). Toplu Konut Üretiminde Uygulanan Yapım Sistemlerinin Analizi ve Değerlendirilmesi. TUBİTAK Yapı Araştırma Enstitüsü.

Sey, Y., Orhon, İ., Aral, N., Cansun, O., Özükerem, Ş., Giritli, H., Sözen, Z. & Çırakçı, M. (1987). Çağdaş Yapım Sistemleri. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaat Fakültesi Ofset Yayınları No: 13.

Smith, R. C. (1973). Materials of Construction. The United States of America: McGRAW- HILL Book Company.

Specht, M. (1994). Betonarmenin Kalıcılığı Konusunda Temel Bilgiler. (Çeviren: Kavalalı, M. S.). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 242. (Original work published 1990).

T.C. Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü. (1999). Bina İnşaatı İstatistikleri, Ankara: Devlet İstatistik Enstitüsü Matbaası.

Türkçü, Ç. (1988). Endüstrileşmiş Yapım Konut Sorunu Açısından İrdelenmesi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi MM/MİM-88 EY155.

Türkçü, Ç. (1990). Çağdaş Yapım ve Strüktür Sistemleri I. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi MM/MİM-90 EY-25.

Ünver, M. B. (1970). Yapı Malzemesi Ders Notları. İzmir: Ege Üniversitesi Mühendislik Yayınları.

Tezler

Dolu, M. (1993). Yağış suyunun yapı yüzey kirlenmesinde etkileri ve önlemlerinin araştırılması. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi).

Ekinci, N. (1994). Konut Üretiminde Yapım Sistemi Seçimi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi).

Maltepe, L. (1995). Yapı Üretiminde Kalite ve Kalite Kontrolü. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi).

Sağgöl, S. (1985). Malzeme-Strüktür-Form İlişkisinin Betonarme için İrdelenmesi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi).

Yalçınkaya, A. (1995). Yapı Malzemesi ve Çevre Etkileşimi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi).

Yazıcı, H. (1998). Accelerated Carbonation Test of Concrete. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi).

Bildiriler

Akman, M. S. (1989). Betonda Dayanıklılık Özelliği ve Önemi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi. 1. Ulusal Beton Kongresi.

Akman, M.S. (1997). Betonlarda Karbonatlaşma ve Yeniden Alkalizasyon Süreçleri. Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi. İzmir: İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No: 26.

Baytin, D. & Sezer, G. (1984). Toplu Konutta Bakım-Onarım Açısından Yapım. İzmir: Toplu Konut Üretimi ve Ege Kent Projesi Sempozyumu.

Berköz, S. & Orhon, İ. (1977). Yapı Üretim Sistemlerinin Dizaynında Organizasyonel ve Teknik Boyutlar. İzmir: İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yapı Üretimi Sempozyumu.

Hazır Beton. (1992). Hazır Beton Sempozyumu. İstanbul: Yapı Endüstri Merkezi.

Kahraman, S., Baran, T. & Urkun H. (1997). Yapı Denetimi. Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi. İzmir: İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No: 26.

Kavalalı, S. (1975). Betonarme Yapılarda ve Öngerimli Beton Yapılarda Kullanılan Vasıflı Çelik Türleri. Ankara: İnşaat Sektöründe Vasıflı Çelik Kullanılmasını Teşvik Sempozyumu, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.

TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, "Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar", 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1996.

Türkçü, Ç. (1982). Toplu Konutta Sistem Seçimini Etkileyen Faktörler - Strüktür Seçiminde Deprem Sorunu. Toplu Konut Teknolojisi Semineri.

Ying-yu, L. & Qui-dong, W. (1987). The Mechanism of Carbonation of Mortars and the Dependence of Carbonation on Pore Structure. Concrete Durability, Katharine and Bryant Mather International Conference, Atlant. Editor: Scanlon, M., ACI, SP 98, V.2, pp. 1915-1943.

Dergilerdeki Makaleler

Açık Havadaki Beton Yüzeylerde Yaşanan Sorunlar ve Pratik Çözüm Yolları. (1990). İnşaat & Malzeme Dergisi, 35, 56-57.

Akalın, Ö. (1997). Agregaların Yol Açtığı Kimyasal Reaksiyonlar ve Reaktif Agreganın Kullanımı için Çözümler. Hazır Beton, 22, 43-44.

Alpaslan, Ç. (1997). Depremden Korunma Yöntemleri (IV). İnşaat&Malzeme, 121, 68-70.

Alpaslan, Ç. (1998). Depremden Korunma Yöntemleri (V). İnşaat&Malzeme, 122, 38-42.

Artırma, Ş., Özkul, H. & Akalın, Ö. (1998). Doğal Puzolanların Sodyum Sülfata Dayanıklılığa Etkisi. Hazır Beton, 27, 54-56.

Aydın, K., Uyan, M. & Baş, S. (1998). Betonun Döküm Süresi Sırasında Priz Geciktirici Katkıların Katılma Zamanının Etkileri. Hazır Beton, 20, 57-60.

Bekdik, F. (1986). Betonda Sülfat Korozyonu. İzmir: TMMOB İnşaat Mühendisleri İzmir Şubesi Haber Bülteni, 3, 18-19.

Beton. (1995). İnşaat & Malzeme Dergisi, 86, 56-70.

Betona Yüzeysel Kaplama. (1989). İnşaat & Malzeme Dergisi, 20, 56-57.

Betonarme Yapılarda Üretim Hataları ve Önlemler. (1990). İnşaat & Malzeme Dergisi, 35, 82-88.

Betonun Hava Etkisiyle Değişimi. (1991). İnşaat & Malzeme Dergisi, 47, 58-63.

Betonun Su Kusması (Nedenleri, Sonuçları ve Kontrolü). (1989). İnşaat & Malzeme Dergisi, 20, 58-59.

Callander, I. A. & Gianetti, F. (1998). Kalsiyum Nitrit Korozyon İnhibitörü ve Betonarmede Dayanıklılık. Hazır Beton, 20, 61-65.

Çetin, V. (1991). Malzemelerin Su Etkisinden Korunmalarında Alınması Gereken Önlemler. Türk- İnşa dergisi, 111, 16-18.

Çetin, V. (1992). Çevre Kirliliğinin Yapılar Üzerindeki Etkileri. Türk-İnşa dergisi, 116, 27-28.

Dayanıklı Beton Üretmek Çok Zor Değil. (1990). İnşaat & Malzeme Dergisi, 29, 74-79.

Durmuş, A. (1978). Betonların Bozulması. Türkiye Mühendislik Haberleri, 277, 20-24.

Erbay, Ö. (1997). Beton Dayanımı (Mukavemeti) Konusunda Bir Şantiyede Yaşananlar ve Deney Sonuçları. Türkiye Mühendislik Haberleri, 388, 63-65.

Erdoğan, T. Y. (1998). Portland Çimentolarının Özellikleri ve Türkiye’ deki Portland Çimentoları. Hazır Beton, 29, 56-61.

Eriç, M. (1975). Yapı Malzemeleri Üretim ve Uygulama Hataları. Yapı Dergisi, 12, 41-47.

Ersoy, H. Y. (1989). Cephelelerin Korunması ve Sıva. İnşaat & Malzeme Dergisi, 16, 16-38.

Fazla Suyun Betona Zararı. (1999). İnşaat & Malzeme Dergisi, 140, 66.

Fricks, T. J. (1997). Kat Döşemelerindeki Çatlaklar. Hazır Beton, 18, 104-108.

Kalmış, M. (1997). Alkali Silika Reaksiyonu. Hazır Beton, 22, 48-49.

Koçu, N. (1994). Bazı Karkas Konutlarda Görülen Taşıyıcı Sistem ve Yapım Hataları. Yapı, 157, 84-87.

Küçük, B. & Kaplan, H. (1990). Betonarme Yapılarda, Çevre Etkileri ve Korunma Önlemleri. İnşaat & Malzeme Dergisi, 36, 59-61.

Küçük, B. (1988). Betonarme Yapıların Bozulması. İnşaat & Malzeme Dergisi, 11, 54-56.

Küçük, B. (1990). Betonda Kalite Kontrolü. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni, 31, 22-26.

Külahçı, M. & Yazıcıoğlu, S. (1991). Kum Kirliliğinin Betonun Basınç Dayanımına Etkileri. İnşaat & Malzeme Dergisi, 42, 62-66.

Kültür, Ö. F. (1994). Betonun Korunmasında Polimerlerin Rolü. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Haber Bülteni, 56, 12-14.

Levent, Y. K. (1989). Beton Katkı Maddeleri. İnşaat & Malzeme Dergisi, 17, 42-43.

Onarılmış Betonun Korunması. (1990). İnşaat & Malzeme Dergisi, 27, 72-73.

Özbek, E. (1994). Betonda Kalite Kontrol, Eğitim ve Laboratuvarın Önemi. Hazır Beton, 2, 30-31.

Özberki, H. (1989). Beton Dosyası'89. İnşaat & Malzeme Dergisi, 17, 15-38.

Özgen, K. (1990). Betonarme Yapılarda Taşıyıcı Sistem Hasarları, Onarım ve Güçlendirme. Yapı, 106, 50-54.

Öztekin, E. (1989). Betonda Kalite ve Kontrolü. İnşaat & Malzeme Dergisi, 17, 44-47.

Öztekin, E. (1998). Beton Yapılar. Hazır Beton, 20, 66-71.

Özturan, T. (1990). Beton ve Beton Katkı Maddeleri. İnşaat & Malzeme Dergisi, 28, 24-35.

Papadakis, V. G. & Fardis, M. N. (1992). Effect of Composition, Environmental Factors and Cement-lime Mortar Coating on Concrete Carbonation. Materials and Structures, 25, 293-304.

Polat, Z. (1996). Betonarme Bina Projelendirilmesinde Yapılan Hatalar. Yapı Dünyası, 6, 38-39.

Ramyar, K. (1997). Yapılarda Toplam Kalite. Hazır Beton, 18, 96-98.

Reman, O. (1996). Kargir-Ahşap Malzemede Tahribat, Sorunlar, Koruma ve Onarım Yöntemleri. Dizayn Konstrüksiyon, 134, 76-82.

Reman, O. (1997). Betonarmede Yangın Etkisi ve Demir-Beton Malzemede Karşılaşılan Mukavemet Sorunları. Dizayn Konstrüksiyon, 138, 65-71.

Tandırılı, E. (1997). Betonda Vibrasyon Uygun Olan Nedir ?. Hazır Beton, 20, 45-53.

Taze Betonun Korunması. (1999). İnşaat & Malzeme Dergisi, 141, 76-78.

Tuna, M. E. (1992). Betonarmede Korozyon. İzmir: TMMOB İnşaat Mühendisleri İzmir Şubesi Haber Bülteni, 40, 18-23.

Tuzdan Zarar Gören Betonarme Yapıların Onarımı için bir Yöntem. (1990). İnşaat & Malzeme Dergisi, 35, 95-98.

Winslow, D. & Liu, D. (1990). The Pore Structure of Paste in Concrete. Cement and Concrete Research, 20, 227-235.

Yapı Kimyasalları. (1997). Özel Ek 1, Yapı, 185.

Yapılardaki Beton Çatlaklarının Okunması. (1991). İnşaat & Malzeme Dergisi, 41, 68-71.

Yorulmaz, M. (1989). Beton, Betonarme ve Öngerilmeli Betonun Özellikleri. İnşaat & Malzeme Dergisi, 17, 48-49.

Standartlar

ACI 212, 1R81 (1981). Admixtures for Concrete, American Concrete Institute, Detroit.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. (1998). İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No: 25.

ASTM C 150, Standard Specification for Portland Cement, 1993 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.01. , pp. 123-127.

ASTM C 494-92, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.

DIN 1045, 1978. Alman Betonarme Şartnamesi. Çetmeli, E. (1978). İstanbul: Teknik Kitaplar Yayınları: 3.

T.S.E. 19 – Çimento-Portland Çimentoları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1992.

T.S.E. 500 – Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Ankara, 1984.

T.S.E. 706 – Beton Agregaları, Ankara, 1980.

T.S.E. 707 – Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi, Ankara, 1980.

T.S.E. 708 – Beton Çelik Çubukları, Ankara, 1985.

T.S.E. 802 – Beton Karışım Hesap Esasları, Ankara, 1985.

T.S.E. 1247 – Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşullarında), Ankara, 1984.

T.S.E. 1248 – Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları (Anormal Hava Şartlarında), Ankara, 1984.

T.S.E. 3440 – Zararlı Kimyasal Etkileri Olan Su, Zemin ve Gazların Etkisinde Kalacak Betonlar için Yapım Kuralları, Ankara, 1982.

T.S.E. 3452 – Beton Kimyasal Katkı Maddeleri, Ankara, 1984.

Ansiklopediler

Betonarme (1969). Meydan Larousse-Büyük Lugat ve Ansiklopedi. Cilt 2. İstanbul: Meydan Yayınevi.

Korozyon (1969). Meydan Larousse-Büyük Lugat ve Ansiklopedi. Cilt 7. İstanbul: Meydan Yayınevi.

Sözlükler

TDK Türkçe sözlük. (1988). Ankara: Türk Dil Kurumu.

Hasol, D. (1990). Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü. İstanbul: Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları.

Hasol, D. (1998). Mimarlık ve Yapı Terimleri Sözlüğü. İstanbul: Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları.

Araştırmalar – Seminerler

Arc. 538 Yeni Yapı Malzemeleri ve Uygulamaları dersi araştırma ödevi. (1998). Kimyasal Katkı Maddelerinin Betonda Kullanımı. İzmir: F. Hilal Halıcıoğlu.

Arc. 596 MSc. Seminer dersi semineri. (1998). Betonarme Malzemeli Karkas Yapılarda Çatlakların Genel Özellikleri. İzmir: F. Hilal Halıcıoğlu.