

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HİDROKLORİK ASİT (HCl) VE NİTRİK ASİT'İN (HNO₃) BETON DAYANIMINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Cüneyt LİMAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç.Dr. Mansur SÜMER

Eylül 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HİDROKLORİK ASİT (HCl) VE NİTRİK ASİT' İN (HNO₃)
BETON DAYANIMINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Cüneyt LİMAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

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

Yrd.Doç.Dr.Mansur SÜMER

Jüri Başkanı

Prof. Dr. Kemalettin

YILMAZ

Üye

Yrd.Doç.Dr.Mehmet

SARIBIYIK

Üye

TEŞEKKÜR

Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Malzemesi Bilim Dalı' nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada; Nitrik Asit ve Hidroklorik Asite maruz kalan betonun dayanımına etkisi araştırılmıştır.

Yaptığım alışmalar süresince desteğini benden esirgemeyen ve öğrencisi olmaktan gurur duyduğum danışman hocam Yrd.Dr.Doç. Mansur Sümer'e teőkükür ederim.

Ayrıca benim bu günlere gelebilmemde maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Osman Nuri Liman , annem Melahat Liman, ağabeyim O.Cihan Liman 'a teőkükürü bir borç bilirim.

Cüneyt LİMAN
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
BETONUN TANIMI VE TARİHÇESİ.....	2
2.1. Betonun Tanımı.....	2
2.2. Betonun Tarihçesi.....	2
BÖLÜM 3.	
BETONUN BİLEŞENLERİ	4
3.1. Agregalar.....	5
3.1.1. Agregaların özellikleri.....	5
3.1.1.1. Agregaların fiziksel özellikleri.....	6
3.1.1.2. Agregaların mekanik özellikleri	8
3.1.2. Agregaların sınıflandırılması.....	9
3.1.2.1. Elde edilmiş şekillerine göre agregalar.....	10
3.1.2.2. Birim ağırlıklarına göre agregalar.....	11
3.1.2.3. Tane boyutlarına göre agregalar.....	12
3.1.2.4. Tane şekline göre agregalar.....	12
3.1.2.5. Yüzey dokusuna göre agregalar.....	13

3.1.2.6. Jeolojik orijinlerine göre agregalar.....	13
3.1.2.7. Mineralojik yapısına göre agregalar.....	13
3.1.3. Agregada granülometrisi.....	13
3.1.4. Agregada yüzey şekli ve biçimi.....	16
3.1.5. Agregada bulunabilecek zararlı madde ve taneler.....	17
3.2.	20
Çimentolar.....	
3.2.1. Çimentonun bazı fiziksel özellikleri ve kontrol sistemleri...	22
3.2.2. Çeşitli çimentoları kapsayan değişik türk standartları.....	25
3.3. Beton Karışım Ve Temas Suyu.....	27
3.4. Beton Katkı Maddeleri.....	29
3.4.1. Beton üretiminde sık kullanılan katkıları.....	
3.4.1.1. Akışkanlaştırıcı katkıları.....	31
3.4.1.2. Su geçirimsizlik sağlayıcı katkıları.....	32
3.4.1.3. Su azaltıcı katkıları.....	33
3.4.1.4. Püskürtme beton katkıları.....	34
3.4.1.5. Priz geciktirici katkıları.....	36
3.4.1.6. Priz hızlandırıcı katkıları.....	36
3.4.1.7. Hava sürükleyici katkı maddeleri.....	39
3.4.2. Beton katkı maddeleri kullanılırken alınacak önlemler.....	40
BÖLÜM 4.	
BETONDAN BEKLENİLEN ÖZELLİKLER.....	41
4.1. İşlenebilme.....	41
4.2. Beton Dayanımı.....	43
4.2.1. Beton dayanımını oluşturan unsurlar.....	44
4.2.2. Beton dayanımını etkileyen faktörler.....	47
4.2.3. Beton dayanımını etkileyen doğadaki faktörler.....	51

4.2.4. Beton basınç dayanımı.....	53
4.2.5. Betonun aşınmaya ve çarpmaya karşı mukavemeti.....	61
4.2.6. Permeabilite (Geçirimlilik).....	62
4.3. Durabilite (Dayanıklılık).....	63
4.3.1. Durabiliteye etki eden fiziksel faktörler.....	64
4.3.1.1. Aşınma erozyon ve kaviteasyon.....	65
4.3.1.2. Donma – çözülme etkisi.....	67
4.3.1.3. Karayollarında kar ve buz mücadelesinde Kullanılan tuzun beton asfalt kaplamaya etkisi.....	69
4.3.1.4. Etbalık kurumlarındaki tuzlamanın etkisi.....	74
4.3.1.5. Yüksek sıcaklık ve yangın etkisi.....	77
4.3.1.6. Deniz suyu etkisi.....	78
4.3.2. Durabiliteye etki eden kimyasal faktörler.....	79
4.3.2.1. Asit saldırısı (Asit hücumu).....	82
4.3.2.2. Magnezyum iyonu içeren çözeltilerin kimyasal saldırıları.....	86
4.3.2.3. Sülfat etkisi.....	87
4.3.2.4. Gecikmiş etrenjit oluşumu (DEF-delayed ettringite formation).....	92
4.3.2.5. Alkali etkisi.....	94
4.3.2.6. Karbonatlaşma.....	99
4.3.2.7. Yer altı suyu etkisi.....	101
4.3.2.8. TS EN 206-1 Standardının getirdiği yenilikler.....	108
4.3.2.9. Zararlı kimyasal etkilere karşı Dayanıklı beton yapım kuralları.....	115
4.3.3. Durabiliteye etki eden biyolojik faktörler ve çiçeklenme..	119
4.3.3.1. Biyolojik oluşumlar.....	119
4.3.3.2. Betondaki kalsiyum hidroksitin çözünmesi ve beton yüzeyinde "çiçeklenme" oluşması.....	121
4.3.4. Durabiliteyi etkileyen maddelerin doğada bulunuşları.....	127
4.3.4.1. Deniz suyu.....	127
4.3.4.2. Dağ ve kaynak sular.....	127

4.3.4.3. Bataklık suları.....	127
4.3.4.4. Yeraltı suyu.....	128
4.3.4.5. Nehir suları.....	128
4.3.4.6. Kanalizasyon suları ve endüstri atığı sular.....	128
4.3.4.7. Sülfatlı zeminler.....	128
4.3.4.8. Bataklık çamuru.....	129
4.3.4.9. Endüstri atığı dolgu zeminler.....	129
4.3.4.10. Gazlar.....	129
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMA.....	130
5.1. Hidroklorik Asit.....	130
5.2. Nitrik Asit.....	131
5.3. Deney Anlatımı.....	132
BÖLÜM 6.	
SONUÇLARIN İRDELENMESİ.....	150
BÖLÜM 7.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	152
KAYNAKLAR.....	153
ÖZGEÇMİŞ.....	155

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Beton bileşenleri.....	4
Şekil 4.1. Beton dayanımı ile su/çimento oranı arasındaki ilişki.....	49
Şekil 4.2. Beton basınç dayanımı ile zaman ilişkisi.....	59
Şekil 4.3. Betonda geçirgenliği etkileyen faktörlerin şematik olarak gösterilmesi.....	63
Şekil 4.4. Tuz etkilerine maruz kalmış kolon.....	74
Şekil 4.5. Hayvan derilerinin tuzlanarak üstüne koyulduğu betonarme palet.....	75
Şekil 4.6. Hayvan derilerinin tuzlanarak üstüne koyulduğu betonarme palet yakın görünüm.....	75
Şekil 4.7. Çelik profil kapı kasalarının tuza birebir maruz kalması durumu.....	76
Şekil 4.8. Çelik profil kapı kasalarının tuza birebir maruz kalması durumu yakın görünüm.....	76
Şekil 4.9. Asit etkisiyle betonun bozulması.....	83
Şekil 4.10. ASR jelinin betonun içindeki oluşumu (ACI 221.1R).....	96
Şekil 4.11. ASR den kaynaklanan çatlaklara ait görünüşler.....	97
Şekil 4.12. Agregadaki reaktif silika miktarının alkali-agrega genişmesine etkisi.....	98
Şekil 4.13. Çimentodaki alkali miktarının,alkali- silika alkali genişmesine etkisi.....	98
Şekil 4.14. YASS yüksek bir bölgenin görünümü (Akarçay havzası).....	102
Şekil 4.15. YASS'nin aylara göre değişimi.....	102
Şekil 4.16. Sülfat etkisiyle ağır hasar görmüş beton elemanlar.....	103
Şekil 4.17. Zararlı ortamda bulunan bir betonarme yapının şematik görünümü.....	105

Şekil 4.18. Beton yüzeyindeki yalıtım tabakasının durumu ve etkisi.....	106
Şekil 4.19. Kaplama yöntemiyle betonarme bir yapının korunması.....	107
Şekil 4.20. Kanalizasyon borularında asit etkisi.....	120
Şekil 5.1. Deney beton numune kapları.....	132
Şekil 5.2. Harç için gerekli olan karışımdan bir görünüm.....	134
Şekil 5.3. Kalıplara numune yerleşimi.....	134
Şekil 5.4. Kalıplardaki betonun tesviye işlemi	135
Şekil 5.5. Kalıplardan çıkarılmış beton numuneleri.....	135
Şekil 5.6. Hidroklorik asit (HCl) ve nitrik asit (HNO ₃) bulunan kür Havuzları.....	137
Şekil 5.7. Beton numunesinin basınç deneyine tabi tutulması.....	137
Şekil 5.8. Pzç 32.5 ve 400 dozlu nitrik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri.....	146
Şekil 5.9. Pç 42.5 ve 400 dozlu nitrik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri.....	146
Şekil 5.10. Pzç 32.5 ve 250 dozlu nitrik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri.....	147
Şekil 5.11. Pç 42.5 ve 250 dozlu nitrik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri.....	147
Şekil 5.12. Pzç 32.5 ve 400 dozlu hidroklorik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri.....	148
Şekil 5.13. Pç 42.5 ve 400 dozlu hidroklorik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri.....	148
Şekil 5.14. Pzç 32.5 ve 250 dozlu hidroklorik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri.....	149
Şekil 5.15. Pç 42.5 ve 250 dozlu hidroklorik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri.....	149

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1. N katsayısı değerleri.....	14
Tablo 3.2. Agrega tane boyutlarına göre sınıflandırma.....	15
Tablo 3.3. NaOH eriyiği ile karıştırılan agrega kullanım durumu.....	17
Tablo 3.4. Agregalarda kil ve siltin bulunma limitleri.....	18
Tablo 3.5. Sağlam olmayan agrega elemanları ve oranları.....	19
Tablo 3.6. Yayılma ve Ve-Be' lerin akışkanlaştırıcı katkı ilaveleri ile değişimi.....	31
Tablo 3.7. Beton katkı maddesi katılmış betonların prize başlama ve bitiş süreleri.....	37
Tablo 3.8. Kimyasal katkı maddeleri katılmış betonların karışım suyu....	38
Tablo 3.9. Beton katkı maddesi katılmış betonların basınç dayanımları....	38
Tablo 3.10. Beton katkı maddesi katılmış betonların eğilmede çekme dayanımları.....	39
Tablo 4.1. TS 500'e göre beton kıvam ve özellikleri.....	42
Tablo 4.2. Normal ve ağır beton için basınç dayanımı sınıflar.....	53
Tablo 4.3. Hafif beton için basınç dayanımı sınıfları.....	54
Tablo 4.4. Slamp (çökme) sınıfları.....	58
Tablo 4.5. Vebe sınıfları.....	58
Tablo 4.6. Yayılma sınıfları.....	59
Tablo 4.7. Değişik endüstri kollarında ortaya çıkan ve betonla temas ettiği takdirde zararlı etkilere yol açan asitler.....	83
Tablo 4.8. Değişik asitlerin beton üzerindeki etkisi.....	84
Tablo 4.9. Amerikan beton enstitüsü tarafından tanımlanan sülfat ortamları ve önerilen su/çimento oranları.....	90
Tablo 4.10. Alkali-Silika reaksiyonu yaratabilecek reaktif silika mineralleri ve bunların bulunduğu kayalar.....	95
Tablo 4.11. Etki sınıfları.....	108

Tablo 4.12. Doğal zeminler ve yer altı sularından kaynaklanan kimyasal etkiler için etki sınıflarının sınır değerleri	111
Tablo 4.13. Çeşitli çevresel etki sınıflarında kullanılacak betonlar için, beton karışımı ve özellikleri için önerilen sınır değerler	112
Tablo 4.14. Zararlı etki derecesine göre izin verilebilecek en büyük su /çimento oranı ve su işleme derinliği değerleri.....	116
Tablo 4.15. Zararlı etki karşısında bulunan betonarme yapı elemanlarında minimum pas payı değerleri.....	118
Tablo 4.16. Çiçeklenmeye yol açan tuzlar ve kaynakları.....	123
Tablo 5.1. Deney numuneleri karışım miktarları.....	133
Tablo 5.2. Hidroklorik asitli ortam P.Ç 42.5 ve 28 günlük deney değerleri	138
Tablo 5.3. Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 günlük deney Değerleri.....	138
Tablo 5.4. Hidroklorik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 28 günlük deney Değerleri.....	138
Tablo 5.5. Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 günlük deney Değerleri.....	138
Tablo 5.6. Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 28 günlük deney değerleri.....	139
Tablo 5.7. Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 günlük deney değerleri....	139
Tablo 5.8. Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 28 günlük deney değerleri....	139
Tablo 5.9. Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 günlük deney değerleri....	139
Tablo 5.10. Hidroklorik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 56 günlük deney Değerleri.....	140
Tablo 5.11. Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 56 günlük deney Değerleri.....	140
Tablo 5.12. Hidroklorik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 56 günlük deney Değerleri.....	140
Tablo 5.13. Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 56 günlük deney Değerleri.....	140
Tablo 5.14. Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 56 günlük deney değerleri.....	141
Tablo 5.15. Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 56 günlük deney değerleri...	141
Tablo 5.16. Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 56 günlük deney değerleri.....	141
Tablo 5.17. Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 56 günlük deney değerleri...	141

Tablo 5.18. Hidroklorik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 90 günlük deney	
Değerleri.....	142
Tablo 5.19. Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük deney	
Değerleri.....	142
Tablo 5.20. Hidroklorik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 90 günlük deney	
Değerleri.....	142
Tablo 5.21. Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük deney	
Değerleri.....	142
Tablo 5.22. Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 90 günlük deney	
Değerleri.....	143
Tablo 5.23. Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük deney	
Değerleri.....	143
Tablo 5.24. Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 90 günlük deney değerleri.....	143
Tablo 5.25. Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük deney değerleri...	143
Tablo 5.26. Hidroklorik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 180 günlük deney	
Değerleri.....	144
Tablo 5.27. Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük deney	
Değerleri.....	144
Tablo 5.28. Hidroklorik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 180 günlük deney	
Değerleri.....	144
Tablo 5.29. Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük deney	
Değerleri.....	144
Tablo 5.30. Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 180 günlük deney	
Değerleri.....	145
Tablo 5.31. Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük deney	
Değerleri.....	145
Tablo 5.32. Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 180 günlük deney	
Değerleri.....	145
Tablo 5.33. Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük deney	
Değerleri.....	145

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Beton , Dayanım, Durabilite, Korozyon, Nitrik Asit, Hidroklorik Asit

Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Malzemesi Bilim Dalı' nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada; Günümüzde yaygın olan yapı sektörünün, en çok kullanılan beton malzemesinin, dayanım özelliğinin iyi olması gerektiği gibi dayanıklılık özelliği de bir o kadar önemlidir. Yıllar geçtikçe önlem alınmadığı takdirde betonun zarar görüp işlevini yerine getiremez hale gelmesi önemli bir sorundur.

Bu deneysel çalışmada asitli suda bekletilen betonların, standartlara uygun kür edilen betonlar ile kıyaslanarak dayanımının ne derece etkilendiği incelenmektedir. Bu deney sonuçlarında da durabilitenin beton ve betonarme yapıların dayanıklılığı için ne kadar önemli olduğu bir kere daha ortaya çıkmaktadır.

THE EFFECTS OF HYDROCHLORIC ACID (HCl) AND NITRIC ACID (HNO₃) TO THE STRENGTH OF THE CONCRETE

SUMMARY

Key words; concrete, strenght , durability, nitric acid, hydrochloric acid.

This is a study which was prepared as a treatise of master for science of metarials of the texture of science Enstitute of Sakarya Univercity.

The sector of texture is general in nowadays. The concrete material which is used chiefly must have the strenght property. Also its durability is very important. If we don't take precautions, the concrete will suffer and it will not use in the future. This is a very important problem.

In this emprical study, the concrete was waited in the water with acid and it was compored with the concrete which is up to standard. Finally the important of the durability was appeared.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnsanoğlu varoluşundan bu yana doğa olaylarından, tehlikelerden korunmak ve hayatını sürdürebilmek için güvenli bir barınağa ihtiyaç duymuştur. İlk çağlarda malzemeler doğada bulunduğu şekliyle kullanılmaktaydı. Daha sonraki süreçte malzeme bilimine paralel olarak insanlardaki becerinin de gelişimi ile bir nevi çimento ve ince agrega gibi doğadaki malzemeler işlenip şekillendirilerek kullanılmaya başlanmıştır.

Türkiye’de ve dünyada beton, uzun yıllardan beri en önemli yapı malzemesi olma özelliğini korumuştur. Güncelliğini kaybetmeyen bu yapı malzemesi hemen hemen bütün inşaatlarda kullanılmaktadır. Bunlar arasında yollar, kanal kaplamaları, köprüler, barajlar, açık denizler, gaz tankları ve konutlar sayılabilir. Sebebi şekil verilebilme kolaylığı, fiziksel ve kimyasal dış etkilere dayanıklılığı, ekonomik oluşu ve üretimindeki pratikliğidir. Betonun teknik özelliklerinin gelişmesi ile birlikte betonda dayanım özelliği kadar dayanıklılık, permeabilite, elastiklik gibi niteliklerde aranılır olmuştur. Bu amaçla betonun performansı iyileştirilmekte, döküm ve yerleştirme hızı yükseltilmekte, üretimi endüstrileşmekte ve daha ekonomik hale gelmektedir. Beton ; taze haldeyken kalıbına ayrışmadan ve en az boşluk içerecek şekilde sıkışarak yerleşebilmesi ve sertleştikten sonra da üzerine etki edecek kuvvetler altında kırılmaması, ömrü boyunca karşılaşacağı çeşitli fiziksel ve kimyasal etkilere karşı yeterli bir dayanıklılığa sahip olması, gerek maruz kaldığı dış etkilere; mekanik, fiziksel ve kimyasal etkiler altında, gerekse kendi iç yapısında zaman içerisinde meydana gelecek değişikliklerden dolayı yapacağı şekil değiştirmelerin belirli değerleri aşmaması beklenen özelliklerdir. Bu özelliklerin yerine getirilebilmesi amacıyla yıllardan beri en uygunu elde etme çalışmaları, araştırmaları devam etmektedir. Bu nedenle Nitrik Asit ve Hidroklorik Asit gibi her türlü ortama maruz kalan betonların dayanımının ne derece etkilendiğine bu deneysel çalışma ile fikir sahibi olacağız.

BÖLÜM 2. BETONUN TANIMI VE TARİHÇESİ

2.1. Betonun Tanımı

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidratasyonu sebebiyle katılaşıp, istenilen kalıbın şeklini alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir. Betonu günümüzde önemli bir yapı malzemesi yapan özellikler şöyle sıralanabilir [1].

1. Ekonomik olması,
2. Yüksek basınç dayanımına sahip olması,
3. Çok düşük olan çekme dayanımının tasarım ve uygulamada çelik donatı ile dengelenebilmesi (Betonarme),
4. Dayanıklı olması,
5. Diğer yapı malzemelerine göre daha az enerji ile üretilebilmesi,
6. Şekil verilebilme kolaylığına sahip olması,
7. İstenen her yerde üretilebilir olması

2.2. Betonun Tarihçesi

Betonun ilk bulunuş tarihi kesin olarak bilinmemekle beraber beton teknolojisinin tarihi yaklaşık 1850 yıllarına kadar gitmektedir. İlk betonarme yapının 1852 yılında yapıldığı bilinmektedir. Çimentonun patenti ise 1825 yıllarında alındığı tahmin edilmektedir. İlk beton şartnamesi ABD’de 1904 ve Almanya’da 1906 yılında hazırlanmıştır. Türkiye’de ilk betonarme yapı 1920 yılında inşa edilmiştir. Yapılan araştırmalara göre Avrupa’da 1920-1940 yılları arasında beton şartnamelerinin geliştirildiği görülmüştür. Beton malzeme üzerine en ayrıntılı araştırmalar ve karışım hesapları için esasların geliştirilmesi 1950-1960 yılları arasına rastlamaktadır.

Daha sonraki yıllarda, betonun uzun süredeki davranışı, döküm tekniği, ekipman kalitesinin devamlılığı, kalite kontrol deneyleri, betonda ekonomiyi artırma, daha zor şartlarda beton yapıların inşası, yeni malzemeler, katkı maddeleri, iş programlaması yöntemi ve ekonomisi konularında büyük gelişmeler olmuştur.

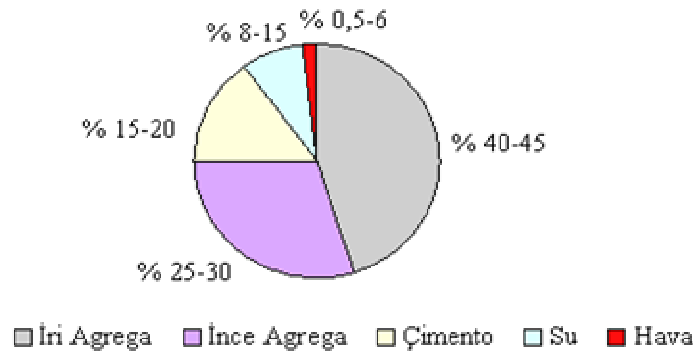
Son yıllarda kimyasal katkı maddesi, lif ve taze betona vakum uygulayarak betonun mekanik ve fiziksel özellikleri oldukça geliştirilmiştir. Bazı katkı maddesi kullanarak cm^2 ye 1500 kgf yük taşıyabilecek beton üretilmekte ve 208 m. yükseklikte binalar inşa edilebilmektedir [2].

BÖLÜM 3. BETONUN BİLEŞENLERİ

Betonu oluşturan hammaddeler çimento, su, ince agrega, iri agrega ve gerektiğinde kimyasal ve/veya mineral katkılarıdır. Bu hammaddelerden çimento+su (gerektiğinde kimyasal ve/veya mineral katkıları) çimento hamuru; ince ve iri agrega ise agrega bileşeni olmak üzere betonun iki bileşenini oluştururlar. Hammaddelerin karıştırılmasından sonra oluşan çimento hamuru, zamanla katılaşır ve agrega tanelerini birbirine yapıştırarak betonun dayanım kazanmasını sağlar. Dolayısıyla bir betonun dayanımı;

- Çimento hamurunun dayanımına,
- Agrega tanelerinin dayanımına,
- Çimento hamurunun agrega tanelerini birbirlerine yapıştırmasının gücüne, yani aderansa bağlıdır.

Betonu oluşturan malzemelerin yaklaşık olarak hacimsel dağılımı aşağıda gösterilmiştir [1].



i

Şekil 3.1. Beton bileşenleri

3.1. Agregalar

Betonun mutlak hacminin yaklaşık % 75'ini oluşturan agregalar, mineral kökenli ve 100 mm'ye kadar çeşitli tane büyüklüklerinde kırılmamış veya kırılmış tanelerin yığındır. Agregalar:

Kaynaklarına göre, doğal ve yapay olmak üzere iki,

Özgül ağırlık veya birim ağırlıklarına göre normal, hafif ve ağır agregalar olmak üzere üç,

Tane büyüklüklerine göre ise ince ve iri agrega olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar.

Doğal agrega, taş ocaklarından, nehirlerden, denizlerden, teraslardan ve göllerden elde edilen kırılmış veya kırılmamış yoğun yapılı agregadır. Yapay agrega ise yüksek fırın cürufu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregalardır. Yoğunluğu 2000 ile 3000 kg/m³ arasında olan agregalar Normal agrega, yoğunluğu 2000 kg/m³'den küçük olanlar hafif agrega, yoğunluğu 3000 kg/m³ den büyük olan agregalarda ağır agrega şeklinde tanımlanır. Tane büyüklüğü 4 mm'den küçük olan agregalar "ince agrega", tane büyüklüğü 4 mm'den büyük olan agregalar ise "iri agrega" olarak tanımlanır.

3.1.1. Agregaların özellikleri

İyi bir beton üretimi için agregalarda bulunması gereken şartlar şunlardır [1].

1. Tane dağılımı (granülometrik bileşim) TS 706'nın gereklerini yerine getirmelidir. Boşluksuz bir beton karışımı elde edilmesine elverişli olmalıdır.
2. Tane şekli kübik olmalıdır. Şekilce kusurlu (yassı ve uzun) taneler içermemelidir.
3. Tane dayanımı, istenen özellikte bir betonun yapımı için yeterli olmalıdır. Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmalıdır. Aşınmaya dayanımlı olmalıdır.
4. Sık sık donma-çözülme etkisinde kalan betonlar için kullanılan agrega, dona dayanıklı olmalıdır.

5. Kil, silt, mil ve toz gibi beton dayanımını ve aderansı olumsuz etkileyen zararlı maddeler içermemelidir.
6. Organik kökenli ve hafif maddeler içermemelidir.
7. Beton ve betonarmenin durabilitesini olumsuz yönde etkilememelidir. Agregalar sertleşmiş betonda zararlı hacim artışına ve bu nedenle tahribata neden olabilen sülfatlar, donatı korozyonuna neden olabilecek bazı tuzlar ve klorür içermemelidir.
8. Betonda alkali silika reaksiyonuna neden olabilecek aktif silisleri içermemelidir.

3.1.1.1. Agreganın fiziksel özellikleri

Agreganın Porozitesi : Agregatanelerinde bir miktar boşluk bulunması doğaldır. Agregatanelerindeki boşluk su emme deneyi yapılarak belirlenir. Buna göre kurutulmuş iri agregatanelerinden W ağırlığında (2-5 kg arasında) malzeme alınarak 24 saat su içinde bırakılır. Bir havlu ile tanelerin yüzeyinden su alınır ve taneler böylelikle kuru yüzey doygun duruma getirilir. Bu tanelerden W_1 ağırlığında malzeme alınarak etüvde kurutulur. Kurutulan malzemenin W_0 ağırlığı bulunur. O halde agreganın ağırlıkça su emme miktarı $(W_1 - W_0) / W_0$ ifadesiyle % cinsinden bulunur. Agreganın porozitesi (P) ise, agreganın gr/cm^3 cinsinden özgül ağırlığı, W_1 ve W_0 gr. cinsinden ağırlıklar olduğuna göre; $P = ((W_1 - W_0) / W_0) * 100$ olarak ifade edilir. İri agregatanelerinin porozitesinin küçük olması ile bu tanelerin mukavemetinin yüksek bir değer alması sağlanır. Mukavemeti yüksek olan taneler kullanılarak üretilen betonların mekanik mukavemeti de artırılabilir [2].

Agrega - Su Bağıntısı: Agreganın emdiği su miktarı tanelerin kökenine, yapısına ve granülometri bileşimine bağlıdır. Agregataneleri arasındaki boşluklarda su dört şekilde bulunur [3].

- a) Tamamen kuru taneler: Agregatanelerinde herhangi bir şekilde hiç su bulunmamaktadır.
- b) Kuru yüzeyli taneler: Tanelerin içindeki boşluğun bir kısmı su ile doludur, fakat tanelerin yüzeyi tamamen doludur.
- c) Kuru yüzeyli doygun taneler: Tanelerin boşluklarının su ile dolması ve yüzeyinin tamamen kuru olması halidir (YKSD).

d) Islak taneler: Agregadaki boşluklar su ile dolu olduğu gibi yüzeyde de su vardır.

Agregadaki su miktarı agreganın birim ağırlığına, hatta özgül ağırlığına da etki eder. Birim ve özgül ağırlık doygun kuru yüzey hal için verilir. Agregada boşlukların fazla olması agreganın donma ve çevre etkilerine karşı dayanıklılığını azaltır. Agregada su emme yüzdesinin limiti kum ve çakıl için % 1'dir. Su emme yüzdesi yüksek olan agreganın betonda kullanılması beton dayanımını ve dayanıklılığını azaltır.

Agregaların birim ağırlığı, özgül ağırlığı ve kompasitesi ;

Birim Ağırlık: Belirli bir hacmi dolduran agreganın ağırlığına birim ağırlık denir. Agregayı kuru halde iken gevşek olarak bir kaba boşaltarak bulunan birim ağırlığa “gevşek birim ağırlık” ve yine kuru iken belli sayıda çubuk darbesi ile sıkıştırılarak bulunan birim ağırlığa ise “sıkışık birim ağırlık” denir. Birim ağırlıktan agregada içindeki boşluk miktarı hesaplanabildiği gibi, özel amaçlar için agreganın uygun olup olmadığı da değerlendirilebilir. Ayrıca agreganın granülometri bileşimi ve kusurlu malzemenin varlığı hakkında fikir vermektedir. Birim ağırlığa etki eden faktörler ;

1. Agreganın granülometrisine bağlı olarak boşluk miktarı değişmektedir. Boşluk miktarının az olması birim ağırlığı artırır.
2. Kusurlu malzemenin fazla miktarda olması boşluğu arttırdığından birim ağırlığı düşürecektir.
3. Agregada V hacmine sahip bir kalıba yerleştirilirken sarsıntıya maruz bırakılırsa ve çubukla şişlenirse kabı az boşluk bırakarak doldurur. Bu da birim ağırlığın büyük bir değer almasıdır.
4. Agreganın özgül ağırlığının fazla olması agregada ağırlığının büyük olduğunu gösterir. Dolayısıyla birim ağırlık artar. Birim ağırlığı yüksek bir betonun dayanımı, dayanıklılığı ve taşıma gücü fazladır. Beton agregalarının birim ağırlığı 1300 – 1850 kg/m³ arasında değişir. Agreganın sıkışma oranı ne kadar yüksek olursa basınç dayanımı ve dış etkilere dayanımı da o kadar yüksek olur.

Özgül Ağırlık : Belli hacim ve sıcaklıktaki bir malzemenin, havadaki ağırlığının aynı hacim ve sıcaklıktaki damıtık suyun havadaki ağırlığına oranıdır. Bu özellik agregada

kökeni hakkında bilgi verir ve beton bileşenlerinin hesabında kullanılır. Betonda kullanılacak agreganın özgül ağırlığının $2,2 - 2,7 \text{ kg/dm}^3$ arasında olması istenir. Özgül ağırlık, agreganın uygunluğunu belirtir. Düşük özgül ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli betona uygun agregayı tanımlar. Özgül ağırlık beton karışım hesabında, bu hesapların düzeltilmesinde ve beton homojenliğinin zorunluluğu durumlarında gereklidir. Düşük özgül ağırlık agreganın boşluklu ve zayıf olmasına bir işarettir.

Agreganın Kompasitesi : Agreganın kompositesi ile birim hacimdeki agregada tanelerin işgal ettiği hacmin toplamı anlaşılmaktadır. Agreganın özgül ve birim ağırlıkları bilinmek suretiyle kompasitesi hesaplanabilir. Agreganın birim ağırlığı her zaman için özgül ağırlıktan küçüktür. Dolayısıyla kompasite birden küçüktür. V toplam hacim, V_d dolu hacim olmak üzere, birim ağırlık, $\Delta = W/V$ ve özgül ağırlık $\delta = W/V_d$ olduğuna göre komposite $k = \Delta/\delta$ den V_d/V özgül ve birim ağırlık cinsinden hesaplanabilir. (Δ) birim ağırlık ve (δ) özgül ağırlıktır. Agreganın sıkıştırma işlemine tabi tutulmadan yerleştirilmesi sonucunda kompasite $0,40 - 0,70$ arasında değer alır [2].

Agreganın kompasitesinin küçük olması şu zararları meydana getirir ;

1. Üretilen betonun kompasitesi ve mukavemeti düşük olur.
2. Kullanılan çimento miktarı artar.
3. Betonun maliyeti yükselir.
4. Kusurlu malzeme miktarı artar. Bu da işlenebilme özelliğine etki yaparak mukavemetin düşmesine neden olur.
5. Dış etkilere karşı dayanıklılık azalır.

3.1.1.2. Agreganın mekanik özellikleri

Agregalarda aranılan en önemli özelliklerinden biri mekanik mukavemetleri içerisinde özellikle basınç mukavemetinin yüksek olmasıdır. Agreganın basınç mukavemeti : Basınç mukavemetinin malzemenin porozitesi ile yakın ilişkisi vardır. Porozitenin küçük olması agrega mukavemetini artırır. Agreganın jeolojik bakımdan

durumu bize mekanik mukavemeti ile ilgili kuvvetli fikirler verir. Betonda kullanılacak agreganın basınç dayanımlarının en az 600 kgf/cm^2 olması istenir. Agreganın aşınmaya mukavemeti : Yol ve hava meydanlarındaki beton çarpma ve aşınma etkisi altındadır. Betonun bu etkilere dayanabilmesi için yapımında kullanılan iri agreganın aşınmaya ve çarpmaya karşı büyük mukavemete sahip olması gerekir. Basınç dayanımının 1000 kgf/cm^2 den az olması halinde, kuşku durumlarda veya yapay agregalarda aşınmaya dayanıklılık deneyleri sonuçlarına bakılır. Bilyalı Tanburla (Los angles aşınma cihazı) yapılan aşınmaya dayanıklılık tayini deneyinde 100 devir sonunda %50'den az, darbe ile aşınmaya dayanıklılık tayini deneyinde aşınmaya maruz beton yapımında kullanılacak agregalar için %30'dan, diğer agregalar için ağırlıkça %45'en az kayıp bulunmuş ise, agrega yeterli olarak kabul edilebilir. Deneyler sonunda saptanan kayıpların bu değerlerden büyük olması halinde söz konusu agrega ile beton yeterlik deneyi yapılmalıdır. Camsı agregalar, şistler, marnlı kireçtaşları, iri kristalli taşlar aşınmaya mukavemet gösteremezler. Özgül ağırlığı fazla ve sert olan taşların (bazalt) ise aşınmaya mukavemetleri yüksektir. Aşınmaya karşı mukavemetleri yüksek olan agregaların basınç mukavemetleri de yüksek olur.

Agreganın çarpmaya dayanıklılığı: Betonun çarpmaya dayanıklı olmasında, kullanılan agreganın önemli etkisi vardır. Bu nedenle kullanılmadan önce kontrol edilmelidir. Basınç deneyinden pek farklı olmayan çarpma deneyinde agrega çelik bir silindir içine yerleştirilir ve belirli bir mesafeden belirli bir ağırlık belirli sayıda düşürülmek suretiyle malzeme çarpma etkisi altında tutulur. Elekten elenmek suretiyle çarpma etkisi altında agreganın dayanıklılığı hakkında fikir edinilebilir [2].

3.1.2. Agregaların sınıflandırılması

Betonun ana iskeletini oluşturan agrega beton hacmi içinde yaklaşık olarak % 60 – 80 yer işgal eder. Betonda kullanılacak agregaların bazı önemli özelliklere sahip olması zorunludur. Agregaya suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasına tehlikeye düşürülmemelidir. Agregaya kullanma şekli ve amacına göre, granülometrisi, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, donmaya

dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından standartlarda öngörülen limitler içerisinde olmalıdır. O halde bu özellikleri sağlaması açısından agrega çeşitlerini tanımada fayda vardır. Agregalar genel olarak, elde edilmiş şekillerine, birim ağırlıklarına, boyutlarına, tane şekline, yüzey dokusuna, kaynaklarına, jeolojik ve mineralojik yapılarına göre sınıflandırılabilir [2].

3.1.2.1. Elde edilmiş şekillerine göre agregalar

Doğal Agregalar; Akarsu yatağı, deniz, buzul ve teras agregaları olarak gruplandırılırlar. Bu agrega grupları içinde en yaygın kullanılan akarsu yatağından elde edilen agregalardır.

a) Dere agregaları : Akarsu yataklarındaki agrega ocakları en çok rastlanan ve en fazla arzu edilen kaynaklardır. Çünkü; Taneler genellikle yuvarlaktır. Aşınma sırasında malzeme içindeki yumuşak ve zayıf taneler elemine edilir. Sürüklenme ile meydana gelen aşınma neticesinde ufalanan tanelerden sadece geriye sert, sağlam ve dayanıklı taneler kalır. Doğal agregalardan en iyi malzemeler derelerden elde edilir. Bunlar temiz, düzgün tanelerden oluşur. Kompozitesi yüksek olduğundan beton dayanımına etkileri fazladır. Bazı akarsu yataklarından çıkarılan malzeme beton agregası olarak o kadar iyi kaliteye sahiptir ki, uygun granülometrik dağılım olarak şartnamelerde istenen derecelenmeyi tam olarak sağlar. Örneğin; Türkiye'nin Karadeniz yöresindeki akarsuların çoğunun yatakları, mansaba doğru yaklaştıkça bu derecelenmeyi verir.

b) Deniz Agregası : Deniz ve göllerden elde edilen agregaların içinde tuz bulunduğu gibi su canlılarının kabukları da bulunmaktadır. Bunlar tekdüze taneli genellikle ince malzemelerdir. Tuzların agrega veya harç içerisinde aşırı miktarda bulunması çatlamaya ve parçalanmaya neden olur. Deniz kenarlarındaki midye, istiridye kabukları bazı durumlarda sorunlar çıkarırlar. Bunlar agreganın yerleşmesini güçleştirir, dona dayanıklılığını düşürür, bazen de düşük dayanımlı taneler oluştururlar. Deniz ve göllerden elde edilen agregalar istenmeyen maddelerden arındırıldıktan sonra beton üretiminde kullanılabilirler. Arındırma işlemi ayrı bir harcama getireceği için ekonomik değildir.

c)Teras Agregası : Yamaç birikintileri dik ve yüksek yamaçlardan kayan ve kopan kaya parçalarının dipte birikmesiyle meydana gelir. Bu tip agregada, derecelenme pek iyi olmaz, agrega şeklen köşeli tane yapısı gösterir. Kırma ve eleme işlemlerinden sonra beton agregası olarak kullanılabilir. Rüzgarların sürüklemesi sonucunda meydana gelmiş birikinti malzemesi çok ince kum tanelerinden oluşmuştur. Normalde rüzgarın şiddetli aşındırma etkisiyle az dayanıklı parçalar ayrılmış olduğundan genellikle kuartz taneciklerinden oluşmaktadır. Betonda tek başına veya tane çapı dağılımında ince malzeme eksikliği gösteren agregaya karıştırılarak kullanılır. Betonda yalnız başına ince agrega olarak kullanıldığında karışımdaki yüzdesine çok dikkat edilmelidir. Miktarın gerekenden az veya çok oluşu, çok kötü neticeler verebilir.

Yapay Agregalar : Yapay agregaların bir diğer adı da sanayi ürünü agregalarıdır. İkinci bir işlem sonucu beton yapımında kullanılır hale getirilebilir. Bunlar yüksek fırın curufu, uçucu kül veya yüksek fırın curuf kumu sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış yoğun yapılı agregalardır. Yapısal, fiziksel ve şekilsel değişiklikler gösterir. Özel amaçlar için ihtiyaç duyulduklarından, kullanılma yerleri sınırlıdır. Genel olarak yapay agregalar gözenekli bir yapıya sahip olduklarından ses ve ısı yalıtımı ile hacimleri bölme amacıyla üretilen betonlarda kullanılır. Bu agregalar arasında kırılmış kiremit veya tuğla, rende talaşı, hızar talaşı vb. sayılabilir. İyi kalite tuğlaların kırıklarıyla yapılan beton yangına karşı dayanıklı olur [2].

3.1.2.2. Birim ağırlıklarına göre agregalar

Hafif Agregalar : Betonun birim ağırlığını azaltmak, betona ses ve ısı yalıtım özelliği kazandırmak için veya atık maddeleri değerlendirmek amacıyla kullanılan agregalardır. Genellikle gözenekli bir yapıya sahiptirler, su emmeleri ve boşluk oranları yüksektir. Basınç, çarpma ve aşınma dayanımı oldukça düşüktür. Birim ağırlıkları 2000 kg/m^3 'den küçük olan agregalardır. Doğadan doğrudan elde edilebildiği gibi dolaylı olarak da elde edilmeleri mümkündür. Bu agregalar sünger taşı (ponza, bims), volkan tüfleri, diatomit, yüksek fırın curufu, hızar talaşı, rende talaşı ve genleştirilmiş kil, perlit, şist vb. isimler altında sıralanmaktadır. Hafif agrega

betonu normal agregâ betonundan daha pahalıya mal olmaktadır. Çünkü karışımın hazırlanmasında daha fazla çimentoya ihtiyaç duyulmaktadır. Betonun dökülmesinde de özel itina gerekmektedir.

Ağır Agregalar :Bunlar ağır beton elde etmek için kullanılır. Birim ağırlıkları 3200 kg/m^3 den büyüktür. Genel olarak nükleer santral ve (Stratejik Askeri) özellik taşıyan inşaatların betonlarında kullanılır. Doğal ağır agregalardan bazıları basit, manyetit, hematit, limonit vb. Yapay ağır agregalara ise çelik ve demir hurdası gösterilebilir. Ağır agregalarla üretilen betonların karıştırılması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması ayrı bir işçilik ister [2].

3.1.2.3. Tane boyutlarına göre agregalar

Boyutlarına göre, ince agregâ (kum), iri agregâ (çakıl) ve Tüvenan (karışık) agregâ olmak üzere üç sınıfa ayırmak mümkündür [2].

İnce agregâ (kum) : İnce agregâ doğal kum, kırma kum (ince mıcır) veya bunların karışımından elde edilen ve 4 mm göz açıklıklı kare gözlü elekten geçen agregâdır. İnce agregâ taneleri sert ve sağlam olmalıdır.

İri agregâ (çakıl) : Doğal çakıl, kırma taş (iri mıcır) veya bunların karışımından elde edilen ve 4 mm göz açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregâdır.

Tüvenan (karışık) agregâ : Doğal agregâ ocağından doğrudan doğruya elde edilen elenmemiş ince ve iri agregâ kullanılması istenmemektedir.

3.1.2.4.Tane şekline göre agregalar

Doğal agregâ ocağından çıkan malzemeler genel olarak, yuvarlak, yassı, uzun ve keskin köşelidirler ve bu şekillerine göre sınıflandırılır. Aynı zamanda kırma agregâda keskin köşeli agregâ grubuna girer.

3.1.2.5. Yüzey dokusuna göre agregalar

Agregaları yüzey dokusuna göre düzgün, granüler, prüzlü, kritalli ve petekli olmak üzere beş grubta sınıflandırabilir.

3.1.2.6. Jeolojik orijinlerine göre agregalar

Agregalar jeolojik orjinlerine göre, volkanik, tortul ve metamorfik şekilde sınıflandırılır.

3.1.2.7. Mineralojik yapısına göre agregalar

Agregalar minerolojik yapılarına göre silis mineralli, karbonat mineralli ve mika mineralli olarak genelleştirilebilir.

3.1.3. Agreganın granülometrisi

Agreganın yığındaki taneler çeşitli boyutlardadır. Granülometrik bileşim, agreganın numunesinde boyutları belirli sınırlar arasında bulunan tanelerin ne miktarda agreganın içinde bulunduğunu ortaya koyar. Bu da agreganın üzerinde granülometri deneyi yapılarak bulunur. Agreganın granülometrisinin üretilen beton üzerinde büyük etkisi vardır. Granülometri betonun kompasitesini, yoğurma suyu miktarını, dayanım ve dayanıklılığını büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle betonda kullanılacak agregaların, özelliği olmayan işlerde kullanılmalarında dahi granülometrik bileşimleri mutlaka belirlenmelidir. Agreganın tane boyutunun ayarlanmasında; çimento kumun boşluklarını, kumda çakılın boşluklarını dolduracak şekilde olmalıdır. Beton mukavemetini dolaylı şekilde etkilerken, işlenebilmeyi doğrudan etkilemektedir. Agreganın granülometrisi ile beton karışım elemanları ve betonun fiziksel özellikleri arasında şu bağıntılar mevcuttur [2].

Granülometri bileşimi ile su miktarı arasındaki bağıntı :Beton üretiminde kullanılan yoğurma suyu miktarı mukavemet üzerine çok büyük etki yapmaktadır. Belli bir değerden sonra su miktarı arttıkça beton mukavemetinde önemli azalmalar görülür.

Betona konulan su öncelikle çimentonun hidratasyonunu sağlar, sonra kum ve çakıl tanelerini ıslatır ve taze betonun kalıba yerleştirilmesini kolaylaştırır. Agrega tanelerini ıslatmak için kullanılan su agreganın granülometrik bileşimine bağlı bulunmaktadır. Agrega tanelerini ıslatmak için kullanılan su miktarını tanelerin boyutu ne olursa olsun aynı kalınlıkta su filmiyle kaplı bulunduğunu kabul edilerek hesaplamak doğru değildir. Taneler irileştikçe daha büyük kuvvetlerin etkisi altında bulunmalarından dolayı daha kalın bir su filmiyle çevrelenmesi gerekir. Tanelerin boyutuna bağlı olarak gerekli su miktarı BOLOMEY tarafından şu eşitlik yardımıyla hesaplanabileceği belirtilmektedir.

$$W = (N \times q) / \sqrt[3]{d_1 \times d_2}$$

Burada;

W → Su miktarı (kg)

q → İki elek arasındaki (d_1 ve d_2) agrega miktarı (kg)

d_1 ve d_2 → Alt ve üst elek boyutları (mm)

N → Kıvama bağlı katsayı

Tablo 3.1. N katsayısı değerleri

İşlenebilme	Kıvam	Çökme (sn)	Ve Be (sn)	Yuvarlak T. (N)	Köşeli T. (N)
Çok zayıf	Çok sıkı	0-2,5	9-18	0,075	0,08-0,09
Zayıf	Sıkı	2,5-5	4-10	0,075-0,085	0,09-0,10
Orta	Plastik	5-10	0-4	0,085-0,095	0,10-0,11
Yüksek	Çok plastik	10-17,5	-	0,095-0,105	0,11-0,12

Not: N için yukarıdaki aralıkta kalmak şartıyla agrega irileştikçe büyük değere yakın, agrega inceldikçe küçük değere yakın değerler seçilmelidir.

Granülometrinin Belirlenmesi : Bir agrega içindeki tanelerin büyüklüklerine göre kısımlara nasıl dağıldığı, her kısımda ne oranda malzeme bulunduğu deneysel olarak belirli miktardaki agrega çeşitli eleklerden elenerek belirlenir. Deneylerin yapılabilmesi için ayırım yapmaya uygun göz açıklığına sahip elek takımları gerekir.

En büyük göz açıklığına sahip elek en üste gelecek şekilde üst üste yerleştirilir. Agreganın en üstteki eleğe dökülerek elendiğinde taneler büyüklüklerine göre çeşitli eleklerle takılır kalır. Elek üstünde kalan agreganın miktarı tartılarak toplam agreganın miktarına oranı hesaplanabilir. Tane boyutlarına göre yapılan bu sınıflandırma ve adlandırma şu şekilde gösterilebilir.

Tablo 3.2. Agreganın tane boyutlarına göre sınıflandırma

Elek Üst ve Alt Boyutları	Malzeme Adı
63 mm – 31,5mm	Balast
31,5 mm – 4 mm	İri agreganın
4 mm – 60 mikron	İnce agreganın
60 mikron – 2 mikron	Silt
2 mikron ve altı	Kil

Normal beton agregaları 60 mikrondan 31,5 mm'ye kadar olan taneleri içerir. Özel kütle betonlarında (baraj, yol vb.) daha büyük çaplı tanelerde kullanılmaktadır. Beton agreganın granülometrisinin düzenlenerek sınırlandırılması şu amaçlara yöneliktir.

- Maksimum kompakte sağlamak. Agreganın düzenlenmesi sonucunda taneler arasındaki boşluklar minimuma indirilerek en yüksek doluluk oranı sağlanmış olur. Böylece çok küçük çaptaki boşlukları daha az çimento hamuru ile doldurmak mümkün olur.
- En az su miktarı ile kalıba iyi yerleştirilebilecek kıvamı sağlamak. Agreganın özgül yüzey alanı küçüldükçe bu yüzeyleri ıslatmak için daha az suya ve bağlamak için daha az çimento hamuruna ihtiyaç duyulacaktır.
- Taze betonda ayrışmayı önlemek ve yapışkanlığı sağlamak. Ayrışmayı önlemek için granülometri ayarlarken, agreganın içerisinde yeteri kadar orta ve ince büyüklükte malzeme kalacak şekilde düzenleme yapılır. Agreganın içinde en küçük tane boyutu çok büyük olursa taneler arası boşlukların boyutu da oldukça büyük olur. Çimento harcı bu boşluklardan geçerek kütlede ayrılır.
- Taze betonun iyi ve kolay yerleşmesini sağlamak

e) Taze betonda terlemenin azalmasını sağlamak. Taze beton kalıba yerleştirilince ağır olan agregata taneleri yavaş yavaş dibe oturur. Oturma sırasında karma suyunun bir kısmı dengeyi sağlamak üzere yüzeye doğru hareket ederek betonun yüzeyinde ince bir su tabakası meydana getirir. Terlemeyi önlemek için granülometri düzenlemesi yapılırken agregata içerisinde yeteri miktarda ince tane kalacak şekilde düzenleme yapılırsa ince taneler yukarı doğru hareket eden bu suyu yüzeylerinde tutarak terlemeyi önlerler. Bu hususlara uyulmadığı takdirde;

İşlenebilmeyi sağlamak için gerekli olan su miktarı artar. Dolayısıyla su/çimento oranı artarak dayanım ve dayanıklılık yönünden zayıf bir beton ortaya çıkar. Maksimum kompasiteyi sağlamak güçleşir ve boşluklu bir beton meydana gelir. Bunun sonucunda ekonomik olarak pahalı bir üretim ortaya çıkar. Ayrışma kolaylaşır ve kohezyonu zayıf bir beton ortaya çıkar. Terleme dediğimiz olay ortaya çıkar ve sonuç olarak zayıf geçirgenliği ve porozitesi yüksek dayanıksız bir beton ortaya çıkar.

3.1.4. Agregata yüzey şekli ve biçimi

Agregata tanelerinin şekli olabildiğince yuvarlak (küresel, kübik) olmalıdır. Doğal agregata oluşumları gereği dış tesirlerin etkisi ile yuvarlaklaşmışlardır. Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'ten büyük olan tanelere şekilce kusurlu taneler denir. Şekilce kusurlu taneler (yassı veya uzun) oranı, 8mm tane büyüklüğündeki agregata içinde ağırlıkça % 50 den fazla olmamalıdır. Kusurlu tanelerin önemli etkisi agregata yığınının boşluklu olması ve bu boşluğun çimento hamuru ile doldurulamamasıdır. Sonuçta taşıyıcı iskeleti sağlam olmayan bir yapı meydana gelir.

Yuvarlak doğal agregatanın yığın olarak yerleşmesi geometrik yapısı gereği daha kolay olup, özgül yüzeyi de (kıırma agregataya göre) daha küçük olduğundan dolayı işlenebilirlik için az su gerektirir. Kıırma agregata köşeli, kenarlı ve yüzeyleri pürüzlüdür. Kıırma agregata konkasörlerin ayarsızlığına bağlı olarak yassı ve çivi türü biçimsiz taneler içerirler. Bunun mahsuru ise betonun yerleşmesi sırasında işlenebilirliğin güçleşmesidir. İşlenebilirliği sağlamak için daha çok su gerekecektir.

Kaliteli beton yapımında kusurlu tanelerin hiç bulunmaması arzu edilir. Dokunun camsı, parlak oluşu agreganın çimento ile aderansını büyük ölçüde etkiler. Agreganın yüzeyinde kapiler su emmenin meydana gelmesi aderansı kuvvetlendirir [2].

3.1.5. Agregada bulunabilecek zararlı madde ve taneler

Agrega içinde bulunabilen zararlı maddelerin bir kısmı bağlayıcı maddenin ayrışmasına veya genişlemesine neden olur. Betonun parçalanmasına yol açar. Bir kısmı da agreganın çimento hamuru arasında kuvvetli bir aderansın oluşmasına engel olur ve beton dayanımı düşer. Şeker vb. maddeler betonun prizini geciktirici etki yapar. Nitrat gibi tuzlar donatının korozyonuna yol açan olumsuz etkiler meydana getirebilir.

Agregalarda Organik Maddelerin Bulunması : Organik maddeler zayıf asit karakterindedirler. Agreganın içerisindeki bitki artıkları ve humus gibi bazı organik maddeler çimentonun hidrasyon reaksiyonuna etki eden organik asitleri içerirler. Bunun yanında agreganın içerisinde sülfat, klorit, karbonat ve fosfat tuzları gibi maddelerde değişik formlarda bulunabilirler. Agregalarda organik madde içeriği basit bir asit-baz reaksiyonu ile denetlenir. Düşük konsantrasyonlu %3'lük NaOH eriyiği ile karıştırılan agreganın, eriyik rengini 24 saat içinde değiştirir. Bir süre sonra eriyiğin aldığı renge göre şu sonuçlar çıkartılır.

Tablo 3.3. NaOH eriyiği ile karıştırılan agreganın kullanım durumu

Eriyik Rengi	Organik Madde	Agreganın Kullanımı
Renksiz veya çok açık sarı	Hiç yok veya çok az var	Kaliteli beton üretiminde kullanılabilir.
Safran sarısı	Az miktarda var	Normal işler için uygun
Belirgin kırmızı	Var	Önemsiz işlerde kullanılabilir
Belirgin kahverengi	Çok var	Kullanılmaz

Organik maddelerin zararlı etkisi; organik maddelerin hidrofob (suyu iten) olması ve çimentoda hidrote kristallerin oluşmasına engel olması ile meydana gelir. Bu etkiler;

- a) Beton dayanımının çok fazla düşmesine neden olur.
- b) Sertleşmesine zarar verir ve mukavemetinde azalmalar olur.
- c) Agregalarda organik maddelerin fazla miktarda olması betonun prizini geçiktirir.
- d) Çiçeklenmeye ve korozyona neden olabilir.

Organik kökenli maddelerin yoğunluğu, mineral kökenli agregatanelerinin yoğunluğundan genellikle daha düşük olur. Yoğunluğu 2.00 kg/dm^3 olan sıvılarda yüzdürülerek bulunan taneli organik madde miktarı ağırlıkça % 0,5 den fazla olmamalıdır. Sonuçlar TS 3528/1980 de öngörülen limitlerle karşılaştırılmalıdır [2].

Agregalarda Kil ve Siltin Bulunması: Yıkabilir maddeler agregada içinde ince halde dağılmış veya topraklar halinde veya agregatanelerine yapışık olarak bulunabilirler. Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unudur. TS 3527'ye göre 63 mikron (200 nolu) elek üstünde yıkama metoduyla yapılan test sonucuna göre maksimum aşağıdaki limitler içinde bulunmalıdır.

Tablo 3.4. Agregalarda kil ve siltin bulunma limitleri

Agrega tane sınıfı (mm)	Ağırlıkça % maksimum
0/1, 0/2, 0/4	4,00
1/2, 1/4, 2/4	3,00
2/8, 4/8	2,00
4/16, 4/32, 8/16	0,50

Bu limitlerin üzerindeki kil ve silt bulunan agregalar kesinlikle kullanılmamalıdır. TS 3527'ye göre 0,05-0,005 mm irilikteki malzeme silt, 0,005 mm'den küçük malzeme de kil olarak adlandırılırlar. Koloidal yapılı kil, silt ve taşı tanelerinin fazla miktarda bulunması betona şu yönlerden zararlıdır; İri agregat ve çimento hamuru arasındaki aderansı zayıflatırlar. Agreganın özgül yüzey miktarını artırır. Bunun sonucunda beton için gerekli karma suyu miktarı artar. (su/çimento oranı büyür.)

Dolayısıyla dayanıklılık ve dayanım yönünden zayıf bir beton elde edilir. Kil ve siltin önemli özelliklerinden biride su tutma (emme) kabiliyetlerinin olmasıdır. Su emme sonucunda hacim genişlemesine neden olur ve büzülmelerin meydana getireceği gerilmeler oluşur. Çimento ile reaksiyona girerek aderansı önler, hidratasyonu ve prizi geciktirir. Bunun yanında kil, mil ve silt oranının az miktarları betonun işlenebilirliğini ve su geçirmezliğini artırırlar. Olumsuz etkileri nedeniyle mümkün olduğu kadar az bulunmaları tercih edilir. Beton agregası içerisinde limitler üzerinde ince agrega varsa, agreganın yıkanarak kullanılması zorunluluğu vardır [2, 3].

Agregalarda Sağlam Olmayan Maddelerin Bulunması;

Kömür, fosil, linyit taneleri ve hayvan kabukları normal agregaya oranla hafif olurlar. Mekanik dayanım yönünden yetersizdirler ve beton içinde bulunmaları istenmez. Kömür varlığı kükürtün varlığına gösterge sayılabilir. Kükürt ise beton için zararlı sülfat etkisine yol açar.

Tablo 3.5. Sağlam olmayan agrega elemanları ve oranları

Yumuşak eleman cinsi	İzin verilen yumuşak eleman yüzdeleri	
	Kumlarda	İri Agregalarda
Kil toprakları	1,0	0,25
Kömür ve linyit	1,0	1,00
Yumuşak taneler	-	5,00
Çakmak taşı	-	2,00

Hafif maddelerin miktarı agrega numunesi yoğunluğu 2.0 kg/dm^3 olan bir sıvıda yüzdürülerek saptanır. Ancak sıvıyı hazırlamak için kullanılan malzeme çok pahalıdır, bu yüzden gözlemlerle saptanır. Agregada aşırı miktarda bulunursa betonun sağlamlığı etkiler. Betonun yüzeyinde veya yüzeye yakın kısımlarda bulunursa betonun yüzeyinde küçük patlamalara ve lekelerin oluşmasına neden olurlar. Mukavemetleri çok düşüktür, su miktarının azalıp çoğalması ile hacimlerinde

büyük değişiklikler olur. Donma çözülme olaylarında kolay parçalanırlar ve çimento için zararlı maddeleri içerirler [2,3].

Sülfatların Varlığı: Sülfatların agregalar içinde bulunması bu maddenin çimento ile sülfato-alüminat denilen genişleyen bir tuzun oluşmasına neden olması bakımından zararlıdır. Zamanla büyüyen kristaller şeklinde gelişen bu olay sonucu beton parçalanabilir. Bu bakımdan sülfat (SO_3) miktarının ağırlıkça %1 den fazla olmamasına dikkat edilmelidir. 1 dm^3 betonda 1,4 gr'dan az olacak şekilde sülfat bulunmasına izin verilebilir. Barit (BaSO_4) rutubetli ortamda yapısını değiştirmedikten, beton agregası olarak kullanılabilir.

3. 2. Çimentolar

Çimentolar, CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve az miktardaki MgO içeren uygun hammaddelerin, sinterleşme sıcaklığına ($\sim 1400 \text{ }^\circ\text{C}$) kadar yakıldıktan ve uygun bir soğutma işleminden sonra elde edilen klinkerlerin alçı ve gereğinde yapay (uçucu kül, Curuf) yada doğal (Trans) puzolan maddelerle beraber belirli inceliğe kadar öğütülmesiyle meydana gelen hidrolik bağlayıcıdır. Çimento aslında alçı katılmamış hali ile klinker, çeşitli minerallerin oluşturduğu kompleks bir bileşiktir. Hammade gibi CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve MgO 'in homojen bir karışımı değildir. Sinterleşme sıcaklığında ($\sim 1400 \text{ }^\circ\text{C}$) bu oksitler arasında kimyasal birleşmeler olur ve çimentonun esasını teşkil eden bileşik maddeler meydana gelir. Soğutma işlemi sırasında ise bu bileşik maddeler soğutma işleminin şekil ve süresine bağlı olarak değişik biçimde kristallenirler. Çimento hammaddesinin seçimi, karışım oranlarının belirlenmesi, farin deney ayarlı ham karışımın inceliği ne kadar önemli ise pişme olayı ve soğutma süreci de o kadar önemlidir. Aynı farin farklı sıcaklıkta ve fırın alevinde pişirilir, farklı soğutmaya tabi tutulursa birbirinden değişik iki klinker elde edilebilir. Betonun en önemli maddesi çimentodur. Bozuk bir betonda ilk akla gelen çimentonun hatalı olduğudur. Ancak çimentonun görüldüğü gibi pek kaçamağı yoktur. Bir kontrolden geçse diğerinde tutulur. Bu nedenle bozuk beton oluşumunda sabit fikir halinde çimento üzerinde ısrar etmemelidir. Agregası, kum, su, oranlar ve katkı maddesi miktarları üzerine de aynı özenle eğilmelidir. Bununla birlikte bozuk çimento olamaz gibi bir iddiada da bulunulmamalıdır [4].

Çimentoyu oluşturan karma oksit bileşenleri genel olarak dört grupta toplanabilir.

1. Fırına verilen farinde önce nispeten düşük ısılarda bileşimindeki tüm Fe_2O_3 bir miktar Al_2O_3 alarak, $C_4AF [(CaO)_4 Al_2O_3 Fe_2O_3]$ Tetra kalsiyum alumino ferriti,
2. Kalan Al_2O_3 ve $C_3A [(CaO)_3 Al_2O_3]$ ile birleşerek Tri kalsiyum aluminatı ,
3. Isı arttıkça : $C_2S [(CaO)_2 SiO_2]$ Dikalsiyum silikati,
4. Yeterli CaO ve ısıda (~1400 C) $C_3S [(CaO)_3 SiO_2]$ Trikalsiyum Slikatı oluşur.

Karma oksitlerin çimentoya kazandırdıkları önemli özellikleri şunlardır.

1. Çimentonun en önemli bileşiği C_3S 'dir. Çimentoyu ilk dayanımını veren ve basınç dayanımı yüksek bir çimento sağlayan C_3S dir.
2. C_2S nin dayanıma katkısı ileriki zamanda kendini gösterecek şekilde ilk günlerde pek yoktur, ancak ötektik oluşturucu bir özelliği vardır.
3. C_3A ve C_4AF 'in de çimentoya olumlu ve olumsuz katkıları vardır. Bu bileşik maddelerin oranlarına, kristal şekillerine ve bu kristaller içerisinde kalan minör elemanlara bağlı olarak çimentonun özellikleri değişir.

Çimentoda adı geçen maddelerin dışında billuri alçı taşı ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) ve serbest halde CaO ile MgO ve alkali oksitler (Na_2O , K_2O , Cl) bulunur. Çimentoyu oluşturan bütün bu maddelerin beton yapısı üzerine olumlu ve olumsuz etkileri vardır.

1. C_3S ve C_2S su ile birleştiğinde hızla sertleşir, dayanım kazanır. C_3S nin hidrasyonu daha çabuktur, oran arttıkça özellikle ilk günlerde dayanım kazandırır. C_3S ve C_2S hidrasyonu sırasında $Ca(OH)_2$ oluşur. Bu çelik, demir iskeletlerin paslanmasını geciktirir. Bu bakımdan yararlı ise de zamanla yıkanarak akar, beton geçirimli hale gelir.
2. C_3A ilk dayanımlarda olumlu rol oynarsa da ancak C_3S ile kıyaslanamaz. C_3A 'nın hidrasyonu sırasında büyük ısı çıkar ve sülfat iyonları ile büyük hacimli ETRENJİT (Candlot tuzu) oluşturur. Bu iki olay betonu olumsuz etkiler. Kütle betonu (baraj vs.) ve agresif sularla temastaki betonlarda (kuyu, rıhtım, iskele, köprü ayağı gibi) genişleme ve çatlaklara neden olur. Bu tür yerlerde kullanılacak betonların

çimentolarında C_3A oranının düşük olması istenir. (C_3A 3-5 gibi). Veya puzolonik çimentolar tercih edilmelidir.

3. C_4AF çimento içerisinde en az etkinliği olan bileşendir. Bu az etki de C_3A 'nın etkisine benzer. Yararı; klinkerin pişme süresince yumuşamasını, pişme yetkinliği kazanmasını sağlar.

Serbest CaO ve MgO fazla oranlarda olduğu zaman betona olumsuz etkiler yapar. Su ile $Ca(OH)_2$ ve $Mg(OH)_2$ olur. Zamanla havadan CO_2 alır, $CaCO_3$, $MgCO_3$ oluşur. Böylece ince yüzey çatlaklarının genişlemesine, derinleşmesine neden olurlar. Klinkerin soğuması sırasında hızlı soğutma ile cam faz oranı artırılır. MgO cam fazda kalırsa etkinliği az olur. Kristal fazda kalan MgO 'ın reaksiyonlar zinciri hızla devam eder. Alkalilerin (Na_2O , K_2O) alkali agrega reaktivitesi nedeniyle betona olumsuz etkileri vardır. Opal, riyolit gibi aktif silis içeren agregalarla reaksiyona girerler, hacim artışlarına, betonda genişmelere neden olurlar. Alkali agrega reaktivitesi uzun yıllar sonra dahi ortaya çıkabilir ve önemli hasarlara neden olur. Katkılı çimentolarda durum farklıdır. Kendileri bağlayıcı özellik taşımayan yapay ve doğal puzolonik maddeler çimento ile birleştiğinde, su ortamında hidrolik bağlayıcı özelliği kazanırlar. Pişme olayına girmediğinden bu tür maddelerin klinkere katılmasıyla büyük ekonomi sağlanır. Çelik sanayi atık maddesi curufun ani soğutulması ile elde edilen yüksek fırın curufu ile ülkemizde bol bulunan puzolonik maddeler (çeşitli traslar) çimento üreticileri tarafından çok kullanılmaktadır. Puzolonik maddeler kendi aktif silislerinin, hidratasyon ürünü $Ca(OH)_2$ ile birleşmesi sonucu sertleşir ve dayanım kazanırlar. Bu özellikleri betonun geçirimsizliğini olumlu yönde etkilerse de kirecin demir aksamı koruyuculuğunu azaltır. Puzolonik maddeler ülkemizde bol miktarda bulunurlar ve çok çeşitlidirler. Bazaltik, riyolit vs. gibi türleri, aynı türün ince, kaba kristal yapıları ve farklı aktif silis oranları vardır. Farklı özelliklerin çimentoların dayanım ve değişik ortamlarda değişik davranışlarına olumlu yada olumsuz katkıları olur [2, 4, 5].

3.2.1. Çimentonun bazı fiziksel özellikleri ve kontrol sistemleri

Priz Olayı: Çimentonun sıvı kıvamdan katı duruma geçmesidir. Normal priz dışında Ani priz ve yalancı priz vardır. Ani priz C_3A bileşeninin alçı ile

denetlenememesi sonucu ortaya çıkar. C_3A ortamdaki tüm suyu aniden çeker, böylece silikatların hidratasyonunu önler, çimento sertleşir ama normal priz kimyasal reaksiyonlarını tamamlayamaz ve düşük dayanımlı sert bir kütle oluşur. İşlenebilirlik çok azalır. Çimento öğütme sırasında alçı katkısının ayarlanması olayı önler. Yalancı priz ise değirmende öğütme sırasında yükselen ısı nedeniyle kristalize alçı taşı $\frac{1}{2}$ billur suyunu kaybeder hemihidrat olur. Su ile karşılaşınca alçı kaybettiği suyu alır ve sertleşir. Çimento reaksiyona giremez. Betonyerde karıştırma işlemi uzatılırsa önlenemez.

Priz olayı priz başlama ve sonu ile belirlenir. Vikat deneyinde önce çimentonun karışımındaki su miktarı belirlenir. Bu su oranı da betoncular için önemlidir. Normal Portland çimentolarında %26-28 olan bu oran katkılı çimentolarda % 36'ya kadar yükselir ve beton dizaynına etkili olur. Sonra priz başlangıcı ve sonu süresini tayin eder. Standartlarda genellikle priz başlangıcı 1 saatten az, priz sonu 10 saatten fazla olmayacak şekilde priz olayı sınırlanmıştır.

Çimentonun yoğunluğu (litre ağırlığı); Doğal akışı sağlanan çimentonun bir litresinin (kaba) ağırlığıdır. Katkılı çimentolarda bu değer 850gr/Lt ye kadar düşer, Portland çimentolarında 1200gr/Lt ye kadar yükselebilir. Beton dizaynı için önem taşır.

İncelik; Çimento inceliği önemli bir husustur. İncelik artırılarak, yani ince taneciklerin oranı artırılarak çimentoya aktivite kazandırılır. Yüzey ne kadar büyürse reaksiyona giriş hızı o oranda artar. Ancak kalitesi düşük normal Portland çimentosuna inceliğini artırarak büyük ölçüde dayanım kazandırılmaz. Aynı çimentonun inceliği daha düşük olanına göre bir ölçüde dayanımı artar. Bu konu Portland çimentolarda da geçerlidir. Puzolonik aktivitesi yüksek katkı maddeleri katılmış çimentolarda durum farklıdır. Katkısız çimentolarda ince fraksiyonları klinker oluşturur. Bu ince klinker hidrasyonu olurken hidratasyon ısı yükselir. (Klinkerin C_3S , C_3A oranına bağlı özellikler).

Hidratasyon Isısı; Çimentonun sertleşmesi görünüşte fiziksel bir olay gibi nitelenirse de, aslı kimyasal bir reaksiyona dayanır. Bu hidratasyon olayıdır. Hidratasyon

ekzotermiktir. Isı çıkışı olur. Çimentoyu oluşturan bileşik maddelerin her birinin su ile kimyasal olarak reaksiyona girmesine hidrasyon olay, bu olay sonucu açığa çıkan ısı toplamına da “Hidrasyon ısısı”adı verilir. Karma oksit bileşenlerinin çıkardığı hidrasyon ısıları şöyledir.

C_3S	7 günde	53 cal/gr.
C_2S	7 günde	10 cal/gr.
C_3A	7 günde	372 cal/gr.
C_4AF	7 günde	118 cal/gr.
MgO	7 günde	204 cal/gr.
Serbest CaO	7 günde	279 cal/gr.

Görüldüğü gibi, hidrasyon ısısı çimentonun kimyasal bileşimine bağlıdır. C_3A en yüksek ısıyı vermektedir. Çimentonun kullanılacağı yere göre seçilmesinde hidrasyon ısısının rolü büyüktür.

Beton dökümlerinde ısı yükseldikçe iç sıcaklık artar. Baraj vs. gibi kütle betonu dökümlerinde, dökümden sonra ilerleyen zaman içinde soğuma ile birlikte betonda hacim küçülmesi olur. Beton katılaşıp ama yeterince dayanım kazanmaz (Yeşil beton). Ayrıca yüksek ısı ile hava kabarcıkları çıkar. Termik rötre ismi verilen bu olaylar çatlamalara neden olur. Hidrasyon ısısı çimentonun kimyasal yapısı kadar inceliğine su/çimento oranına da bağlıdır. C_3A , C_3S oranı yüksek portland çimentolarında Hidrasyon ısısı da yüksektir.

Puzolonik madde katkısı önleyici etki yapar. Hidrasyon ısısı 3 yolla tayin edilir:

1. Çözünme ısısı metodu
2. Kapalı şişe
3. Adyabatik kalorimetre

Deneyin esası, kuru çimentonun çözünme ısısı ile 7 ve 28 günde kısmen hidrate olmuş çimentonun çözünme ısıları arasındaki farktan, çimentonun istenen periyotta hidratasyon ısısını bulmaktır.

Dayanım Deneyleri; Çimentolar, su ve standart kumla karıştırılarak harç yapılır. Kalıplara dökülür, 2-7-28 gün su havuzlarında bekletilir. Eğilme ve basınç aparatlarında numuneler kırılarak dayanımları saptanır. Her ülkenin değişik standardı vardır. Su /çimento oranı, standart kumu, harcın hazırlanma ve kalıplanma işlemleri, kalıp şekilleri farklı standartlara göre değişir. Ülkemizde yıllardan beri plastik harç metodu kullanılmaktadır. ½ Su/Çimento oranı ve 1350gr. TS 819 standart kumla harç hazırlanmakta, 40*40*160 mm ebadında prizma kalıplara dökülerek şoklama ile sıkıştırılmaktadır. Önce eğilme dayanımı saptanır, sonra kırılan parçalar üzerinde basınç dayanımı ölçülür. N/mm² olarak ifade edilir. Yeni standartlarda eğilme dayanımına yer verilmemiştir. Dayanımlarda çimentonun kompleks bileşenlerinin oranı kadar, kristal şekilleri ve yapıları da önem taşır. Örneğin üst üste plakalar halinde kristallenmiş C₃S içeren çimentoların basınç dayanımları yüksek olur. Prizmatik iğneler halindeki C₃S kristallerini içeren çimentoların ise çekme dayanımları daha yüksektir. Hammaddeden gelen Cr₂O₃, P₂O₅ gibi eser maddelerin C₃S yada C₂S kristallerinin bünyesine girmeleri dayanımları değişik şekillerde etkiler. Hammadde dizaynı kadar pişirim ve soğutma işlemleri de dayanım üzerinde rol oynamaktadır. Soğutma hızlı olmalıdır.

Sonuç olarak, çimento bileşenlerinin oranları, kristal yapıları ve şekilleri, sonradan katılan katkı maddeleri ve incelikleri ile çeşitli çimento tipleri ortaya çıkmaktadır. Kullanılma yerlerine ve amaçlarına göre değişik çimentoların tercihi gerekmektedir [2, 4, 5].

3.2.2. Çeşitli çimentoları kapsayan değişik türk standartları

Portland Çimentoları (TS 19)	: PÇ 32.5 , PÇ 42.5, PÇ 52.5
Katkılı Portland Çimentosu (TS 10156)	: KPÇ 32.5
Traslı Çimento (TS 26)	: TÇ 32.5
Beyaz Portland Çimentosu (TS 21)	: BPÇ 32.5, BPÇ 42.5

Uçucu Küllü Çimento (TS 640)	: UÇK 32.5
Yüksek Fırın Curuf Çimentoları (TS 20)	: CÇ 32.5, CÇ 42.5
Süper Sülfat Çimentosu (TS 809)	: SCC 32.5
Sülfatlara dayanıklı Çimento (TS 10157)	: SDÇ 32.5
3646 Erken Dayanımı Yüksek Çimento	: EYÇ 52.5

Rakamlar 28 gün sonraki dayanım değerlerinin asgari miktarını N/mm^2 (MPa) cinsinden ifade etmektedir. Diğer kimyasal ve fiziksel özelliklerin sınırları standartlarda ayrıca belirtilmiştir. Bunlara ilişkin analiz metotları ve denemeler ile işlemlerde kullanılan cihazlar da ayrıca detaylı olarak ayrı standartlarda belirtilmiştir. (TS 687 Kimyasal Analiz Metotları, TS 24 Fizik beton denemeleri gibi) [1, 2, 4, 5].

1- Portland Çimentoları PÇ: Klinkerin %3-5 alçı taşı ile birlikte örgütlenmesiyle elde edilen katkısız çimentolardır. Klinker kompozisyonu ve çimento inceliği üzerinde durarak PÇ 42.5 ve PÇ 52.5 üretilir.

2- Katkılı Portland Çimentosu KÇ 32.5: Klinkere alçı taşı ve en fazla %19 oranında puzolonik madde katılarak üretilen çimentodur.

3- Traslı çimento TÇ 32.5 : Klinkere alçı taşı ve %20-40 arasında TS 25 'e uygun tras katılarak öğütülen çimentodur.

4- Beyaz Portland Çimentosu BPC: Kil yerine Fe_2O_3 oranı çok düşük kaolin (arıkil) kullanılarak üretilmiş olan özel klinkerin alçı taşı ile birlikte öğütülmesiyle elde edilen beyaz renkli bir portland çimentosudur.

5- Uçucu küllü Çimento UÇK: Ağırlıkça karşılıklı olarak %10-30 uçucu kül (TS 639 uygun) %90-70 oranda klinker ve alçı taşı ile öğütülerek elde edilir.

6- Yüksek Fırın Curuf Çimentoları CÇ: Bu çimentolarda ani soğutulmuş granüle hale getirilmiş bazik yüksek fırın curufu kullanılır. CÇ: %85-31 kısım curuf karşılıklı %15-69 kısım klinker ve alçı taşı ile öğütülerek elde edilen curuf lu çimentolardır.

7- Süper Sülfat Çimentosu SCC : Ani soğutulmuş bazik granüle yüksek fırın curufu ile içinde en az %5 SO₃ bulunacak şekilde kalsiyum sülfatın katalizör olarak da az miktarda Portland klinkeri ya da Portland çimentosu ile öğütülmesi ile elde edilen çimentodur.

8- Sülfatlara Dayanıklı Çimento SDC: C₃A miktarı en çok %5 olan klinkerin alçı taşı ile öğütülmesi ile elde edilen çimentodur.

9- Erken Dayanımı Yüksek Çimento EYÇ: Özel olarak üretilmiş klinkerin alçı taşı ile birlikte ince öğütülmesi ile elde edilen çimentolardır.

2 günde 30 N/mm²

7 günde 40 N/mm²

28 günde 52.5 N/mm²

dayanım kazanırlar.

10- Yüksek Performanslı Çimento: Ani soğutulmuş bazik granüle yüksek fırın curufu, mikrosilis alçı ve klinkerin beraber öğütülmesi ile elde edilen çimentolardır.

Yüksek beton performansı beklenen yerlerde özellikle bu tür çimentonun kullanılması tavsiye edilir. Alınan numuneler belirli bir süre saklanmalıdır. Böylelikle betonda problemlerin çimentodan kaynaklanıp kaynaklanmadığı saptanabilir.

3.3. Beton karışım ve temas suyu

Beton karma suyu, betonda işlenebilirliği ve çimento hidrasyonunu sağlamak için kullanılan çok hassas ve önemli bir hammaddedir. Hassas ve önemli olmasının nedeni, su miktarının, taze ve sertleşmiş betonun tüm önemli olmasının nedeni, su miktarının, taze ve sertleşmiş betonun tüm özelliklerini etkileyebilmesidir. Beton karma suyu, mümkün olabildiği kadar temiz, içinde zararlı etki gösterebilecek kadar klorür, sülfat, asit, şeker, organik madde, endüstriyel atık, yağ, kil ve silt gibi maddeler olmamalıdır.

Çimento, hidrasyon için ağırlığının % 25'i kadar su miktarına ihtiyaç duyar. Bu miktarın üzerinde kullanılan su miktarı sadece işlenebilirliği artırma amacına yöneliktir. Bu zamanla betonun bünyesini terk ederek yerini boşluklara bırakmaktadır. Karma suyu miktarı ne kadar fazla olursa boşluklar da o kadar fazla olur ve bu durum sadece dayanımı olumsuz yönde etkilemekle kalmaz, betonun durabilitesini de olumsuz yönde etkiler.

%10 eksik su, basınç dayanımını %10

%20 fazla olması ise %30 azalmaya neden olur.

Beton karışım dizaynı hesabında, hedeflenen ve üretimde gerçekleştirilen kıvamı daha da arttırmak için, betona fazladan su ilave etmek ise hem dayanımı hem de dayanıklılığı (durabiliteyi) yok eder [1]. Beton, büyük bir mekanik kuvvete sahip olup, dış zorlamalardan çok bazı zararlı maddelerin kimyasal etkisi ile kısmen bozulabilir. İnşaata başlamadan önce, beton ile temas edecek olan suyun kimyasal analizi yapıp gerekli koruyucu tedbirler alınmalıdır. Temas suyunun kimyasal etkisi;

- a) Suda bulunan zararlı madde konsantrasyonu,
- b) Betonun bünyesi ve bileşimindeki maddelerin oranı,
- c) Kullanılan çimento ve agrega tipi,
- d) Suyun betonla temas müddeti, alanı ve durumuna bağlıdır.

Temas suyu olarak betona etkili sular, betonu kimyasal yönden etkileyerek onun başta mukavemet olmak üzere diğer özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek kalitesini düşürür ve hizmet süresini azaltır [2].

Betonda kullanılacak sularda aranacak özellikler konusunu maddeler halinde özetleyecek olursak, şu sonuçlara ulaşabiliriz; [6]

- a) Magnezyum sülfat miktarı fazla olan sular karışımda kullanıldığı zaman çimentonun serbest kireciyle reaksiyona girerek alçı taşı oluşturduğu için zararlıdır.

- b) % 1'den fazla sülfat ihtiva eden (SO_3) sular kullanılmamalıdır.
- c) Kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve MgO_3 magnezyum oksit suda çözülmedikleri zaman beton mukavemetini etkilemez.
- d) Magnezyum bi karbonat MgCO_3 miktarı 4/10000 değerinden fazla olduğu zaman beton mukavemetini etkiler.
- e) Kalsiyum klorür (CaCl_2) çimento ağırlığına oranla %2'ye kadar prizi hızlandırmak ve mukavemet kazandırmak amacıyla kullanılabilir.
- f) %3'den fazla sodyum klorür (NaCl) ihtiva eden sular beton mukavemetine önemli tesir ettiği için zararlıdır.
- g) Endüstriyel artık suları beton karışım suyu olarak kullanılamaz, bunların dışında; deniz suyunun da gerektiği zaman karışım suyu olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deniz suyu zorunlu durumlarda beton karışım suyu olarak kullanılabilir. Deniz suyuyla üretilen harcın ilerde nem tutması olasılığı vardır. Yapı sürekli rutubetli kalabilir ve çiçeklenmelere rastlanabilir.
- h) Karışım suyunda çözülmüş halde en çok 15 gr/lit tuz ve 3 gr/lit SO_3 bulunabilir. pH değeri ise 7'den küçük olmalıdır.

3.4. Beton Katkı Maddeleri

Beton katkı maddeleri; su, agrega ve çimento dışında betonlara çok düşük miktarda katılan organik ve inorganik kimyasal maddelerdir. Çimentonun sahip olduğu özellikleri, iyi yönde ve belirli bir ölçüde değiştirmek amacı ile beton üretilirken veya üretildikten sonra katılarak taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini geliştirirler [7]. Mineral ve kimyasal olarak iki guruba ayrılırlar. Kimyasal katkılar betonun akışkanlığının artırılması, erken ve yüksek dayanıma ulaşılması, geçirimsizliği ve dona dayanımının sağlanması yanında priz sürelerini değiştirmek gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar. Akışkanlaştırıcılar, uygulamada su/çimento oranını azaltarak daha yüksek dayanım kazanabilmek, kütle betonlarında hidrasyon ısısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması veya aynı işlenebilmeyi sağlayabilmek ve kolay yerleşmeyi sağlamak amacıyla kullanılmaktadırlar. Akışkanlaştırıcılar su içerisinde eriyen boşluklu kimyasal dizilişleri ile suyun yüzey gerilimini düşüren organik maddelerdir ve beton içine hava sürükleyerek çimento topaklaşmasını önleyerek etkili olmaktadır. Su indirgeyiciler negatif elektriksel yüke sahip olup, su

yüzeyinde hareket etme eğilimindedirler. Su ve çimento reaksiyona girdiğinde çimento taneleri su moleküllerini çevreleyerek flokülle bir yapı oluştururlar. Suyun bu şekilde kapanması istenen akışkanlığa ulaşabilmek için daha fazla su ilavesini gerektirir. Akışkanlaştırıcı madde ilave edildiğinde çimento tanecikleri tarafından adsorbe edilerek negatif yüklü katkı partikülleriyle birleşirler ve aynı yüklü olduklarından birbirlerini iterler. Sonuçta kapanmış olan su açığa çıkar. Katkının defloküller etkisi sonunda çimento flokülleşmesi önlenmekte ve açığa su çıkmaktadır. Bu maddelerin topaklaşmayı önlemeleri ve aynı zamanda tanelerin birbiri üzerinde kaymalarını kolaylaştırarak yağlayıcı etki göstermeleri betonun iç sürtünmesini azaltmakta ve işlenebilirliği artırmaktadır. Çok düşük sıcaklıklarda yüksek kalitede beton dökümünü sağlayan özellikle hafif don halinin gün boyu devam ettiği durumlarda, gece boyunca don olması ve ani sıcaklık düşüşü beklenen hallerde, dondan koruyan katkı kullanılmaktadır. Beton antifrizi olarak kullanılan bu katkıların özeliği betonun donma noktasını düşürmeleridir. Antifriz sıvısı olarak çoğunlukla alkol, alkol esaslı sıvılar ve etilen glikol kullanılmaktadır. Etilen glikol cinsi bir antifriz suyun içine edildiğinde oluşan çözeltinin birim yüzeyindeki su molekülü sayısı dolayısıyla da buhar faza geçen su molekülü miktarı azaltılmaktadır. Kolligatif özellik olarak bilinen bu durumda suyun buhar basıncı buna paralel olarak da suyun donma noktası düşmekte, suyun buharlaşma ısısı yükselmektedir.

Katkının cinsi ve miktarı donma noktasındaki değişimi etkilemektedir. Kullanılan katkının su miktarını artırmadan işlenebilirliği artırdığı, işlenebilirliği azaltmadan su miktarını azalttığı ve dona karşı dayanımı ve basınç dayanımını artırdığı belirtilmektedir. Kışın $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ısıya kadar beton dökümünde kalıp ve donatı suya, kara ve buza karşı korunarak gerektiğinde ısıları önceden $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye getirilerek ve beton ısısı en az $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de tutularak kullanılması öngörülmektedir [8]. Bu gün beton sektöründe bir çok değişik katkı maddesi kullanılmaktadır. Bunlar sektörün hizmetini büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Bundan dolayı beton katkıları, beton bileşenleri içerisinde önemli bir yer tutmaktadır.

3.4.1. Beton üretiminde sık kullanılan katkılar

3.4.1.1. Akışkanlaştırıcı katkılar

Beton üretiminde kullanılması gereken çimento miktarında bir azaltışa gitmeden veya mukavemetten ödün vermeden imal edilen betonun, akıcı ve kolay yerleşebilir olmasını sağlamak ve su/çimento oranını düşürerek yüksek dayanımlı beton elde etmek istediğimizde, işlenebilirliği sağlamak için, su/çimento oranı sabit kalmak kaydıyla hem su hem de çimento miktarında azaltışa giderek tasarruf yapılması durumunda işlenebilirliği ilk seviyesinde tutabilmek amacı ile kullanılır. Çimento partikülleri birbiriyle birleşmek suretiyle küçük topraklar oluşturmaya meyillidirler. Akışkanlaştırıcılar su ile birleşerek beton içerisindeki suyun yüzey gerilimlerini ve çekim gücünü azaltırlar. Akışkanlaştırıcılar negatif elektriksel yüke sahip olup su yüzeyinde hareket etme eğilimindedirler. Bu etkileri dolayısı ile topraklaşmayı önlemeleri ve aynı zamanda tanelerin birbiri üzerinden kaymalarını kolaylaştırmak ve yağlayıcı etki göstermeleri betonun iç sürtünmesini azaltmakta ve işlenebilirliğini artırmaktadır [7].

Akışkanlaştırıcı katkının etkileri öncelikle işlenebilirlik açısından incelenmiştir. Katkısız beton üretiminde, beton çökmesi 10 cm olarak alınmıştır. Ancak yapılan yayılma ve Ve-Be deneylerinde akışkanlaştırıcı katkının ilavesiyle yayılma değerleri artış göstererek 32 cm' den 42 cm' ye kadar artmıştır. Ve-Be değerlerinde ise yaklaşık 4 sn'den 2sn'ye doğru bir azalma görülmektedir. Akışkanlaştırıcı katkıların yayılma ve Ve-Be'ye etkileri aşağıdaki Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Yayılma ve Ve-Be' lerin akışkanlaştırıcı katkı ilaveleri ile değişimi [8]

Akışkanlaştırıcı Katkı				
%	BS 16		BS 20	
	Yay. (cm)	VeBe (sn)	Yay. (cm)	VeBe (sn)
0.00	32.0	4.32	41.0	2.56
0.20	36.0	3.08	43.5	2.80
0.40	38.0	2.57	45.0	3.06
0.60	42.0	2.18	41.0	2.63

Akışkanlaştırıcı katkı ilavesi hava miktarında azalmaya neden olmaktadır. Taze betonlardaki birim ağırlıklar 7. ve 28. gündeki sertleşmiş betonlarda azalma göstermektedir. Bu betonlarda yapılan hasarsız deneylerden ultrases hızlarına ait sonuçlar incelendiğinde katkı ilaveleri ile ultrases hızlarında önemli değişimler olmadığı belirlenmiştir [8]. Akışkanlaştırıcılar, genellikle taşıma betonlarında, kütle betonlarında, pompa betonlarında, hazır betonda, düzgün yüzey istenen her yerde, çelik donatının yoğun olduğu yerlerde, vb. kullanılır. Akışkanlar, çimento ağırlığının % 0.2- %0.5' i oranında kullanılır (100 kg çimento için 200- 600 gr katkı). Rengi, kahverengi ve sıvı haldedir. Yoğunluğu 20 °C' de yaklaşık 1.07 kg/lt' dir [9].

Taze Betona Etkileri: Aynı işlenebilmeyi sağlamak koşulu ile karışım suyu miktarında %5- %12 arası azalma sağlar. Karışım suyunu azaltmadan kullanılırsa işlenebilirliği önemli ölçüde artırır; ayrıca ayrışmayı azaltarak pompalanabilirliği artırır[7].

Sertleşmiş Betona Etkileri: Mukavemet, su/çimento oranının fonksiyonu olduğuna göre katkı kullanıldığında karışım suyunun azalması su/çimento oranını düşüreceğinden daha yüksek, erken ve nihai mukavemetler elde edilecek ve daha az boşluklu, daha iyi yüzey görünümlü ve daha az geçirimli beton elde edilir [7].

3.4.1.2. Su geçirimsizlik sağlayıcı katkılar

Su geçirimsizlik sağlayan katkıların amacı, su geçirimsiz beton, yani su geçirmeyen beton elde edebilmektir. Sınırlı hava sürüklenme özeliği ile kapiler boşlukları tıkayarak betonu su geçirimsiz hale getirir [7]. Su geçirimsizlik sağlayıcılar, su yapılarında (baraj, tünel, arıtma, havuz, su deposu, sarnıç, kanal), bina temeli, çatı betonları, istinat duvarı vb. yerlerde, yani su ile temasta buluna tüm yapı betonlarında kullanılır [7, 9]. Su geçirimsizlik sağlayıcılar, çimento ağırlığının % 0.5 oranında kullanılır (100 kg çimento için 500 gr katkı). Rengi, kahverengi ve sıvı haldedir. Yoğunluğu 20 °C' de yaklaşık 1.07 kg/lt' dir [9].

Taze Betona Etkileri: betonu JÖLE kıvamına getirir. Su azaltma ve akışkanlaştırıcılık özelliklerini iyileştirir.

Sertleşmiş Betona Etkileri: Betonun geçirimsiz kılması nedeniyle, betonun dayanıklılığı artar. 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarında da yükselme olur [7].

3.4.1.3. Su azaltıcı katkılar

Beton karışım suyunu azaltıcı kimyasal katkı maddeleri, beton kıvamı aynı kalmak üzere, daha az beton karışım suyu kullanmasını sağlayan kimyasal maddelerdir [12].

Su azaltıcı bir katkı maddesi kullanılması şunları sağlar ;

Betonun aynı derecede bir işlenebilme özeliğine sahip olması daha az su kullanmak suretiyle elde edilir. Zira bilindiği gibi su miktarının artırılması betonun işlenebilme özeliğini çok daha iyi bir duruma sokar. Bu itibarla bu katkı maddesi yardımıyla daha az su kullanılarak istenilen işlenebilme özeliğinin elde edilmesi betonun mukavemetini artırır. Su miktarı azaltılmadan bu katkı maddesi kullanılırsa betonun işlenebilme özeliğini önemli ölçüde artırmış oluruz. Bu katkı maddelerinin esasının sıvıların yüzey gerilimini düşüren “tensio-aktif” elemanlar oluşturur. Bu tür maddeler çimento taneleri tarafından adsorbe edilerek, bunların (-) ve (+) elektrik yüklenmesini sağlar. Aynı elektrikle yüklü çimento tanelerinin birbirini itmesi ve böylelikle birbirinden uzaklaşması ile çimentonun su ile teması kolaylaşır. Betonun sonunda hidrasyon sinetiği hızlanır ve betonun akışkanlığı artar. Böylelikle bu katkı maddesinin kullanılması, su miktarı % 5 - %15 arasında bir azalma sağlar [13]. Su azaltıcı katkılar, özellikle kış aylarında (+5 °C – 20 °C) betona 8-24 saatlik süreçte erken mukavemet kazandırır. Çimentonun beton içinde daha iyi dağılmasını ve su çimento oranının azalmasını sağlar. Betonun nihai mukavemetini yükseltir. Mukavemet hızlandırma etkisiyle 8 saatte yüksek dayanım kazanmaya başlar. Nihai mukavemetlerde minimum % 40 artış sağlanır. İşlenebilirliği artırır. Kopmakt ve düzgün yüzeyli beton üretimini sağlar. Karışım suyunu kullanılan çimentoya ve katkı dozuna bağlı olarak % 25- % 30 civarında azaltır. Dona karşı dayanıklılığı artırır ve su geçirimsizlik sağlar. Rengi, kahverengi ve sıvı haldedir. Yoğunluğu 20 °C’ de yaklaşık 1.21 kg/lt’ dir [9].

Taze Betona Etkileri: Bu gruba giren katkı maddelerinin kullanılmasıyla taze betonun geçirimsizliği artar; aynı zamanda bir miktar hava da ufak kabarcıklar

halinde betonun içine sürüklenmiş olur. Böylelikle taze betondaki suyun dışarıya çıkması önlemekle rötre azalır ve ayrıca donmaya daha dayanıklı bir beton elde edilir. Su miktarı azaltılmadan bu katkı maddesi kullanılırsa işlenebilme özeliği veya betonun akıcılığı iki katına varan bir artış gösterebilir. Burada ilginç olan husus, taze betonun, akıcılığı büyük ölçüde artmış olmasına rağmen kohezyonunda bir azalma meydana gelmemesidir.

Sertleşmiş Betona Etkisi: Kimyasal bakımdan esası (melamin formaldahit sülfonat kondansat) veya (naftalin formaldahit sülfonat kondansat) olan bu maddeler aynı işlenebilme özeliği değeri için su miktarını büyük ölçüde azaltarak beton mukavemetinin çok yüksek değerler almasını sağlar. Su miktarını % 25- %35 arasında azaltarak su / çimento oranının değerini 0.28'e kadar düşürerek 28 günlük mukavemeti 1000 kgf/cm² olan betonları bu katkı maddesi kullanarak elde etmek mümkündür [11].

3.4.1.4. Püskürtme beton katkıları

Püskürtme beton, yüksek hava basıncı sayesinde uygun ekipman ile bir yüzeye püskürtülen ve kendi momentumu ile sıkışan betondur. Püskürtme betonun uygulandığı yüzeye yapışması daha kalın katmanlar halinde dikeyde ve tavanda uygulanabilmesi ve ilk kaya desteğini sağlayabilmesi için erken priz alması ve mukavemet kazanması gerekmektedir. Bu amaçla püskürtme beton karışımında priz hızlandırıcı kullanılır.

Püskürtme betonu, kuru sistem ve yaş sistem olmak üzere iki şekilde uygulanır. Kuru sistemde kullanılan toz hem yaş hem de kuru sisteme uygulanabilen sıvı priz hızlandırıcılar vardır. Yukarıda, iki tür püskürtme beton karışımı olduğunu söylemiştik. Kuru karışım ve yaş karışım. Tünellerde, madenlerde, hidrojiç projelerinde, şev stabilizasyonlarında kaya ve zemin desteği için kuru karışım ve yaş karışım püskürtme betonu kullanılır. Kuru karışım sisteminde çimento, agrega ve toz priz hızlandırıcıların kuru karışımı bir makineye doldurulur. Basıncılı hava yardımı ile hortumlardan nozula iletilir. Hidratasyon için gerekli su nozulda katılır. Diğer bir sistemde ise çimento, agrega makineye doldurulur. Su ve sıvı priz hızlandırıcı

nozolda ilave edilir. Yaş sistemde ise normal beton uygulamalarında olduğu gibi su / çimento oranı kontrol altına alınmış kimyasal katkılı beton karışımı hazırlanır ve uygun makineler ile hortumdan nozula pompalanır. Püskürtmek için gerekli basınçlı hava ve sıvı priz hızlandırıcı katkıları nozulda betona ilave edilir [7].

Priz hızlandırıcılar genellikle yaş ve kuru usulle üretilen püskürtme betonunda prizi ve mukavemet kazanımını hızlandırmak için kullanılırlar. Püskürtme beton hızlandırıcıları suda eriyebilir, inorganik alüminatlar, karbonatlar, silikatlar ve bunların kombinasyonundan veya organik maddelerden oluşmaktadır. Bu dört farklı hızlandırıcı grubu çimento- su reaksiyonu üzerine farklı şekilde etkir. Karbonat ve alüminatların her ikisi de portland çimentosuyla üretilen püskürtme betonun nihai mukavemetini düşürürler. Eriyebilir silikatlarda, çimento taneleri arasındaki ara yer suyunda çözünürler ve burada kalsiyum silikat hidrateler halinde çökerek yine süratli prize neden olurlar. Ancak eriyebilir silikatlarda yine ileri yaşlardaki mukavemeti düşürürler.

Organik hızlandırıcılar genellikle temel çimento-su reaksiyonlarını değiştirmediklerinden dolayı ileri yaşlardaki mukavemet kayıplarına neden olmazlar. Bunlar yalnızca reaksiyonların engellenmeden ilerlemesini sağlar. Hammaddeleri farklı kaynaklardan gelen çimentoların priz süreleri farklılık gösterir. Doğal olarak bu durum hızlandırıcı katkının etkinliğinde de kendini gösterecektir [8].

Püskürtme betonun priz hızlandırıcılarını üç ana tipe toplayabiliriz. Bunlar; sodyum silikatlar, alüminatlar ve alkali içermeyen priz hızlandırıcılardır. Alüminat ve alkali içermeyen priz hızlandırıcılar çimento ile reaksiyona girerek etrenjit oluşumunu etkiler ve C_3A hidratasyonunu aktive eder. Püskürtme beton katkıları, çimento tipine, istenilen priz ve mukavemet değerlerine göre çimento ağırlığının % 3- %10 mertebesinde kullanılırlar.

Priz hızlandırıcıların getirdiği avantajların yanısıra nihai mukavemetlerde belirli düşüşlerde (özellikle sodyum silikatlar ve alüminatlar) sebebiyet verirler. Bu sebepten dolayı priz hızlandırıcının dozajı çok önemlidir ve mümkün olduğunca minimum

tutulmalıdır [7]. Püskürtme betonun katkıları genellikle beyaz ve krem renkli olup toz ve sıvı haldedir. Yoğunluğu 20 °C' de 1.1 kg/lt dir.

Taze Betona Etkileri: Hızlı priz alma, daha kalın katmanlar halinde ve tavanda püskürtmeye imkan sağlaması, bazı tiplerde geri sekme oranlarının düşürülmesini sağlar. Püskürtme beton katkıları taze betonun kohezyonunu artırır. Priz 3-4 dakikada başlayıp, 10- 15 dakika içinde sona erer. Sertleşme aşamasında basınç dayanımı hızla artar.

Sertleşmiş Betona Etkisi: Püskürtme beton katkısı, sertleşmiş betonun nihai dayanımını % 20- % 25 oranında düşürür. Çimento dozajı çok yüksek olursa, bu düşüş %50'lere varabilir. Beton boşlukludur, bu bakımdan durabilite yetersizdir. Özellikle donma çözülme direnci azalır. Hidrolik rötre de yüksek olur [7,11].

3.4.1.5. Priz geciktirici katkılar

Priz geciktirici katkılar, betonu sıcak, rutubetli ve rüzgarın fazla olduğu iklim koşullarında rahat dökülebilmek için kullanılır. Su ile çimento arasında oluşan hidratasyona müdahale ederek, reaksiyonu frenleyerek etki yapar. Böylelikle priz ötelenmiş olur.

3.4.1.6. Priz hızlandırıcı katkılar

Priz hızlandırıcı katkılar, priz sürelerini kısaltmak, erken basınç ve çekme mukavemetlerini arttırmak için kullanılır. Priz hızlandırıcı katkılar, çimento ve su arasındaki reaksiyonu hızlandırarak agregayı birbirine bağlayan jel oluşum hızını arttırır. Jel oluşumu sırasında hidratasyon ısısının açığa çıkması nedeni ile soğuk havalarda beton don etkisinden korunmuş olur. Priz hızlandırıcı katkı sınıfında yer alan ani priz yapıcı katkılar ile betonda erken yüksek mukavemetlere etkili olan katkıların yapıların ve çimento üzerindeki etkileri farklıdır. Ani priz yapıcı katkılar daha çok şatkrit (püskürtme) betonlarda kullanılır. Bu tür katkılar, çimentonun C3A grubu ile reaksiyona girerek ani hidratasyon oluşumu sağlar ve sertleşme üzerinde etkili olur. Betonda erken mukavemetlere ve don etkilerine dayanım sağlayan

katkılar ise çimentonun C3S grubu ile reaksiyona girerek erken sertleşme ve dayanım artışına etkili olurlar [7].

Türk Standartlarına Göre Beton Katkı Maddesi Katılmış Betonların Prize Başlama ve Bitiş Süreleri ve Karışım Suyu Oranları

Beton priz süresini hızlandırıcı kimyasal katkı maddeleri, (H)

Beton priz süresini geciktirici kimyasal katkı maddeleri, (G)

Beton karışım suyunu azaltıcı kimyasal katkı maddeleri, (A)

Beton karışım suyunu azaltıcı ve beton prizini hızlandırıcı kimyasal katkı maddeleri, (AH)

Beton karışım suyunu azaltıcı ve beton prizini geciktirici kimyasal katkı maddeleri, (AG)

Tablo 3.7. Beton katkı maddesi katılmış betonların prize başlama ve bitiş süreleri [10]

Kimyasal Katkı mad. Sınıfı	Beton Katkı Maddesi Katılmış Betonların Priz Süreleri	
	Prizin Başlama Süresi	Prizin Bitiş Süresi
(H)	Beton prizi, kıyaslama betonunun prize başlama süresine göre en az 1 saat, en çok 3 saat 30 dakika erken başlanmalıdır.	Beton prizi, kıyaslama betonunun priz bitiş süresine göre, en az 1 saat erken tamamlanmış olmalıdır.
(G)	Beton prizi, kıyaslama betonunun prize başlama süresine göre en az 1 saat, en çok 3 saat 30 dakika geç başlamalıdır.	Beton prizi, kıyaslama betonunun priz bitiş süresine göre, en çok 3 saat 30 dakika gecikerek tamamlanmış olmalıdır.
(A)	Beton prizi, kıyaslama betonunun prize başlama süresine göre en çok 1 saat erken, en çok 1 saat 30 dakika geç olarak başlamalıdır.	Beton prizi, kıyaslama betonunun priz bitiş süresine göre en çok 1 saat erken veya en çok 1 saat 30 dakika gecikerek tamamlanmış olmalıdır.
(AH)	Beton prizi, kıyaslama betonunun prize başlama süresine göre en az 1 saat, en çok 3 saat 30 dakika erken başlamalıdır.	Beton prizi, kıyaslama betonunun priz bitiş süresine göre, en az 1 saat erken tamamlanmış olmalıdır.
(AG)	Beton prizi, kıyaslama betonunun prize başlama süresine göre en az 1 saat, en çok 3 saat 30 dakika geç başlamalıdır.	Beton prizi, kıyaslama betonunun priz bitiş süresine göre, en çok 3 saat 30 dakika gecikerek tamamlanmış olmalıdır.

Priz Süresi: İçerisine kimyasal katkı maddesi katılmış olan betonların prize başlama ve bitiş sürelerinin, katkı maddesi katılmadan hazırlanmış olan kıyaslama betonunun priz sürelerine göre değişimi tablo 7' de verilen değerlere uygun olmalıdır.

Tablo 3.8. Kimyasal katkı maddeleri katılmış betonların karışım suyu [10]

Karışım Suyu	Beton Kimyasal Katkı Maddeleri				
	(H)	(G)	(A)	(AH)	(AG)
Kıyaslama Betonu Karışım suyunun % si olarak en çok	-	-	88	95	95

Karışım Suyu: Katkı maddesi katılmış olan betonların karışım suyunun, kimyasal katkı maddesi katılmadan hazırlanmış olan kıyaslama betonunun karışım suyuna oranı tablo 3.8' de verilen değerlere uygun olmalıdır.

Tablo 3.9. Beton katkı maddesi katılmış betonların basınç dayanımları [10]

Beton Yaşı	Basınç Dayanımının, Kıyaslama Betonu Basınç Dayanımına oranı, % En Az				
	(H)	(G)	(A)	(AH)	(AG)
1 gün	-	-	140	-	-
3 gün	125	90	125	125	110
7 gün	100	90	115	110	110
28 gün	100	90	110	110	110

Basınç Dayanımları: Kimyasal katkı maddesi katılmış olan betonun 1 gün, 3 gün, 7 gün ve 28 gün sonundaki basınç dayanım değerlerinin, katkı maddesi katılmamış fakat aynı koşullarda hazırlanmış olan kıyaslama betonunun aynı yaşlardaki dayanım değerlerine oranı tablo 3.9' da verilen değerlere uygun olmalıdır.

Tablo 3.10. Beton katkı maddesi katılmış betonların eğilmede çekme dayanımları

Beton Yaşı	Beton Kimyasal Katkı Maddeleri				
	(H)	(G)	(A)	(AH)	(AG)
3 gün	110	90	110	110	100
7 gün	100	90	100	100	100
28 gün	90	90	100	100	100

Eğilmede Çekme Dayanımları: Kimyasal katkı maddesi katılmış olan betonun 3 gün, 7 gün ve 28 gün sonundaki eğilmede çekme dayanımı değerlerinin, katkı maddesi katılmamış fakat aynı koşullarda hazırlanmış olan kıyaslama betonunun aynı yaşlardaki eğilmede çekme dayanımı değerlerine oranı tablo 10'da verilenlere uygun olmalıdır.

3.4.1.7. Hava sürükleyici katkı maddeleri

Hava sürükleyici katkı maddeleri, taze betonun hava miktarını artırarak ve hava boşluklarını birbirinden ayrı olarak yaklaşık 0.20 mm çapında boşluklar halinde üniform bir şekilde dağılmasını sağlayan ve bu boşlukların kararlılığını beton prizi tamamlanıncaya kadar sürdüren katkı maddeleridir [12]. Bu katkı maddesinin amacı, betonun işlenebilirliği ve dayanıklılığını artırmaktır.

Çimento taneciği iriliğinde (10- 100 mikron) milyonlarca hava kabarcığını beton içinde homojen bir şekilde dağıtarak betonu, donma - çözünme olaylarından korumak için kullanılır. Hava sürükleyici katkıları, yoğunluklu olarak beton yollar, pist betonları, havaalanları ve su yapıları gibi yerlerin betonunda kullanılır. Hava sürükleyici katkı maddeleri, çimento ağırlığının % 0.03 - % 0.15' i arasında kullanılır. Örneğin; 100 kg çimentoya 30 – 150 gr hava sürükleyici katkı maddesi kullanılır.

Taze Betona Etkisi: Hava sürükleyici katkı maddesi, taze betonun işlenebilirliği üzerinde olumlu etkisi vardır. Betonun içinde hapis olan hava miktarı % 1.5 - % 2.0' den % 3.0 - % 6.0' ya çıkar.

Sertleşmiş Betona Etkisi: Hava sürükleyici katkı maddesi, betonu donma- çözünme etkilerinden korumada etkin rol oynar. Böylelikle betonun dayanıklılığı (dürabilite) artırılmış olur. Basınç dayanımına önemli derecede etki yaptığı için betonun havası sık sık kontrol edilmeli, hava % 6' yı geçmemelidir [7].

3.4.2. Beton katkı maddeleri kullanılırken alınacak önlemler

Çimentoların veya betonların belirli bir özeliğini daha iyi bir duruma getirmek amacıyla kullanılan katkı maddeleri ile istenilen hedeflere ulaşılırken, diğer bazı özellikler de iyiye doğru olmayan değişimler olabilir. Böyle bir durumun meydana gelip gelmediğini anlamak için belirli koşullar altında katkı kullanarak ve kullanmayarak çimentolar üzerinde en azından şu deneyler yapılmalıdır:

Kıvam deneyi,

Priz deneyi,

Hacim sabitliği deneyi,

Rötre deneyi,

Hidratasyon ısısı deneyi,

Mukavemet deneyi,

Katkılı ve katkısız numunelerde yapılan bu deneylerde elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılarak kullanılan katkı maddesinin diğer özellikler üzerinde zararlı bir etki yapıp yapmadığı anlaşılır. Ancak böyle bir incelemede olumlu sonuç elde edildikten sonra o katkı maddesinin kullanılma yoluna gidilmelidir. Katkı maddelerinin kullanılmasında çok titiz davranmak gerekmektedir. Uygulamada işlenen küçük bir hata tamamen istenmeyen sonuçların elde edilmesine neden olabilir [11].

BÖLÜM 4. BETONDAN BEKLENİLEN ÖZELLİKLER

İyi bir beton; taze haldeyken kolay taşınabilmeli, yerleştirilebilmeli, sıkıştırılabilmeli ve bu işlemler sonrasında ayrışmamalıdır. Sertleşmiş halde ise betonun mekanik mukavemeti yeterince yüksek ve dayanıklı olmalıdır. Yani hava etkisine, kimyasal etkilere ve aşınma etkisine karşı dayanmalıdır. Ayrıca ekonomik olmalı; yani malzeme, üretim, döküm, kalıplama, bakım masrafları az olmalıdır. Bu özellikler ise; Malzeme cinsi ve karışım oranları iyi seçilerek, beton harmanının hazırlanması, yerleştirilmesi ve sıkılanmasında uygun yöntemler ve güvenilir araçlar kullanılarak ve beton uygun koşullarda saklanarak sağlanabilir. Genelde betondan beklenen özellikleri şu başlıklar altında incelemek mümkündür [2].

4.1 İşlenebilme

Betondan çıkan taze betonun taşıma ve kalıba yerleştirme sırasında kohezyonunu ve homojenliğini kaybetmemesi ve kalıplarda kolaylıkla yayılarak kabil olduğu kadar az boşluk bırakarak bunların doldurma özelliklerini hepsini birden işlenebilme özelliği ifade eder. İşlenebilme, minimum enerji, homojenliğinin korunması, boşluksuz yerleşme ve kıvam kavramlarını içermektedir. Betonun işlenebilme özelliği ile kıvamın karıştırılmaması gerekir. Kıvam betonun akıcılığı ile veya kendi ağırlığı altında hareket etme kabiliyeti ile ilgili bir özelliktir. Bu özelliğe en önemli etkiyi su yapmaktadır. Taze betonun kıvamı yalnız ilave edilen su miktarının bir fonksiyonu değil, aynı zamanda muayyen bir kıvamın elde edilmesi için su ihtiyacını tayin eden agreganın tane boyutu, tane şekli, tanelerin yüzey pürüzlülüğü ve taze betonda işlenebilmeyi önemli ölçüde etkiler. Ayrıca çimentonun karakteri ve miktarının da rolü büyüktür. Beton kıvamında yuvarlak ve granülometrisi düzgün agreganın karışım suyu ihtiyacı köşesi ve granülometrisi iyi olmayan agregadan daha azdır.

Tablo 4.1. TS 500'e göre beton kıvam ve özellikleri

Kıvam	Çökme	Özellikler
Nemli toprak	0-2,5 cm	Su miktarı çok az, vibrasyonla özenli ve kuvvetli bir şekilde yerleştirilmediği takdirde betonda boşluklar kalır.
Sıkı	2,5-5 cm	Vibrasyonla sıkıştırmaya elverişli betonarme yapılar için uygun
Plastik	5-7,5 cm	Donatının fazla olması halinde seçilir.
Akıcı	7,5-15 cm	Su miktarı fazla, vibrasyonla sıkıştırmaya elverişli değil. Çok sık donatı bulunması halinde kullanılmasına izin verilir.
Şerbet	15	Su; agrega ve çimentodan kolaylıkla ayrılır. Betonarmede bu kıvama sahip beton kullanılmamalıdır. (TS, 500)

İşlenebilir betonun niteliklerinin başında kohezyon gelir. Kohezyonu iyi olan taze betonun içindeki iri agrega taneleri; karıştırma, taşıma ve yerleştirme işlemleri sırasında kütlede ayrılmazlar. Bu işlemler sırasında iri agreganın beton külesinden ayrılması olayına betonun çözülmesi (segregasyon) adı verilir. Böyle betonun bünyesi homojen olamaz; iri agregalar bir yanda harç bir yanda birikir. Bu ise betonun dayanımını olumsuz yönde etkiler. Kimyasal katkı maddesi kullanarak betonun işlenebilme özelliğini arttırmak mümkündür. Sikament kimyasal katkı maddesi kullanarak çökme değeri ve istenilen işlenebilme ayarlanabilir. Süper akışkan betonlar üretilebilmektedir. Bu akışkan beton yüksek noktalara pompa ile betonun ulaştırılmasında çok kolaylık sağlamaktadır. Betonlardan istenilen işlenebilme özelliği, betonun kullanılacağı yere, sıkıştırma ve yerleştirme tekniğine dayanır. İşlenebilirlik derecesi inşaat aksamının boyutları, şekli ile demir aralıklarına bağlıdır. Mesela döşemeler için iyi işlenebilirliği olan beton ince ve sık demirli bir inşaat kesiminde kullanılma bakımından güçlük arz edebilir [2].

4.2. Beton Dayanımı

Değişik türdeki yapılarda kullanılmakta olan betonun üzerine değişik yönlerde etki yapan statik ve/veya dinamik yükler (kuvvetler) gelebilmektedir. Beton, bu yükleri taşıyabilmek için direnç göstermektedir. Doğal olarak, üzerine gelen yükün etkisiyle betonda bir miktar şekil değişikliği meydana gelmektedir. Üzerine gelen yüklerin büyüklüğü arttıkça, hem betondaki şekil değişikliklerinin miktarı artmakta, hem de bu yükleri taşıyabilmek için daha çok direnç gerekmektedir. Şayet, betonun üzerine gelen yüklerin büyüklüğü betonun bu yüklerle karşı koyma kapasitesinden daha büyük boyutlara ulaşır ise, çok büyük şekil değişiklikleri yer almakta ve beton kırılmaktadır. Bilindiği gibi, malzemenin bir birim alanının üzerinde etki yapan yük "gerilme" olarak adlandırılmakta ve kgf/cm^2 veya MPa gibi birimlerle ifade edilmektedir. "Beton dayanımı", "üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme" olarak tanımlanmaktadır [13].

Betonun üzerine değişik yönlerde uygulanan yükler, değişik etkiler yaratabilmektedir. Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi yaratacak yükler altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya kaç göstereceği direnme kabiliyeti, sırasıyla, basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı, ve kayma dayanımı olarak tanımlanmaktadır. Tekrarlı yüklerin etkisi altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği direnme kabiliyetine ise yorulma dayanımı denilmektedir. Betonun kullanılacağı yapının tasarımı yapılırken, betonun üzerine gelebilecek değişik türdeki yüklerin büyüklükleri gözönünde tutulmakta ve üretilecek betonun bu yüklerle karşı yeterli dayanımı göstereceği varsayılmaktadır. Üretilecek betondaki dayanım değerlerinin, tasarım hesaplarında kullanılmış olan değerlerden daha az olmaması istenmektedir. Sertleşmiş betonun belirli dayanımda olmasının yanısıra, yeterli dayanıklılığı göstermesi, su geçirimsizliğinin az olması gibi diğer bazı özelliklere de sahip olması istenir. Bu özelliklerin her biri çok önemli olmakla beraber, beton özellikleri arasında en çok aranılanı ve kullanılanı, dayanım özeliğidir. Bunun nedenlerini aşağıdaki gibi özetleyebilmek mümkündür:

Betonun genellikle kullanıldığı yapılar, basınç, çekme, eğilme ve kayma yaratacak kuvvetlerin doğrudan etkisi altındadır. O nedenle, betondaki basınç, çekme, eğilme ve kayma dayanımlarının bilinmesi, beton yapıların bu yükler altındaki taşıma kapasitelerinin bilinmesine yaramaktadır. Sertleşmiş betonda aranılan hacim sabitliği, dayanıklılık, su geçirimsizlik ve dayanım gibi birçok özellik arasında, deneysel olarak en kolay tayin edileni, betonun dayanım özeliğidir. Betonun dayanım özeliği ile diğer özellikleri arasında bir korelasyon kurabilmek ve kalitatif (niteliyici) olarak diğer özelliklerin ne büyüklükte olduğunu değerlendirilebilmek mümkündür. Örneğin, dayanımı yüksek olan bir betonda, su geçirimsizlik ve dayanıklılık da daha iyi olmaktadır.

4.2.1. Beton dayanımını oluşturan unsurlar

Değişik boyutlardaki agrega tanelerinden ve bu tanelerin yüzeylerini kaplayarak aralarındaki boşlukları dolduran çimento hamurundan oluşan beton, çok fazlı kompozit bir malzemedir. Betonun yapısı mikro ölçekte ele alınacak olur ise: Agregalar, değişik minerallerin bir araya gelmesiyle oluşmuş ve yapılarında bir miktar gözenek bulunabilen malzemelerdir. Çimento hamuru ise, çimentodaki değişik ana bileşenlerin hidrasyonu sonucunda oluşan her biri değişik boyutlara ve özelliklere sahip değişik hidrasyon ürünlerini içermektedir. Ayrıca, çimento hamurunun içerisinde değişik şekil ve boyutlara sahip boşluklar ve hidrasyonunu henüz tamamlamamış çimento tanecikleri bulunmaktadır. O nedenle, betonun çok kompleks bir yapısı vardır. Betonun yapısı makro ölçekte ele alınacak olur ise: Betonun, çimento hamurundan ve bu hamurun içerisine gömülmüş olan a tanelerinden oluşan kompozit bir malzeme olduğunu kabul edebilmek mümkündür. Betonun yük altında kırılması, çimento hamurunun veya agreganın yeterli direnci gösterememesinden, ya da, çimento hamuru ile aç taneleri arasındaki aderansın yeterince yüksek olmamasından kaynaklanmaktadır. Bir başka deyişle, beton dayanımı, aşağıda sıralanan dayanımların büyüklüklerine (ne ölçüde iyi olduklarına bağlıdır)

Çimento hamurunun dayanımı,

Agreganın dayanımı, ve

Çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderans.

Çimento Hamurunun Dayanımının Beton Dayanımındaki Rolü: Bilindiği gibi, çimento hamuru, bağlayıcı özeliğe sahip bir malzemedir. Agregaların yüzeyini kaplamakta, agrega taneleri arasındaki boşlukları, doldurmakta, agrega taneleri ile aderans kurarak, betonun tek bir malzeme durumunu alabilmesini sağlamaktadır. Sertleşmiş çimento hamurunun dayanımı yüksek olmadığı takdirde betona uygulanan yükler karşısında, çatlamların ve kırılmaların oluşması bu malzemeden başlamaktadır. Çimento hamurunun dayanımı, çimentonun ne ölçüde hidratasyon yapmış olmasına, ve beton yapımında kullanılan su/çimento oranına bağlıdır:

Daha çok miktarda hidratasyon sonucunda, çimento hamurunun içerisinde yer alan bağlayıcı özellikteki kalsiyum-silika-hidrat (C-S- H) jelleri daha çok olmakta, kapiler boşluk miktarı azalmaktadır. Çimento hamurunun kazandığı dayanım yüksek olmaktadır. Daha düşük su/çimento oranına sahip çimento hamurunda, daha az miktarda kapiler boşluk oranı yer almaktadır. Kapiler boşluk oranının azalması, çimento hamurunun ve buna bağlı olarak betonun daha yüksek dayanım göstermesine neden olmaktadır.

Agrega Dayanımının Beton Dayanımındaki Rolü : Beton üretiminde kullanılan agregaların sert, dayanıklı, ve temiz olmaları, mümkün olabildiği kadar reaktif silis ve reaktif karbonat içermemeleri gerekmektedir. Normal ağırlıklı beton üretiminde kullanılan agregalar genellikle çimento hamurunun dayanımından daha yüksek dayanıma sahiptirler. Ancak, beton yapımında kullanılan agregalar düşük dayanımlı ve kolayca kırılabilir türde iseler, uygulanan yükler altında betonda meydana gelecek çatlama ve kırılma, iri agrega tanelerinin kırılmasıyla başlamaktadır. Reaktif silika ve karbonat içeren agregalar zaman içerisinde çimentodaki alkali ile reaksiyona girerek genleşme kapasitesi çok yüksek olan alkali-agrega jelleri oluşturmakta ve sertleşmiş betonda çatlakların, kırılmaların yer almasına yol açmaktadır.

Çimento Hamuruyla Agreg Taneleri Arasındaki Aderansın Beton Dayanımındaki Rolü: Sertleşmiş betondaki kırılmanın başladığı en zayıf bölgeler, iri agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki yüzeylerdir. Çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki bağ, kısmen van der Waal kuvvetleri tarafından, ve kısmen de iri agrega tanelerinin yüzeyleri ile çimento hamuru arasındaki aderans tarafından oluşmaktadır.

Yüzey dokusu pütürlü agregalarla yapılan betonların eğilme ve çekme dayanımları, düzgün yüzeyli agregalarla yapılan betonlarınkinden daha fazla olabilmektedir. Betona yük uygulanmadan önce, çimento hamuru ile iri agrega tanelerinin yüzeyleri arasında çok küçük boşluklar ve çatlaklar oluşmuş ise, çimento hamuru ile agrega tanelerinin aderansı zayıf olmaktadır. Bu tür boşlukların ve çatlakların ana nedeni ise, (a) taze betonda yer alan terleme olayı, ve (b) çimento hamurunun priz alırken ve sertleşirken gösterdiği hacim değişikliğidir. Taze betonda yer alan terleme olayıyla yukarıya doğru hareket eden su, bazen iri agregaların ve donatının altında birikerek su dolu cepler oluşturmaktadır. Bu nedenle oluşan boşluklar, çimento hamuru ile iri agrega arasındaki yüzeyde aderansın azalmasına yol açmaktadır.

Çimento hamuru priz alırken ve sertleşirken doğal olarak bir miktar büzülme göstermektedir. Beton içerisindeki agrega tanelerinin elastiklik modülü çimento hamurununkinden daha yüksek olduğu için agrega taneleri, çimento hamurunun serbestçe büzülebilmesini kısıtlamaktadır. Böyle bir durumda, çimento hamuru ile agrega tanesi arasındaki yüzeyde kayma ve çekme kuvvetleri oluşmakta ve çok küçük çatlamlar yer almaktadır. Bu kuvvetlerin etkisi, iri agrega tane boyutu arttıkça daha fazla olmaktadır. Betona yük uygulanması durumunda, çimento hamurunun ve agreganın elastiklik modüllerindeki farklılıktan dolayı, çimento taneleri agrega tanelerinin arasındaki yüzeylerde oluşan kuvvetler daha da artmakta, daha büyük çatlaklara ve kırılmaya yol açılmaktadır. Çimento hamurunun dayanımını etkileyen faktörler, çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki bağı da etkilemektedir, örneğin , su/çimento oranı yüksek olan betonlarda elde edilen dayanım ve aderans daha az olmaktadır. Ayrıca, çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki bağı zayıf olmaması için, taze betonun çok iyi sıkıştırılması gerekmektedir. Çimento hamuru ile iri agrega taneleri arasında bulunabilecek boşluklar vibrasyon uygulayarak azaltılmadıkça, bu malzemelerin arasında kuvvetli bağ oluşmamaktadır. Hava sürüklenmiş betonlardaki çimento hamuru ile agrega arasındaki aderans, hava sürüklenmemiş betonlardakine göre daha zayıftır. Çimento hamuru ile iri agrega tanelerinin arasındaki aderansı etkileyen bir başka faktör de, agrega tanelerinin su emme kapasiteleridir. Kurutularak kullanılan gözenekli agregalar, çimento hamuru ile agrega tanelerinin daha iyi temasını sağlayarak daha iyi aderansa yol açmaktadırlar. Çimento hamuru ile ince agrega taneleri arasındaki

aderans, betonun kırılmasında genellikle etkili değildir. Betonda kullanılan iri agrega tanelerinin büyüklüğü arttığı takdirde agrega yüzeyinde oluşan kuvvetler de artmakta, aderansın daha zayıf olmasına yol açmaktadır [14].

4.2.2. Beton dayanımını etkileyen faktörler

Beton üretiminde kullanılan agregaların genellikle yeterli dayanımda oldukları gözönünde tutulur ise, çimento hamurunun dayanımının beton dayanımı üzerindeki rolünü daha iyi anlayabilmek mümkün olur. Çimento hamurunun yeterli dayanımda olması, bir yandan bu malzemenin yük taşıma kapasitesinin yeterli düzeyde olabilmesini sağlar iken, bir yandan da, çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansın daha kuvvetli olabilmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, çimento hamurunun dayanımının yüksek olması, çimento hamurunun içerisinde yer alan jel boşlukları dışındaki diğer boşlukların daha az miktarda yer almış olduklarını işaret etmektedir. Jel boşluklarının dışında, çimento hamurunun içerisinde yer alabilecek diğer boşluklar olarak, kapiler boşluklar, hapsolmuş hava boşlukları hava sürükleyici katkı maddeleri kullanıldığı takdirde çimento hamuru içerisinde oluşan sürüklenmiş hava kabarcıkları kastedilmektedir. (Jel boşlukları, jelin yapısında yer alan boşluklardır.) Betonun içerisinde bulunan boşluklar sadece çimento hamurunun içerisinde yer almış olan boşluklardan ibaret değildir. Taze üretimi, taşınması, ve özellikle yerleştirilmesi esnasında betonun içerisine bir miktar hava girmektedir, içerisinde çok büyük boşluklar bulunan beton, o haliyle sertleştiği takdirde, çok düşük dayanımlı bir beton olmaktadır. O bakımdan, yerine yerleştirilen taze betona vibrasyon veya başka yöntemlerle sıkıştırılma uygulanarak, taze betonun içerisindeki havanın mümkün olabildiği kadar dışarıya çıkartılması gerekmektedir. Yeterli dayanıma sahip agregaların kullanılması durumunda elde edilecek olan beton dayanımı, hem hidrasyon sonunda oluşacak jel miktarındaki artışa ve hem de betonun içerisinde yer alan boşlukların miktarındaki azalmaya bağlı olduğuna göre, beton dayanımını etkileyen faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabilmek mümkündür:

- (1) Su/çimento oranı (yani beton üretiminde kullanılan suyun ve çimentonun miktarı),
- (2) Karma suyunun kalitesi,

- (3) Çimento özellikleri,
- (4) Agregada özellikleri,
- (5) Betona uygulanan karılma, taşınma, yerleştirilme ve sıkıştırılma işlemleri, ve
- (6) Kür koşulları ve betonun yaşı.

Su/Çimento Oranının Beton Dayanımına Etkisi : Mühendislik uygulamalarında, uygun sıcaklık ve nem ortamında kür edilmiş olan betonun herhangi bir yaştaki dayanımını etkileyen iki ana faktörün geçerliliği kabul edilmektedir: Betonun üretiminde kullanılan su/çimento oranı, ve taze betonun sıkıştırılma derecesi.

Su/çimento oranı yükseldikçe, betonun içerisinde yer alan boşluk miktarı daha çok olmakta ve daha düşük beton dayanımı oluşmaktadır. Beton üretiminde kullanılan suyun ve diğer elemanların miktarlarının beton dayanımına etkileri aşağı-yukarı bir asır önce araştırılmaya başlanmıştır. Betondaki çimentonun, suyun, ve havanın miktarları ile beton dayanımı arasındaki ilişki 1896 yılında Feret tarafından şu şekilde belirtilmiştir [15]:

$$S = K (\frac{\text{ç}}{\text{ç} + s + h})^2$$

Burada,

S = Betonun dayanımı,

ç = Çimentonun hacmi,

s = Suyun hacmi,

h = Havanın hacmi, ve

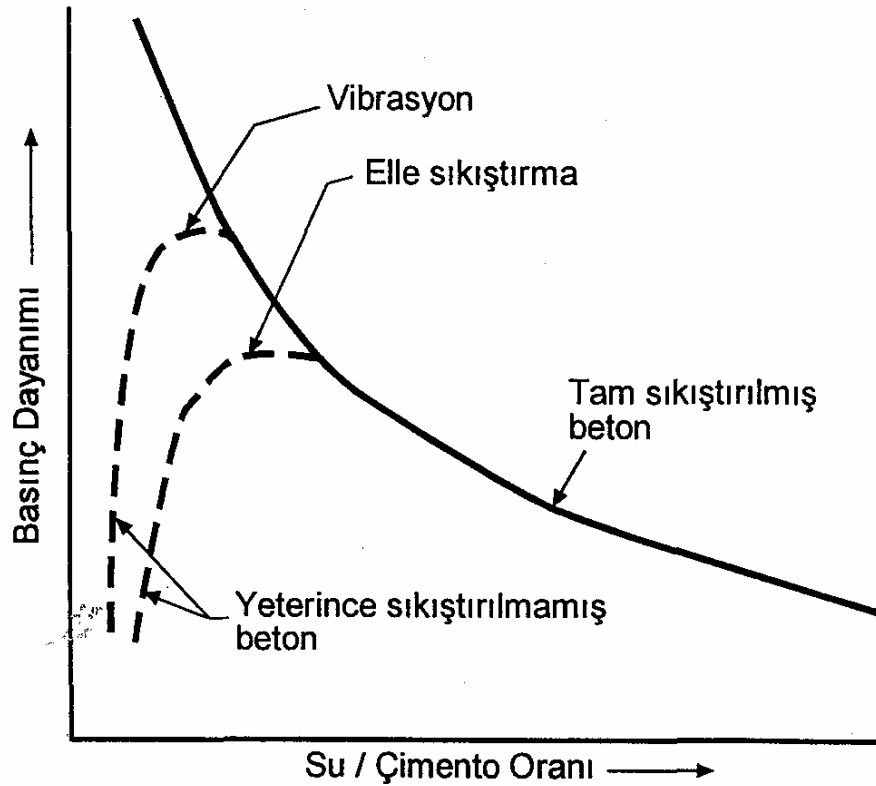
K = Sabit bir değerdir.

Beton üretiminde kullanılan su ve çimento miktarları arasındaki oranın beton dayanımına etkisine dair geniş kapsamlı deneysel çalışmalar ilk olarak Duff Abrams tarafından yürütülmüştür. Abrams' ın 1919 yılında açıkladığı bulgularında, su/çimento oranı ile dayanım arasındaki ilişki "su/çimento kanunu" olarak belirtilmekte ve şöyle ifade edilmektedir [15]:

$$S = K / K^{s/\text{ç}}$$

Bu formüldeki S = Beton dayanımı, $s/\ç$ = su/çimento oranı, ve K_1 ve K_2 = Ampirik katsayılar'dır.

Aslında, Abrams tarafından "kanun" olarak ifade edilen "su/çimento-i beton dayanımı" ilişkisinde, çimentonun ne ölçüde hidratasyon yapmış olduğu, betonun içerisinde yer alan havanın miktarı, agreganın tipi ve gradasyonu gibi, beton dayanımını etkileyen bazı faktörler içermemektedir. Buna rağmen, "su/çimento oranının artmasıyla beton [dayanımında azalma olacağı" kavramı, mühendislik uygulamalarında j bir kural durumuna gelmiştir. Su/çimento oranı ile beton dayanımı arasındaki ilişki Şekil 4.1'deki gibi gösterilmektedir [15]. Genel olarak, su/çimento oranı azaldıkça, dayanım artmaktadır. Ancak, su/çimento oranındaki azalma çok olduğu takdirde, böyle bir betonu tam olarak sıkıştırabilmek zor olduğundan, betonun içerisindeki boşluklardan tamamen kurtulunamamaktadır. O nedenle, çok düşük su/çimento değerlerine sahip olan betonların dayanımlarında, kesik çizgilerle belirtildiği gibi, düşüş olmaktadır.



Şekil 4.1 Beton dayanımı ile su/çimento oranı arasındaki ilişki

Karma Suyunun Kalitesinin Beton Dayanımına Etkisi: Beton üretiminde kullanılacak suyun içerisinde bulunabilecek yabancı maddelerin miktarları, betonun priz süresine, dayanımına, dayanıklılığına, ve betonarme yapılardaki betonların içerisinde yer alan demirin korozyonuna olumsuz etki yapabilecek kadar fazla olmamalıdır.

Çimento Özelliklerinin Beton Dayanımına Etkisi : Çimento tipini belirleyen özellikler, çimentonun kimyasal kompozisyonu, ve çimento tanelerinin öğütülmüş oldukları incelikler. Bu özellikler, çimentonun hidrasyon hızını etkilemektedir. Dolayısı ile, bu özellikler, çimento hamurunun içerisinde ne miktarda, çimento jelinin ne kadar süre içerisinde üretilebileceğini, yani, çimento hamurunun dayanım kazanma hızını ve kazanılan dayanım değerini etkilemektedir.

Agrega Özelliklerinin Beton Dayanımına Etkisi :Beton dayanımını etkileyen agrega özelliklerinin başında, agreganın gradasyonu, en büyük agrega tane boyutu, tane şekli, tanelerin yüzey dokusu, dayanımı ve agregada bulunabilecek zararlı maddelerin miktarı gelmektedir.

Agrega özelliklerinden bazıları, taze betonda elde edilmek istenen işlenebilme için gereken su miktarına (dolayısı ile su/çimento oranına) bazıları, çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansa bazıları ise, hem su/çimento oranına hem de çimento hamuru-agrega tanesi yüzeyindeki bağın ne ölçüde oluşacağına etki etmektedir.

Betonun Karılma, Taşınma, Yerleştirilme ve Sıkıştırılması İşlemlerinin Beton Dayanımına Etkileri : Beton yapımına uygun, malzemelerin uygun oranlarda biraraya getirilerek karılmaları işlemindeki süre gerekenden çok kısa veya çok uzun olmamalı üretilen taze betonda segregasyon yer almamalı, ve üniform bir beton elde edilmelidir. Karılma süresi çok kısa tutulduğu takdirde, malzemelerin üniform dağılımı sağlanamamaktadır. Karılma süresi çok uzun tutulduğunda ise, hem beton karışımının sıcaklığı yükselmekte, hem de iri agregalarda kırılmalar ufalanmalar meydana gelebilmektedir. Agregalardaki ufalanmalardan dolayı, istenilen kıvamı

elde edebilmek için daha çok suya gerek olmaktadır. Su miktarının artırılması ise, su/çimento oranının yükselmesine, beton dayanımının düşmesine yol açmaktadır. Taze betonun taşınması ve yerleştirilmesi işlemleri segregasyona neden olmayacak ve betonun üniformitesini bozmayacak tarzda yapılmalıdır. Aksi halde, beton kesitindeki farklı bölgeler farklı özellikler göstermekte ve beton dayanımı olumsuz etkilenmektedir. Yerine yerleştirilen taze betonun içerisinde ister-istemez çok büyük boşluklar bulunmaktadır. Betonun o haliyle sertleşmesi durumunda oldukça düşük beton dayanımı elde edilmektedir. O bakımdan, yerine yerleştirilen taze betona uygun tarzda sıkıştırılma (vibrasyon gibi) yöntemlerinin uygulanmasının ve betonun mümkün olabildiği kadar az boşluklu olarak yerleştirilmesinin beton dayanımı üzerinde çok büyük etkisi olmaktadır.

Kür Ortamının ve Betonun Yaşının Beton Dayanımına Etkileri : Taze betonun üretildiği ve yerleştirildiği andaki sıcaklık, yerleştirildiği andan itibaren betonun karşılaştığı nem ve sıcaklık ortamı, ve betonun uygun nem ve sıcaklık ortamında ne kadar uzunlukta tutulduğu, çimentodaki hidrasyonun ne hızda ve ne ölçüde yer alabilmiş olduğunu, dolayısı ile, betonun kazanacağı dayanımın hızını ve miktarını etkilemektedir [14].

4.2.3. Beton dayanımını etkileyen doğadaki faktörler

Dayanıklı bir beton, maruz kalacağı iklim şartlarına, yani hava şartlarına, kimyevi tesirlere, ıslanma-kurumaya, ateşe (yangına) ve aşınmaya karşı yeterli bir derecede dayanıklılık gösterebilen betondur. Betonun bu özelliklerine dayanıklılık göstermesi için agreganın sağlamlılığı, gözenekliliği, su geçirgenliliği, mineral yapısı, tane şekli, granülometrisi, yüzey pürüzlülüğü, en büyük tane boyutu, elastiklik modülü, termik genleşme katsayısı, agregada kil olup olmadığı ve agreganın temizliği gibi birçok faktörü sağlaması gerekir [2].

Hava Şartlarına Dayanıklılık: Betonun hava şartlarından dolayı parçalanıp dağılmasına sebep ısı ve rutubet değişiklikleriyle meydana gelen donma, çözülme, genişleme, büzülme olaylarıdır. Son zamanlarda dayanıklılığı artırmak amacıyla beton içerisine mikroskopik hava habbecikleri oluşturan maddeler kullanılmaktadır.

Mikroskobik hava habbecikleri betonun kılcallığını keser su geçirgenliğini önleyerek betonun donmasını engeller. Beton içerisinde % 2-6 oranında mikroskopik hava habbecikleri dağıtılırsa böyle bir beton dona karşı dayanıklılık kazanır. Bu işlen betonun basınç mukavemetinde biraz düşüklük gösterirse de beton mikroskobik hava ile dayanıklılık gibi önemli bir özellik kazandığından bu düşüklük bir kayıp olarak kabul edilemez. Dona dayanıklı beton elde etmek, su geçirgenliğini azaltıcı tedbirler almak ve sıkı bünyeli beton imal etmekle mümkündür. Sıkı bünyeli beton ise iyi granülometrilili agrega kullanmak, su/çimento oranını imkan nispetinde asgari tutmak, icabında katkı kullanmak ve betonu uygun şekilde sıkıştırmakla temin edilebilir. Katkı olarak agreganın % 5'i oranında atıl taşlar veya çimento ağırlığının %15-30'u kadar puzolan kullanılabilir. Sıcak havalarda beton yapım ve dökümünde gerekli önlemler alınmadığı durumlarda beton sertleştikten sonra soğuk hava koşullarından daha fazla etkilenecek yüzey çatlakları ve deformasyonlar meydana gelmektedir. Betona ilave edilen uçucu kül donma-çözülme direncini azaltırken sülfatın direnci arttırdığı yapılan araştırmalar sonucunda görülmektedir. Donma-çözülme etkisinde bulunan betonlarda minimum çimento dozajı $0,335 \text{ kg/dm}^3$ olmalıdır. Su emmesi az olan iri agregalı betonun donmaya karşı dayanımı yüksektir ve betonda kullanılacak agrega gözenekli olmalı bünyesinde donabilir su bulundurmamalıdır.

Kimyevi Tesirlere Karşı Mukavemet: Betonun kimyevi yollardan tahribatı birkaç sebepten olabilir. Agreganın içerisinde alkali reaksiyonu verebilecek maddeler, (opal, tridimit vs.) çimentonun alkali oksitleri ile (Na_2O , K_2O) reaksiyona girerek betonun dağılmasına neden olur. Bu olay sonunda beton yüzeyinde gelişmiş çatlaklar meydana gelir. Beton yoğurma suyunda bulunan sülfatlar beton için çok zararlıdır. Böyle suların kullanılması halinde curuf çimentoları tercih edilir.

Erozyona Karşı Dayanıklılık: Beton yüzleri akarsularda hareket eden aşındırıcı malzemelerle ve rüzgar tesiri ile aşınır. Beton bu faktörlerden hangisinin tesiri altında kalacaksa ona göre tedbir alınmalıdır. Aşınmaya dayanıklı beton yapmak için, kumdaki 200'den geçen kısım %3'den fazla olmamalıdır. Çakıl, sert ve sağlam bünyeli olmalı, gerekli işlenebilirliği temin edebilecek en küçük su/çimento oranını kullanmak ve yeterli bir basınç mukavemetini verebilecek tedbirleri almak gerekir. Ayrıca agregaların granülometreleri uygun olmalıdır.

4.2.4. Beton basınç dayanımı

Betonun en önemli mekanik özelliği basınç dayanımıdır. Bunun nedeni; beton gevrek bir malzemedir. Basit mukavemet değerleri arasında en yüksek olanı basınç, en düşük olanı çekmedir. Oranları %8 ile %14 arasındadır. Pratikte betonun hiç çekme gerilmesi olmadığı, hemen çatladığı varsayılır ve beton sadece basınca çalıştırılır. Betonun basınç dayanımı, diğer beton nitelikleriyle paralellik gösterir. Yüksek basınç dayanımlı bir beton doludur, serttir, su geçirmez, dış etkilere dayanır ve aşınmaz. TS-EN 206' ya göre betonun, basınç dayanımına göre sınıflandırılmasında, normal beton ve ağır beton için Tablo 1'de veya hafif beton için Tablo 2'de verilen sınıflar uygulanır. Sınıflandırmada, çapı 150 mm ve yüksekliği 300 mm olan silindir şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı ($f_{ck, sil}$) veya kenar uzunluğu 150 mm olan küp şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı ($f_{ck, küp}$) kullanılabilir.

Tablo 4.2 : Normal ve ağır beton için basınç dayanımı sınıfları [16]

Basınç dayanımı sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı $f_{ck, sil}$ N/mm ²	En düşük karakteristik küp dayanımı $f_{ck, küp}$ N/mm ²
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60

C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

Tablo 4.3 : Hafif beton için basınç dayanımı sınıfları [16]

Basınç dayanımı sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı $f_{ck, sil}$ N/mm ²	En düşük karakteristik küp dayanımı $f_{ck, küp}$ N/mm ²
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

Hafif Beton : Birim hacim ağırlığı (yoğunluğu) $0,70-2,00 \text{ kg/dm}^3$ arasında olan betonlara hafif beton denir. Genellikle bu betonlar atık maddeleri değerlendirmek veya yapı elemanından ses, ısı ve hafiflik özelliklerinin arandığı durumlarda yapılan betonlardır. Hafif beton kullanılmasıyla ;

- 1) Yapı elemanının öz ağırlığının azalmasıyla kesitlerde küçülme nedeniyle hacim genişmesi ve donatı ekonomisi sağlanacaktır.
- 2) Yapının ölü (zati ağırlık) yükünün azalması yanı sıra ses ve ısı özelliğinde önemli ölçüde yararlar sağlamaktadır.
- 3) Yoğunluğun azalmasından dolayı depremlerden daha az etkilenerek can ve mal kaybı daha az olacaktır.
- 4) İzolasyon için ikinci bir malzeme kullanılmayacağından dolayı ekonomi sağlayacaktır.
- 5) Yangına ve donma-çözölmeye karşı dayanımı daha fazladır. Çünkü, beton içindeki birbirinden bağımsız boşluklar su ile tamamen dolmadığından dondan dolayı meydana gelecek içsel gerilmeden çok az etkilenecektir.

Mekanik özellikleri normal betona göre düşüktür. Kalifiye insan gücü gerektirir. Kalıp sökme süresi, normal betona göre daha uzun zaman ister. Beton üretiminde kullanılan agregalar bölgeseldir.

Hafif betonlar genellikle şu şekillerde üretilirler;

1. Doğal Ve Yapay Hafif Agrega İle Üretilen Betonlar

- a- Perlit betonu ısı ve ses yalıtım amaçlıdır.
- b- Yüksek fırın cürufu ile üretilen betonlar genellikle ısı ve ses yalıtım amaçlıdır.
- c- Vermikulit betonu yarı taşıyıcı olmasına karşın genellikle ısı ve ses yalıtım amaçlıdır.
- d- Genleştirilmiş kil ve şist betonu taşıyıcı olmasına karşın genellikle ısı ve ses yalıtım amaçlıdır.
- e- Tüf, uçucu kül ve sünger taşı (ponza veya bimis taşı) betonu genellikle ısı ve ses yalıtım amaçlıdır.

f- Odun talaşı ve ahşap yonga ile üretilen betonlar genellikle ısı ve ses yalıtım amaçlıdır.

Organik kökenli bu agregalar dorudan duruya beton içinde agrega olarak kullanılmada, odun kıymığının talaşa katılması daha yaygındır. Organik kökenli agregalar selüloz, çözülebilir şeker, asit, yağ, reçine ve pek çok organik bileşim içerdiklerinden, çimentonun sertleşmesi ve döküm işlemi üzerinde kalıcı ve olumsuz etkilere sahiptirler.

2. Kimyasal Katkı Maddesi İle Üretilen Betonlar

a- Taze beton için hava sürükleyici kimyasal katkı maddesi katılarak betonun birim hacim ağırlığının 2 kg/dm^3 'ün altında bir yapıya sahip olmasıdır. Bu yöntem köpürtme yöntemi de denilir.

b- Taze beton içinde çimento ile birlikte aliminyum tozu ilavesi ile beton bünyesinde boşluklar oluşturularak elde edilmektedir.

c- Taze beton içinde hidrojen peroksil ve beyazlatma tozu ilavesi ile yine beton içinde boşluklar oluşturur.

Her üç yöntemde de elde edilen betonların birim ağırlıkları düşük , su emmeleri yüksek ve mekanik özellikleri azdır. Ses ve ısı izolasyon özelliği iyidir.

Hafif betonlar, normal betonların sakıncalı yönlerini ortadan kaldırmak amacıyla bugün sanayi ülkelerinin çoğunda hafif beton kullanılmaktadır.

Hafif betonu birim ağırlıkları ve mukavemetlerine göre üç grup altında toplamak mümkündür.

1- Yalıtım betonları; birim ağırlıkları $0,700 - 1,400 \text{ kg/dm}^3$, basınç dayanımları 100 kgf/cm^2 'den küçüktür. (10 N/mm^2)

2- Yarı taşıyıcı hafif betonlar; birim ağırlıkları $1,400- 1,600 \text{ kg/dm}^3$, basınç dayanımları 150 kgf/cm^2 civarındadır. (15 N/mm^2)

3- Taşıyıcı hafif betonlar genel olarak birim ağırlıkları $1,850 \text{ kg/dm}^3$ ve basınç dayanımları 170 kgf/cm^2 'den fazladır. (17N/mm^2)

Hafif betonlar çeşitli metotlarla üretilmektedirler; hafif agregalarla, kimyasal köpüklerle, kum kullanılmadan yalnız iri agrega ile ve kimyasal metotlarla gaz oluşturmak gibi. Bunların içinde en yaygın ve ekonomik olanı hafif agregalarla beton üretimidir. Üretildikleri hafif agrega cinsine göre isim alırlar; bina betonu, uçucu kül betonu, genleştirilmiş kil betonu ve odun talaşı betonu gibi [2].

Normal Beton: Normal doğal taneli agrega ile üretilen ve birim ağırlığı 1.800-2,800 kg/dm³ arasında değişen betonlardır. Bu betonlar önemli bir ayrıcalık özelliği istenmeyen bina inşaatlarında kullanılmaktadır. Normal yoğun agrega ile üretilmektedir. Maliyetinin ucuzluğu, yüksek dayanımı, kolay işlenebilme özelliklerinden dolayı diğer yapı malzemelerine göre daha fazla kullanılmaktadır.

Ancak bu betondan inşa edilen yapı elemanlarının birim ağırlıklarının fazla olması istenmeyen bir durumdur. Bu elemanlar kendi öz ağırlıklarını taşıya bilmeleri için oldukça fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar [2].

Ağır Betonlar: Ağır betonlar özellikle zararlı ışınlara karşı bir perde oluşturmak amacıyla kullanılan, birim ağırlıkları 2.800-5.000 kg/dm³ arasında olan betonlardır. Kullanım yerleri arasında nükleer reaktörler yani atom santralleri, hastanelerin ışın tedavisi yapılan bölümleri gösterilebilir. Ağır betonların agregaları ağırdır. Bu agregalar barit (baryum sülfat BaSO₄), limonit, magnetit vb. demirli minerallerdir. Yoğunlukları 3.200 kg/dm³'ün üstündedir. Bunlarla üretilen betonların yoğunlukları 2.800 kg/dm³'den yüksek olmaktadır. Nükleer çalışma gereği betonların içine bor tuzları katılır. Bunlar geciktirici etki yapar. Ağır agregalar mukavemet yönünden normal agregalara eşdeğerdir. Ancak aşınmaları biraz fazladır [2]. Ağır beton üretiminde şu özelliklere dikkat edilmelidir;

- 1- Betonun birim ağırlığı 2.800 – 5.000 kg/dm³ arasında olmalıdır.
- 2- Betonun homojen olmasına dikkat edilmelidir.
- 3- Çatlak meydana gelmemesi için dozaj 0.350 kg/dm³'den büyük w/ç oranı 0.50'den küçük olmalıdır.
- 4- Beton tabaka kalınlığı en fazla 25 cm olmalıdır. Sıkıştırımda yüksek frekanslı vibratörler kullanılmalıdır.

Taze betonda işlenebilirlik : Taze betonun homojenliğini kaybetmeden karıştırılabilmesi, taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve perdahlanması özelliklerine "işlenebilirlik" denir. Taze betonda işlenebilirliğin döküm boyunca korunması gerekir. İşlenebilir bir beton da vibratör kullanılarak boşluksuz yerleştirilebilir. İşlenebilirliğin ölçüsü kıvamdır.

Betonun Kıvamı: Kıvam, betonun akıcılık derecesi olarak tanımlanır. Kıvam; betonun kullanım yerine, işlenilmesine ve şantiyede döküm yerine iletim şekline (pompa, kova...) bağlı olarak özenle seçilmesi gereken bir özelliktir. Kıvam değeri sabit tutulduğu sürece su/çimento oranı kontrol edilmiş olur. Kıvam, betonun akıcılığıyla veya kendi ağırlığı altında hareket etme kabiliyetiyle ilgilidir. Taze betonun kıvamı TS EN-206-1'de ekteki şekilde sınıflandırılmaktadır.

Tablo 4.4 Slamp (çökme) sınıfları [16]

Sınıf	Slamp (Çökme), mm
S1	10 – 40
S2	50 – 90
S3	100 – 150
S4	160 – 210
S5	≥ 220

Çökme deneyi, TS EN 12350-2 'ye göre yapılmalıdır.

Tablo 4.5 Vebe sınıfları [16]

Sınıf	Vebe süresi, saniye
V0	≥ 31
V1	30 – 21
V2	20 -11
V3	10 -6
V4	5 – 3

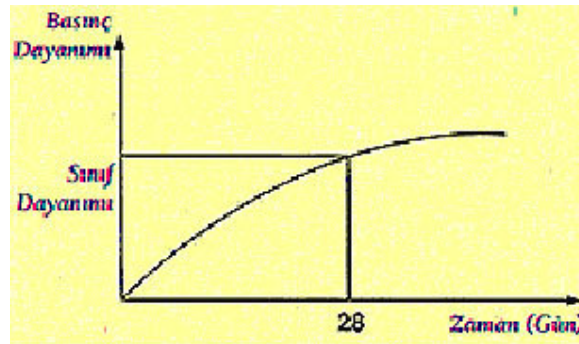
Vebe deneyi, TS EN 12350-3 'e göre yapılmalıdır.

Tablo 4.6 Yayılma sınıfları

Sınıf	Yayılma çapı, mm
F1	340
F2	350 – 410
F3	420 – 480
F4	490 – 550
F5	560 – 620
F6	630

Yayılma tablası deneyi, TS EN 12350 – 5 'e göre yapılmalıdır. Taze Beton Sıcaklığı, TS EN 206 ya göre +5° C'den az olmamalıdır. En Büyük Anma Büyüklüğü , TS EN 206 (D max.):Beton içinde kullanılacak en iri agrega dane büyüklüğünün en dar kalıp boyutu, döşeme derinliği, pas payı, en sık donatı aralığı gibi unsurlarla uyumlu biçimde seçilmesi gerekir.

Sertleşmiş betonda basınç dayanımı (mukavemet):Betonun mekanik özelliklerden en önemli ve değeri en büyük olanı basınç dayanımıdır. Bunun yanı sıra betonun tüm olumlu nitelikleri basınç dayanımı ile paralellik gösterir. Bu nedenle betonun basınç dayanımını saptamakla betonun kalitesi ve betonun sınıfı belirlenir. Betonun basınç dayanımı uygun koşullarda aşağıdaki şekildeki gibi zamanla artar.



Basınç Dayanımı - Zaman İlişkisi

Şekil 4.2 Beton basınç dayanımı ile zaman ilişkisi

Şekilden anlaşılacağı gibi yapıların dizaynında 28 günlük dayanım esas alınır.

Betonun basınç dayanımını etkileyen faktörler aşağıda belirtilmiştir.

a. Çimento tipi ve miktarı: Çimentonun cinsi ve dozajı (1 m^3 betondaki çimento ağırlığı), beton basınç dayanımını etkiler. Yüksek dayanımlı çimentoların kullanıldığı ve çimento dozajının fazla olduğu durumda, beton kalitesinin arttığı bir yere kadar doğru olmakla beraber, beton basınç dayanımını belirleyen en önemli unsur su/çimento oranıdır.

b. Karışım suyu'nun kalitesi ve miktarı: Beton üretiminde en uygun miktarlarda su kullanılmalıdır. Suyun en uygun değerden az veya fazla kullanılması beton dayanımını düşürür.

Uygulamada sıkça rastlanan hata, betonda işlenebilirliğin sağlanması için betona fazladan suyun katılmasıdır. Oysa ki betona gereğinden fazla verilen su, beton sertleştikten sonra betonun boşluklu yapıda, dolayısıyla düşük dayanımda ve dayanıklılıkta olmasına yol açar. 1 m^3 beton için ilaveten katılan her 10 lt. su beton mukavemetini yaklaşık olarak %8 olarak düşürür.

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

Dış Etkiler -Kür Koşulları: Betonun prizi ve sertleşmesi aşamasında çevre koşullarının etkisi çok büyüktür. Taze beton yeterli dayanımı kazanıncaya kadar, mümkün olduğunca yüksek nemli ortamda korumak gerekir. Taze beton için en olumsuz hava koşulları; yüksek sıcaklık, rüzgarlı ve kuru ortamlardır. Benzer şekilde sıfırın altındaki sıcaklıklarda önlem alınmaksızın beton dökümü sakıncalıdır. Taze betonun sıcaklığı +5 dereceden az olmamalıdır. Bu derecelerin altındaki sıcaklıklarda

önlem alınması gereklidir.

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

4.2.5. Betonun aşınmaya ve çarpmaya karşı mukavemeti

Yol, hava alanı, su borularında ve genel olarak döşeme kaplamalarında kullanılan beton önemli derecede aşınma etkisinde kalır. Genellikle basınç dayanımı yüksek olan betonlar aşınmaya karşı da dayanıklıdır. Betonda çimento miktarı agregaya kıyasla az olduğundan asıl aşınma etkisi agregaya gelir. Bu bakımdan beton üretiminde aşınmaya dayanıklı sert agregaların kullanılması betonun aşınmaya karşı dayanımını artırır. Aşınmaya çok dayanıklı betonlar, özel agregaların kullanılmasıyla elde edilir. Bu amaçla granit, kuvarz kökenli agregalar, demir parçacıkları, çelik tozu ve karborandum gibi yapay agregalar kullanılır. Aşınmaya karşı dayanıklı beton elde etmede, beton döküldükten sonra yüzeyinde bir terleme suyu meydana gelmiş ise bu su kayboluncaya kadar beklenmelidir. Terleme suyunun giderilmesi için beton yüzüne toz çimento serpilmesi yoluna gidilmesi çok hatalı bir davranıştır. Yüzeyde biriken suyun ortadan kaldırılması, betonun basınç ve aşınma mukavemetinin artırılması için vakum uygulanması yerinde bir harekettir. Yapılan deneyler sonunda aşınma miktarı 1,2 mm den küçük olan betonları aşınma mukavemeti çok yüksek olan ve 3 mm den fazla aşınan betonları aşınmaya karşı mukavemeti zayıf olan beton olarak niteleyebiliriz. Betonarme kazık, yol ve havaalanları gibi yerlerde beton elemanlar önemli darbe etkilerinde kalırlar. Bu gibi yerlerde kullanılan betonların çarpmaya dayanıklı olması gerekir. Basınç mukavemeti ve çekme mukavemeti büyük olan betonların çarpma mukavemeti de büyük olur. Bu nedenle beton üretiminde işi agregalar olarak çakıl yerine kırma taş kullanılmasıyla çarpmaya daha dayanıklı beton elde edilir. Kırma taşlı betonların daha fazla deformasyon yapma kabiliyetine sahip olması, betonun daha fazla enerji almasına ve çarpma dayanımının artmasına neden olur. Betonun deformasyon yapma

kabiliyetinde azalma belirli bir süreden sonra, betonun yaşı ilerledikçe çarpma dayanıklılığının azalmasına yol açar. Bu nedenle betonarme kazık ve palplanjların başları bu tür zorlama ile karşı karşıya gelmektedir. Bu husus göz önünde tutularak bunlar üretildikten sonra fazla bekletilmeden çakılmalıdır [2].

4.2.6. Permeabilite (Geçirimsizlik)

Betonun geçirgenliği, beton içerisindeki boşluklar ile çimento hamuru agrega ara yüzeyindeki mikro çatlakların bir fonksiyonudur. Su yapılarında betonun su geçirgenliğinin az veya hiç olmaması çok önemlidir. Betonun su geçirgen bir yapıda olması önemli bir su kaybına neden olduğu gibi, donma-çözülmeden de çok etkilenmektedir. Geçirimsizlik boşluklu bir ortamda laminer bir akımla sıvının hareket etmesi sonunda meydana gelen bir olaydır. Betonlardaki porozite, boşluklarının iç boyutlarının değişik olması, bunların ani olarak değişmesi, boşluk iç yüzeylerinin pürüzlülüğü, dolambaçlılık, geçirimsizliği önemli ölçüde etkileyen belli başlı faktörlerdir. Betonun boşluğunun büyük olması geçirimsizliğin büyük değerler olmasına neden olur. Çimentonun hidrasyon hızının yüksek olması halinde geçirimsizlik küçük değerler alabilir. Hidrasyonun zamanla gelişmesi geçirimsizliğin zamanla azalmasına yol açar. Betonun dayanıklılık problemleri betonun geçirimsizliği ile başlar. Betonun geçirimsiz olması durumunda birçok dayanıklılık problemine yol açan su ve zararlı sıvılar beton içerisine nüfuz edemez. Yani geçirimsiz ya da geçirgenliği çok düşük olan betonlarda don olayı veya betonu kimyasal olarak parçalayan reaksiyonlar görülmez. Kılcal su geçirimsizliği (kapilarite) daha çok bina cephelerinde, zemin suyunun yerçekimine rağmen ince kılcal boşluklardan yükselmesi şeklinde görülür. Sıva ve beton yüzeylerde çiçeklenme adı verilen tuz birikmesi olayı kapilarite olayı nedeniyle gelişir [2].

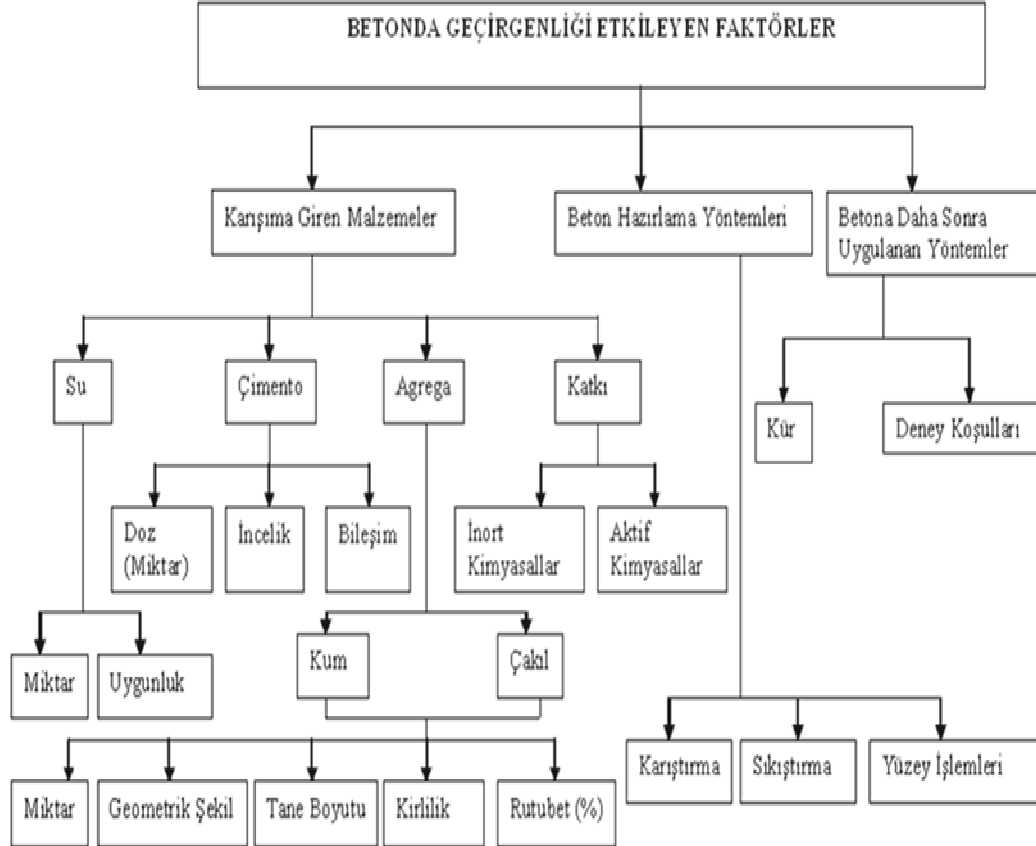
Betonda geçirgenliği azaltabilmek için şu önlemlerin alınması gerekir;

Agrega maksimum tane çapını küçük seçmek ve granülometrisi düzgün (ya da düzeltilmiş) agrega kullanmak,

Karma suyu miktarını optimum miktarda kullanmak,

Betonu en yüksek kompasitede (sıklıkta) yerleştirmek,

Optimum çimento dozajının altında çimento kullanmamak, öğütülme inceliği ve kohezyonu yüksek çimentolar kullanmak,
 Betonun mümkün olduğu kadar fazla kullanmak,
 Geçirimsizliği sağlayan beton katkıları kullanmak.



Şekil 4.3. Betonda geçirgenliği etkileyen faktörlerin şematik olarak gösterilmesi

4.3. Durabilite (Dayanıklılık)

Değişik türdeki yapılarda kullanılmakta olan beton, hizmet süresi boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok kimyasal ve/veya fiziksel etkenle karşılaşmaktadır. Bu etkenler, doğa koşullarından, ve/veya betonun kullanıldığı ortamdan, ve/veya betondaki alkalilerle reaktif agregalar arasındaki reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır. Betonun içerisine sızan su, karbon dioksit, oksijen, sülfat, asit, ve klor gibi maddeler, betonda değişik türlerdeki kimyasal olayların yer almasına neden olmaktadır. Betonun içerisindeki alkalilerle reaktif agregalar arasında gelişen

ve sertleşmiş betonun genişerek yıpranmasına yol açan reaksiyonlar da kimyasal olaylar sonucunda yer almaktadır. İslanma - kuruma, donma - çözülme, ısınma - soğuma, ve aşınma gibi olaylar betonun yıpranmasına yol açacak nitelikteki fiziksel olaylardır.

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

Bilindiği gibi, yapıların tasarımında, betonun hedeflenen dayanımdan daha düşük dayanıma sahip olmaması istenmektedir. Ancak, betonun, hizmet gördüğü süre boyunca karşılaştığı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında yeterli direnci gösterebilmesi, yani, yeterince dayanıklı olması, en az, betonun dayanımı kadar, hatta çoğu zaman beton dayanımından daha da önemlidir [17,18,19,20].

Beton dayanıklılığı, "hava koşullarından, sülfatlı veya asitli sulardan, ve/veya betonun kullanıldığı ortam koşullarından kaynaklanan yıpratıcı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında, betonun hizmet süresi boyunca gösterebileceği direnme kabiliyeti" olarak tanımlanmaktadır.

Dayanıklılık, "durabilite" veya "kalıcılık" olarak da adlandırılmaktadır [14].

4.3.1. Durabiliteye etki eden fiziksel faktörler

Betonun bozulmasına neden olan fiziksel ve mekanik etkenler iki ana grupta toplanabilir; yüzey aşınması nedeniyle betonda kütle kaybına sebep olanlar ve betonda çatlama gibi hasarlara yol açanlar. Aşınma, erozyon ve kavitasyon (oyulma) olayları ilk grupta incelenirken, ısınma-kuruma, boy ve hacim değişimleri, donma-çözülme, aşırı yüklenme, yüksek sıcaklıkların ve sıcaklık değişimlerinin etkileri ikinci grupta yer alır. Uygulamada beton, fiziksel ve kimyasal birçok etkiye tekrarlı olarak maruz kalabilmekte ve bu etkiler bir diğerinin gelişimini hızlandırabilmektedir. Örneğin, fiziksel etkilerle betonun çatlama geçirirliliğinin artmasına yol açarak

betonun kimyasal nedenlerle bozulmasını kolaylaştırabilmektedir. Benzer şekilde betonun kimyasal süreçlerle bozulması sonucu gözenekliliğinin artması, aşınma gibi fiziksel etkilere dayanıklılığını büyük ölçüde azaltabilmektedir. Betonu yıpratıcı fiziksel ve mekanik etkiler:

Aşınma

Erozyon

Kavitasyon (oyulma)

Donma-çözülme

Buz çözücü tuzlar

Yüksek sıcaklıklar ve yangın

Deniz suyu

Boy ve Hacim Değişimleri

Aşırı yükleme

Tekrarlı yükleme sonucu yorulma

4.3.1.1. Aşınma erozyon ve kavitasyon

Abrasif aşınma beton yüzeylerin (döşeme, zemin betonu, basamak, yol betonu, vb.) kuru sürtünme etkisi ile zamanla artan kütle kaybıdır. Aşındırıcı etki; yaya trafiğinden, araç tekerleklerinden, iş makinesi paletlerinden veya ağır cisimlerin sürüklenmesi gibi etkenlerden kaynaklanır.

Erozyon ise içinde askı halinde parçacıklar bulunan sıvıların özellikle yüksek hızlarda beton yüzeyini çizerek yine abrasif yolla aşındırmasıdır. Bu olaya daha çok su yapılarında ve beton borularda rastlanır. Etkinin şiddeti katı tanelerin miktarı, şekli, sertliği ve suyun akış hızına bağlıdır. Katı tanelerin miktarlarının ve büyüklüklerinin az olması, suyun akış hızının 1.8 m/s değerini aşmaması halinde erozyonun ihmal edilebilir mertebelerde kaldığı ifade edilmektedir. Bunlara ek olarak özellikle deniz yapılarında; gemilerin, buz parçacıklarının, yüzen cisimlerin, dalgaların çarpması sonucu oluşan darbe etkisi de betonda önemli hasarlara yol açar. Kavitasyon, su yapılarında rastlanan oyulma olayıdır. Suyun hızla aktığı su yapılarında yüzey geometrisinde herhangi bir değişiklik akımın sürekliliğini bozup,

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

Genelde basınç dayanımı yüksek olan betonun aşınmaya karşı da dayanıklılığı yüksektir. Ancak beton sınıfı tek parametre olmayıp, yüzeyin aşınmaya karşı dayanıklılığı bazı önlemlerin alınması ile artırılabilir. C30 ve üzerindeki bir beton sınıfının tercih edilmesi, çok şiddetli etki durumunda ise beton sınıfının C40 ve üzerinde olması tavsiye edilir. Betonun aşınma dayanıklılığı, beton yüzeyinin birkaç mm derinliğindeki çimento matrisinin boşluk yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda aşağıdaki önlemlerin bazılarına başvurulması yararlıdır:

- a) Taze betonda segregasyon (ayırışma) olayının önlenmesi
- b) Taze betonda terleme olayının engellenmesi
- c) En düşük su/çimento oranı ve aşınmaya dayanıklı ince ve kaba agrega ile çalışmak. (Kaba agrega çimento harcı ile kaplandığından ince agreganın da aşınmaya dayanıklı olması gerekir.)
- d) İri agreganın darbe etkisi ile harçtan sıyırılmasını, kopmasını önlemek üzere iri agrega çimento temas yüzeyinin(arayeri) kuvvetli olmasını sağlayacak önlemler alınması.
- e) Beton yüzeyinin perdelama işleminin zamanında ve düzgün yapılması ve bu işlem sırasında en az miktarda su kullanılması.
- f) Kür işlemlerinin eksiksiz ve zamanında yapılması

- g) Yüzey bölgesinde aşınmaya dayanıklı özel agrega (kuvarz, karborandum, vb.) veya çelik lif kullanılması. (Silis kökenli aşınmaya dayanıklı ince agreganın kullanılması durumunda aktif silis içermemesine dikkat edilmelidir.)
- h) Yüzeyin sürtünme katsayısını azaltıcı ve/veya sertleştirici katkı malzemesi veya boya kullanılması.
- i) Polimer emdirilmiş beton üretimi
- j) Vakumlu beton üretimi

Yukarıda sıralanan önlemlerden bazılarının bir arada kullanımıyla daha başarılı sonuçlar alınması beklenir. Bunların yanısıra özellikle su yapılarının projelendirilmesinde alınacak önlemlerle oyulma ve aşınma olaylarını azaltmak olanaklıdır. Suyun akış düzgünlüğünü bozacak ve hızının aniden değişmesine yol açacak uygulamalardan kaçınılmalıdır [20].

4.3.1.2. Donma – çözülme etkisi

Beton sıcaklığı yeterince düşük olduğunda, kapiler boşluklarda bulunan su donmaktadır. Betonun içerisindeki suların tümü, açığıdaki su gibi 0 °C sıcaklıkta donmamaktadır. Betondaki sularda eriyik olarak yer alabilen değişik tuzların etkisiyle, bu sular, 0 °C sıcaklıktan biraz daha düşük sıcaklıklarda donmaktadırlar. Ayrıca, suların bulunduğu boşluk çapı, donma sıcaklığını etkileyen önemli bir faktör durumundadır. Büyük kapiler boşluklarda yer alan su, 0 °C veya biraz daha düşük sıcaklıkta donarken, çok küçük kapiler boşluklarda su, -15 °C veya -20 °C gibi sıcaklıklarda donmaktadır. Jel boşlukları çok küçük olduğu için, bu boşluklardaki sular çok daha düşük sıcaklıkta (-78 °C'ta) donmaktadır. Kısacası, betonun içerisindeki suların donma noktası olarak belirtilebilecek tek bir değer yoktur.

Buza dönüşen suyun hacmi %9 kadar artmaktadır. Düşük sıcaklıklarda, betonun içerisindeki su yavaş yavaş donmaya başlamaktadır; yani, donma olayı aniden yer almamaktadır. Kapiler boşluklar tamamen veya %91'den daha çok suyla dolu durumda olduklarında, donmanın başlaması ve suyun bir miktarının buz haline dönüşmesiyle, ortaya çıkan hacim genişmesi, boşluklardaki henüz donmamış durumdaki su üzerinde hidrolik basınç yaratmaktadır; henüz donmamış durumdaki

su, boşluklardan dışarıya itilmektedir. Boşluklardan dışarıya çıkmaya zorlanan su, boşlukların etrafındaki çimento hamurunun çatlamasına yol açacak büyüklükte gerilmeler yaratmaktadır. Betondaki sıcaklığın artması ile, beton soğukken oluşmuş olan buzlar çözülmekte, böylece, betonun içerisindeki gerilme ortadan kalkmış olmaktadır. Ancak, bir başka zamanda yer alan soğuma karşısında aynı olaylar tekrar etmektedir. Kapiler boşluklarda henüz tamamen donmamış durumdaki suyun gösterdiği hidrolik basıncın artmasına katkısı olan iki olay daha bulunmaktadır:

(1) Jel boşluklarındaki su ile buz arasındaki termodinamik dengesizlik, jel suyunun bir miktarının kapiler boşluklara yönelerek donmasına, böylece, hidrolik basıncın artmasına neden olmaktadır.

(2) Kapiler boşluklardaki saf suyun dışarı çıkması sonucunda, geriye kalan sudaki tuz ve benzeri maddelerin konsantrasyonu artmakta, osmotik basınç artmaktadır. Donma-çözülme olayı, fiziksel bir etkidir. Islanarak doymuş duruma gelen ve donma-çözülme devirlerine maruz kalan bütün betonlar kısa sürede hasar görmektedirler. Park alanlarında, hava alanlarında, kaldırımlarda, yollarda kullanılan betonlar, bu tür hasara maruz kalabilecek betonlardır. Tekrar tekrar yer alan donma-çözülme olayları karşısında, betondaki iç gerilmeler nedeniyle, beton yüzeyindeki agregalar gevşeyip kopmakta, betonun içerisinde çatlaklar oluşmakta, ve bu çatlaklar giderek daha büyük çatlaklar haline gelmektedirler. Şiddetli ortamda çok sayıda donma-çözülme olaylarına maruz kalan en iyi betonlar dahi en çok bir-iki yıl içerisinde büyük hasar görebilmektedir.

Donma-Çözülme Dayanıklılığı Sağlamak İçin Hava Sürüklenmiş Beton Kullanımı : Betonun donma-çözülme olayları karşısında yeterli dayanıklılığı gösterebilmesi için, mutlaka "hava sürüklenmiş beton" olarak üretilmesi gerekmektedir. Hava sürüklenmiş beton, genellikle, hava sürükleyici katkı maddelerinin yardımıyla üretilmektedir. Karışım suyunun içerisine hava sürükleyici katkı konulmasıyla elde edilen betonların çimento hamurlarında 0.05 - 1.25 mm çaplı ve küresel şekilli milyonlarca hava kabarcığı oluşturulmaktadır. Birbirleriyle bağlantılı olmayan bu boşluklar arasındaki mesafenin en çok 0.2 mm olması istenmektedir. Hava sürüklenmiş betonlardaki toplam hava miktarı %4 - %8 arasında değişebilmektedir.

Hava sürüklenmiş betonların donma-çözülme olayına daha dayanıklı olmalarının nedeni, hidrolik basınçla kapiler boşlukların dışarısına itilen suyun bu boşluklara girebilmesi, böylece, betondaki iç gerilmeyi azaltması olarak açıklanmaktadır.

Sürüklenmiş Havanın Betonun Dayanıklılığı Dışındaki Diğer Özelliklerine Etkisi: Sürüklenmiş hava kabarcıkları oluşturulmasının en büyük amacının betonun donma-çözülme dayanıklılığını artırmak olmasının yanısıra, bu tür hava kabarcıkları, taze betonun işlenebilmesini artırmakta, terlemesini azaltmaktadır. Öte yandan, sürüklenmiş hava, içeren betonların dayanımlarında bir miktar azalma olabilmektedir, Ancak , sürüklenmiş hava kabarcıkları taze betonun işlenebilmesini artırdığı için belirli bir işlenebilmeyi gösterebilecek betonun daha düşük su/çimento oranı ile üretilmesi, böylece, dayanım kaybının telafisi mümkün olabilmektedir. Ayrıca daha düşük su/çimento oranının kullanılması sonucunda üretilen betonların su geçirimsizliği daha az olmakta, genel olarak, dayanıklılığı artmaktadır [14].

4.3.1.3. Karayollarında kar ve buz mücadelesinde kullanılan tuzun beton asfalt kaplamaya etkisi

Soğuk iklimlerde yolların buz tutmaması için yapılan tuzlama işlemleri sırasında, kullanılan tuzların bazıları betonun üst tabakaları tarafından emilir. Bu da yüksek bir osmotik basınç yaratarak donmanın başladığı en soğuk bölgeye su akımının başlamasına yol açar. Bu olay sonucu betonun donma-çözülme olayından gördüğü zararın boyutu artar. Buz çözücü olarak, en çok NaCl ve CaCl₂ kullanılmaktadır. Bazen üre (NH₂CO.NH₂) bu amaçla tüketilir. Üre betona NaCl ve CaCl₂ kadar zarar vermez ancak buz çözücü etkisi de diğerleri kadar güçlü değildir. Amonyum tuzları ise düşük yoğunluklarda bile zararlı olduklarından kullanılmamaları önerilir. Tuzların ve bu amaçla kullanılan bazı kimyasalların buz çözücü etkisi, suyun donma noktasını düşürmeleridir. Belirli miktarda buz çözmek için en uygun tuz eriyiği miktarlarının saptanması gerekir. Fazla ,atılan tuzun yararı olmadığı gibi zararı da vardır.Buz tabakası üzerine atılan tuzlar, buzun çözülmesi nedeniyle yüzeyde önemli bir termal şok oluşmasına yol açarlar. Beton yüzeyindeki ve iç bünyesindeki sıcaklık farklılığından kaynaklanan gerilmeler nedeniyle yüzeyde çatlaklar meydana gelir. Tuzların, boşluk çapları küçüldükçe beton içinde ilerlemelerinin güçleşir. Böylece

buz çözücü tuza maruz betonda, boşluk çaplarına bağlı olarak donma derecelerinde görülen farklılık azalmaktadır. Beton yüzeyinden derinlere inildikçe beton sıcaklığının ve buz çözücü tuzların miktarlarının değişken olması, beton tabakalarının farklı zamanlarda donup çözülmesine yol açar. Bu durumda betonda kabuk halinde soyulmalar ve dökülmeler görülebilmektedir. Buz çözücü tuzların beton üzerindeki olumsuz etkileri yalnızca donma-çözülme olayının şiddetini artırmaları ile sınırlı değildir. Aynı zamanda betonarme donatısında klorür korozyonuna yol açarlar [20].

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

gradasyonlu karışımlarda ise kaplama soğuk havalarda esnekliğini kaybetmekte ve büzülme çatlakları meydana gelmektedir. Hem kusmayı önlemek hem de esnekliği kaybetmemek için BSK tasarımında aşınma tabakası için %3 – 5, binder tabakası için % 4 – 6 boşluk oranı elde edilmeye çalışılmaktadır. Hamad %4 ve %6 boşluk oranında hazırladığı numuneleri kirli ve temiz sularda %50 ve %100 doygun hale getirip, çekme gerilmelerini, rijitlik modüllerini ve yorulma ömürlerini incelemiştir. Sonuçta bu özelliklerin doygunluk derecesinin artması ile düştüğünü ve kirli suda bu düşüşün daha fazla olduğunu tespit etmiştir. Deniz kıyısındaki yollar ve kış mevsiminde don etkisini azaltmak ve önlemek amacıyla tuzlanan yollar, kaplamanın içine nüfuz eden su ve tuza maruzdurlar. Yollarda kar ve buz mücadelesinde kullanılan kimyasallar, kar ve buzu eriterek yol yüzeyinde bir çözelti oluştururlar. Bu çözeltilerin, kaplamanın geçirgenlik özelliğinden dolayı esnek kaplamalar üzerinde çeşitli etkileri olabilmektedir.

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

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

CMA: İçme suyu, beton ve bitkiler açısından en güvenli buz eritici kimyasaldır. Korozif değildir. Yağıştan önce uygulanması buzun yüzeye yapışmasını etkili bir biçimde önlemektedir. CMA'nın yol yüzeyini kaplaması nem riskini ve yüzey

hasarlarını azaltmaktadır. Çok düşük sıcaklıklarda etkili değildir. Kaya tuzuna göre 30 kat daha pahalıdır. David , Ontario’da yaptığı çalışmasında CMA’nın daha fazla kullanılması durumunda buzdan erimiş pürüzsüz bir yüzey oluşturmada tuz ile kıyaslanabilir olduğunu tespit etmiştir. Bu çalışmada CMA’nın daha uzun fırtınalarda nispeten daha etkili olduğu, performansının tuza göre sıcaklık , nemlilik, uygulama zamanı ve trafik hacminden daha fazla etkilendiği ve CMA’nın ıslatılması ya da çözeltisinin kum ile karıştırılmasının özellikle kuru, soğuk ve rüzgarlı havalarda performansını iyileştirdiği belirtilmektedir.

NaCl: Dünyadaki rezervlerinin fazla olması, depolama ve uygulama kolaylığı nedeniyle kar ve buz mücadelesinde en çok kullanılan kimyasaldır. NaCl -10 oC sıcaklığa kadar pratik bir şekilde kullanılabilir. Eritme özelliği bakımından uzun sürede en fazla etkiye sahiptir. NaCl ve CaCl₂ 2:1 ve 1:1 oranlarında karıştırılarak kullanılabilir. Bu şekilde CaCl₂’ün çok düşük sıcaklıklarda etkili olmasından, NaCl’ün ise ucuz olması özelliğinden faydalanılmaktadır. NaCl, likit CaCl₂ ile çözelti haline getirilerek kullanılması durumunda reaksiyon zamanı artmakta ve daha düşük sıcaklıklarda etkili olmaktadır. NaCl’ün gerek CaCl₂ ile gerekse su ile önceden ıslatılması, bu kimyasalın yol yüzeyine yapışıp trafik etkisi ile yoldan uzaklaşmamasını temin eder. Gustafson yaptığı çalışmasında, NaCl’e karşı ekonomik bir alternatifin olmadığını belirtmiştir.

Tapio Fillandiya’da yaptığı çalışmasında buz kontrol işleminde arazi çalışmalarını test etmiştir. Bu çalışmada %23 ve %25’lik NaCl kullanılmıştır. Sobo 20 metodu ile uygulamadan sonra yol üstünde kalan kalıntıların daha ne kadar etkili olabileceğini araştırmıştır. Ayrıca test likit NaCl ve CaCl₂ nin karıştırılması ile de yapılmıştır. Farklı serpme hızlarında ve farklı oranlarda ıslatılmış tuz ile çalışılmıştır. Yol yüzeyinde kalan kalıntı hususunda NaCl ve CaCl₂ nin ne kadar iyi oldukları arasında bir fark oluşmamıştır. Tuz kalıntıları ilk 200 taşıttan sonra eksilmiştir. Dağıtma araçlarının 30-40 km/sa hızla 5-7 m arasındaki bir genişlikte dağıtma yaptıkları zaman en iyi sonucun elde edildiğini belirtmiştir. Public Road Administration (PRA) Norveç’te tuzlu suyun kullanılabilirliğini araştırmak için bir çalışma yapmıştır. Tuzlu su, acil reaksiyon oluşturması, uygulama hızının artması, tuz miktarının azaltılması, temizlenmiş yolda hızlı bir kuruma sağlaması açısından incelenmiştir. Tuzlu su uygulamasının, don ihtimalinden önce ve ince buz tabakaları üzerinde etkili olduğu

sonucuna varılmıştır. Genel olarak buz çözücü kimyasallar suyun donma noktasını düşürmektedir. Yağıştan önce kimyasalların uygulanması bu açıdan çok daha etkili olmaktadır. Eritme işleminde CaCl_2 ısı üretirken NaCl havadan ve buz tabakasının altındaki kaplamadan ısı alır. Sonuçta kaplamanın ısısı daha düşük olur. Erime ardından tekrar buz oluşması ve bunu eritmek için tekrar tuz uygulanması, donma çözülme etkilerinden dolayı kaplamada ek gerilmeler oluşturur.

İngiltere’de yoğunluğu yaklaşık $0,06 \text{ gr/cm}^3$ olan taze karın 1 cm kalınlığı ve 0 oC ’nin altındaki her derecesi için m^2 ’ye 5 gr tuz dökülür. Fransa’da bu miktar $P=16.t.r$ formülüyle hesaplanır. P : gr/m^2 olarak gerekli tuz miktarı, t : 0oC altındaki yerin ısısı, r : kg/m^2 olarak kar ağırlığıdır. 3 cm kalınlığındaki 1 m^2 karı eritmek için İngilizlere göre 75 Fransızlara göre 144 gr tuz gerekmektedir. Ülkemizde taze karı eritmek için m^2 ’ye 5 gr tuz dökülmektedir. NaCl yolda buzlanmayı önleyici olarak $15\text{-}20 \text{ gr/m}^2$ oranında kullanılır. Buz teşekkül ettiği zaman eşit zaman aralıkları ile bu miktar 4 defa uygulanır. Sonuç olarak genel ve yaygın bir anlayış, buz çözücü olarak kullanılan tuzların beton asfalt kaplamaya zarar vermediği, tuzun sadece çevreye, korozif özelliğinden dolayı da araçların metal aksamalarına zarar verdiği şeklindedir. Fakat beton asfalt kaplamanın geçirgenliğine bağlı olarak içine nüfuz eden tuzlu çözelti, kaplamanın özelliğini etkileyebilmektedir. Bu çalışmada $\%2,5$ tuzlu çözeltiliye maruz beton asfalt kaplamaların rijitlik modülünün $\%35$, yorulma dayanımlarının $\%41$ düştüğü tespit edilmiştir. Numunelerin $\%1\text{-}1,5$ tuzlu çözeltili içerisinde rijitlikleri, temiz suda bekleyen numunelere göre artmıştır. Bitümlü sıcak karışımlarda düşük rijitlik ne kadar istenmez ise yüksek rijitlik de o kadar zararlıdır. Sertleşme, bitümlü karışımların gerilmelere maruz kaldığı durumda esnek davranış göstermemesine ve kaplamada çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Kaplamanın tuz etkisi ile sertleşmesi, kış mevsiminde kaplamanın esnekliğini kaybetmesi sonucunda oluşan düşük ısı çatlaklarının etkisini artıracaktır. Bu şekildeki her tuzlamadan sonra oluşan sertleşme periyotları kaplamada ek gerilmeler oluşturacaktır. Trafik kazaları ve dolayısıyla insan hayatı ve ekonomik kayıplar düşünüldüğünde, yolların tuzlanmasından vazgeçilemez. Kaplamanın içine tuzlu çözeltilinin girmesine engel olmak amacıyla kaplama üzerinde geçirimsizliği sağlayacak bir uygulama faydalı olacaktır [21].

4.3.1.4. Etbalık kurumlarındaki tuzlamanın etkisi

Etbalık kurumlarında etleri, hayvan derilerini v.s. koruma amaçlı yapılan tuzlamanın kalebodur gibi betondan ayırıcı malzemelerin olmadığı direkt betona temas ettiği yüzeylere koyulduğu zaman önce beton yüzeyine daha sonra da derinlemesine tahrip ettiği aynı zamanda demir donatı ve çelik profillerinin de korozyona uğramasına yol açtığı 30-35 yıldır temas süreci geçiren beton zemin ve panoların Sakarya Etbalık kurumunda çekilen aşağıdaki fotoğraflarda gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Tuz etkilerine maruz kalmış kolon



Şekil 4.5. Hayvan derilerinin tuzlanarak üstüne koyulduğu betonarme palet



Şekil 4.6. Hayvan derilerinin tuzlanarak üstüne koyulduğu betonarme palet yakın görünüm



Şekil 4.7. Çelik profil kapı kasalarının tuza birebir maruz kalması durumu



Şekil 4.8. Çelik profil kapı kasalarının tuza birebir maruz kalması durumu yakın görünüm

4.3.1.5. Yüksek sıcaklık ve yangın etkisi

Beton bir çok yapı malzemesine kıyasla yüksek sıcaklık ve yangın etkisine karşı daha dayanıklı bir malzemedir. Yüksek sıcaklık altındaki beton belirli bir süre için önemli bir zarar görmez ve zehirleyici gaz veya duman çıkarmaz. Ayrıca betonarme yapılarda, termik iletkenlik katsayısının nispeten düşük olması nedeniyle, beton donatı çeliğini yüksek sıcaklığa karşı korur. Ancak bu dayanıklılık sınırlı süreler ve belirli sıcaklık dereceleri için geçerlidir. Beton elemanlar servis ömürleri boyunca, uzun süreli olarak farklı sıcaklık koşullarında kalırlar. Bazı elemanlar işlevleri gereği (baca, vb.) bu etki altındadır. Ayrıca açıkta kalan hiperstatik betonarme elemanlarda güneş enerjisinin bile önemli mertebelerde iç gerilmeler doğurduğu kanıtlanmıştır. Yapı elemanının betonarme hesaplarda öngörülmeyen bu tür gerilmeler altında çatlamaması, deforme olmaması istenir. Yangın, katı, sıvı ve/veya gaz halindeki maddelerin kontrol dışı yanması ile meydana gelen bir olaydır. İnsanlık tarihine bakıldığında, kontrol altında tutulamayan ateşin çoğu zaman önemli can ve mal kayıplarına yol açan bir felaket olduğu görülür. Bu durum, yangından korunmada aktif önlemlerin (yangın söndürücüleri, uyarı sistemleri vb) ve pasif önlemlerin (yangına dayanıklı ve yangından koruyucu yapı malzemeleri) önemini ortaya çıkarmıştır. Günümüzde, birçok ülkenin yangından korunma yönetmelikleri bulunmaktadır. Bu yönetmelikler bir binada bütün eleman ve bileşenlerin fonksiyonlarına, konum ve taşıyıcı olup olmadıklarına bakılmaksızın belirli bir süre yangına ve onun etkilerine direnç göstermelerini, büyük ölçüde; duman ve zehirli gaz çıkarmamalarını zorunlu kılmaktadır. Beton ve çelik yangınlık açısından yapılan sınıflandırmalarda Al sınıfı hiç yanmaz malzemeler grubuna girerler. Ancak bu malzemeler alev alıp yanmasalar da yangın esnasında oluşan yüksek sıcaklığın etkisiyle zarar görürler ve New York'taki Dünya Ticaret Merkezi Binaların çökmesi olayında olduğu gibi çok sayıda can kaybına yol açabilirler. Hasarın mertebesi bir çok faktöre bağlıdır. En önemli iki faktör ise yangın sırasında ulaşılan sıcaklık derecesi ve malzemenin bu sıcaklığa maruz kalma süresidir. Betonun termal özellikleri termik iletkenlik katsayısı, termik genleşme katsayısı, termik difüzyon katsayısı ve özgül ısı değeri ile tanımlanır. Termik iletkenlik katsayısı betonun ısı geçirimsizliği hakkında fikir verirken, termik genleşme katsayısı sıcaklık seviyesinin artışına bağlı olarak yapacağı genleşmeyi gösterir. Betonun termik difüzyon katsayısı

sıcaklığın beton kütlesi içindeki değişim hızını ifade ederken, özgül ısı betonun ısı kapasitesini gösterir. Betonarmeyi oluşturan malzemelerin bu özelliklerinin birbirine yakın olması istenir. Örneğin, iyi bir şans eseri çeliğin ve betonun termik genleşme katsayıları birbirine yakındır ($1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$). Ancak çeliğin termik genleşme katsayısının sıcaklığın artmasına bağlı olarak arttığını da belirtmekte fayda vardır. Benzer şekilde çimento harcı ile iri agreganın termal özelliklerinin birbirin yakın olması istenir. Böylece sıcaklık nedeniyle oluşacak farklı uzamaların en alt düzeyde kalması ve betonarme eleman içinde parazit gerilmeler oluşmaması sağlanmış olur. Genelde beton belirli sıcaklık derecelerine ($\sim 250^\circ\text{C}$) belirli sürelerde dayanabilmektedir. Betonarme yapı elemanın yüksek sıcaklığa dayanıklılığını etkileyen parametreler ise, pas payı tabakasının kalınlığı, alevin içeriye sızmasına karşı direnci ve ısı transferine karşı direncidir. Elemanın yük taşıma kapasitesi ve yükleme seviyesi de önemli faktörlerdir [20].

4.3.1.6. Deniz suyu etkisi

Deniz sularında değişik türlerde ve miktarlarda tuzlar yer almaktadır. Deniz sularındaki sülfatların sertleşmiş betonun içerisine girmesi ile oluşan reaksiyonlar deniz sularının içerisindeki sülfatların betonda yarattığı yıpratıcı etki, topraktaki ve yeraltı sularının içerisindeki sülfatların etkisi kadar şiddetli olmamaktadır. Deniz sularının içerisinde klorür iyonunun bulunuyor olması, sülfat reaksiyonları sonucunda ortaya çıkan ürünlerin daha az genleşme yaratmasına neden olmaktadır. Zira, klorür, sülfat hücumu sonunda betonun içerisinde oluşan alçıtaşının ve etrenjitin bir miktarının çözünerek, betonun yüzeyine çıkmasına yol açmaktadırlar. Böylece, alçıtaşının ve etrenjitin, sertleşmiş betonun içerisinde genleşme-yaratıcı etkileri birazcık azalmış olmaktadır. Deniz suyu etkisine maruz kalan betonlar, sülfat hücumunun yanısıra, gözeneklerinde çökelen (biriken) tuz kristallerinin yarattığı basınç nedeniyle de genişip, yaranabilmektedirler. Sertleşmiş betonun gözeneklerinde tuz birikmesi, betonun içerisine giren deniz suyunun kapiler hareketle yukarı çıkması ve buharlaşması sonucunda oluşmaktadır. Bu olay, betonun, su seviyesi üzerinde kalan bölgelerinde gelişmektedir. Deniz sularının gel-git hareketiyle yükselip alçalması sonucunda beton yüzeyinin bir bölümü, ıslanma-kuruma devirlerinin etkisinde kalmaktadır. Bu tür ıslanma-kuruma durumu ile karşı

karşıya kalan beton devamlı olarak su içerisinde bulunan betona göre daha çok hasar görmektedir. Öte yandan, deniz suyunun içerisinde bulunan magnezyum sülfat, betondaki bağlayıcı özellikteki kalsiyum-silika-hidrat jelinin çözünmesine neden olmakla birlikte, bu çözünme oldukça yavaş tempoda yer almaktadır. O nedenle, gözeneklerde biriken magnezyum sülfat kristalleri, gözeneklerin bir ölçüde tıkanmasına ve böylece dışarıdan daha az su sızabilmesine yol açmaktadır. Deniz suyunun etkisine maruz kalacak betonların üretiminde kullanılan su/çimento oranı 0.45'i geçmemelidir. Şayet, eşiklerde, denizliklerde ve kaldırım betonlarında olduğu gibi beton kesiti ince ise , veya betonarme betonlarındaki donatının pas payı 2.5 cm'den az ise, su/çimento oranı 0.40'dan yüksek olmamalıdır [17].

Deniz sularının beton yapılara esas zararı, bu tür sularda bulunan klordan kaynaklanmaktadır. Deniz suyundaki klor, betonun içerisindeki demir donatıların korozyonunu (paslanmasını) hızlandırmakta betonun parçalanmasına yol açabilmektedir [14].

4.3.2. Durabiliteye etki eden kimyasal faktörler

Betonda ortaya çıkan zararlı kimyasal-reaksiyonlar kendini, betonun gözenekliliğinin ve geçirimliliğinin artması , çatlamlar, dökülmeler, kapak atmalar ve betonun yumuşaması, dayanımını ve rijitliğini kaybetmesi şeklinde gösterir. Betonun hasar görme derecesinin çatisıyla, bozulma süreci hızlanır. Pratikte beton birçok kimyasal etkiye aynı anda maruz kalabilir ve bu etkiler bir diğerini ortaya çıkarabilir veya şiddetlendirebilir. Betonun kimyasal reaksiyonlar sonucu zamanla bozulması sürecinde, zararlı maddelerin (iyon veya molekül) çoğunlukla çevreden beton bünyesine taşınımı söz konusudur. Bazı hallerde zararlı maddeler betonun kendi bünyesinden de kaynaklanabilir. Bu durumda dahi zararlı maddeler girecekleri yere taşınırlar. Madde transferi olmadığı takdirde zararlı reaksiyonlar gelişemez. Dolayısıyla beton bünyesinde kimyasal reaksiyonların oluşması için koşul, taşınmayı sağlayan su veya su buharının varlığıdır. Zararlı maddeler ve betonun reaktif bileşenleri arastadaki reaksiyon gerekli ortam oluşunca hemen başlar. Ancak genelde, beton bünyesi içinde veya yüzeyden içeriye taşınım hızı oldukça yavaş olduğundan, bazı reaksiyonların zararlı etkileri yıllar sonra ortaya çıkabilir.

Kimyasal reaksiyonların gelişimi, büyük ölçüde zararlı maddelerin beton bünyesine taşınım hızına dolayısıyla betonun geçirimsizliğine bağlıdır. Tüm kimyasal reaksiyonlarda olduğu gibi, sıcaklık reaksiyon hızını arttıran bir faktördür. Bunun nedeni sıcaklığın iyon veya moleküllerin hareketliliğini arttırmasıdır. Kimyasal reaksiyonlar değişik tiplerde oluşabilir ve çoğunlukla fiziksel ve biyolojik etkenlerle bir arada ve peşpeşe gelişip betonun bozulmasına neden olurlar. İyi bir şans eseri uygulamada kullanılan beton veya betonarme yapı elemanlarının yalnızca küçük bir kısmı ciddi kimyasal etkilerle karşılaşır. En çok karşılaşılan kimyasal saldırılar sülfat, asit ve alkali saldırılarıdır. Deniz suyu ve tuz etkileri de önemli kimyasal ve fiziksel etkileri olan saldırı kaynaklarıdır.

Betonun kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı konusunda çeşitli fiziksel ve kimyasal deney yöntemleri geliştirilmiştir. Ancak henüz bu deneylerin çoğu tüm bilim çevrelerince kabul edilecek düzeyde standardize edilememiştir. Burada önemli olan uygulamada uzun sürede gerçekleşen olayları laboratuvar ortamında kısa sürede aslına benzer şekilde gerçekleştirebilmektir. Olayı hızlandırmak için çoğunlukla zararlı maddelerin konsantrasyonu arttırılır. Ancak zararlı maddenin dozajını ayarlamak önemlidir. Örneğin, konsantre asit eriyiklerinde tüm çimentolar erir. Düşük konsantrasyonlarda ise zararlı etki uzun süre ortaya çıkmayabilir. Bu nedenle sonuçları yorumlamak oldukça zordur. Ancak bu deneyler kıyaslamak araştırmalar için çok yararlıdır. Kimyasal reaksiyonlar sonucu betonun bozulmasının engellenmesi için değişik boyutlarda önlemler alınabilir. Bunları kısaca özetlemek olanaklıdır. Kimyasal reaksiyonlar değişik transfer mekanizmaları ile geliştiğinden, zararlı maddeleri beton içinde taşınımını engellemek gerekir. Taşınım su veya su buharı vasıtasıyla gerçekleştiğinden, suyun varlığını engellemekle sorun çözülebilir. Ancak bu durumu uygulamada gerçekleştirmek oldukça zordur. Çünkü havanın neminde bile su vardır. Kimyasal saldırının etki derecesine ve türüne bağlı olarak alınacak önlemler de farklılık gösterir. Bu konuda ayrıntılı bilgiler ilerideki bölümlerde verilmiştir. Ancak genelde;

a) Kimyasal etki zayıf ise geçirimsiz bir beton üretmek suretiyle sorun çözülebilir.

b) Kimyasal etki orta şiddette ise geçirimsiz bir beton üretiminin yanısıra, beton üretiminde kullanılan malzemelerde değişikliğe gidilebilir. Örneğin, sülfatlara maruz kalacak betonda sülfata dayanıklı çimento kullanılabilir.

c) Kimyasal etki şiddetli ise bu durumda (b) maddesinde. sözü edilen önlemlere ek olarak, yapıyı dıştan izole etmek gerekir.

Genelde betonun kalıcılığı kullanılan çimento tipine göre değişir. Çimentoların kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı aşağıdaki sıraya göre artmaktadır.

1. Normal ve hızlı çiyanim kazanan Portland Çimentoları
2. Curuflu Portland Çimentosu veya düşük hidrasyon ısıklı Portland Çimentoları
3. Traslı Çimentolar
4. Sülfata dayanıklı çimentolar
5. Süper sülfat çimentoları
6. Alüminli çimento

Ancak bu sıralama diğerk etkenlerin aynı kalması koşuluyla geçerlidir.

Betonun bozulmasına yol açan kimyasal reaksiyonları üç ana grupta toplamak mümkündür:

I. Grup Reaksiyonlar düşük sertlikteki suların çimento hidrate bileşenlerini çözmesi ve yıkayarak beton bünyesinden uzaklaştırması şeklinde gelişir.

II. Grup Reaksiyonlar agresif sıvıların hidrate çimento bileşenlerini çözmesidir. Reaksiyon ürünleri ya yıkanarak uzaklaşır veya suda çözünmeyen yeni bir yapı oluşturur. Asitlerin ve Mg^{2+} iyonu içeren suların oluşturdukları hasarlar bu tür reaksiyonlara örnektir.

III. Grup Reaksiyonlar genişlen ürünler oluşturarak betonda hasara yol açarlar: Sülfat etkisi, MgO ve CaO gibi çimento bileşenlerinin gecikmiş hidrasyonları, alkali silika reaksiyonu (ASR), beton içine gömülü çelik donatının korozyonu bu tür bozulmaların en tipik örnekleridir [20].

4.3.2.1. Asit saldırısı (asit hücumu)

Sertleşmiş betonun içerisine sızan sularda bulunan asitler, betonun genişleşip hasar görmesine yol açan kimyasal olayların yer almasına neden olmaktadır. Asitlerin betonda yarattığı yıpratıcı etki, "asit hücumu" olarak adlandırılmaktadır. Sertleşmiş betonun içerisine giren sularda yer alan asitler, değişik kaynaklı olabilmektedirler:

Havadaki karbon dioksit (CO_2), suyun içerisinde çözünerek, zayıf bir karbonik asit (H_2CO_3) oluşturmaktadır. Kırıllardaki akarsular, ve kar suları, bu tür bir asit içerebilmektedir.

Organik atık maddelerin taşındığı kanalizasyon sistemlerinde, atık maddelerin içerdiği kükürtlü bileşenler, anaerobik bakterilerle (serbest oksijene ihtiyaç olmadan yaşayabilen bakterilerle) birleşerek, nemli ortamda önce hidrojen sülfid (H_2S) ve daha sonra da sülfürik asit (H_2SO_4) oluşturmaktadırlar. Aslında, hidrojen sülfid gazının betona yıpratıcı etkisi yoktur. Ancak, bu gazın, beton yüzeyindeki nemli tabakanın içerisine girmesi ve anaerobik bakteriler tarafından sülfürik asite dönüştürülmesiyle, bu asitin betona zararlı etkileri olmaktadır. Kanalizasyon sistemindeki pis su seviyesinin hemen üstündeki bölgede yer alan betonun bu tür asitli sularla karşılaşmasına çok sık rastlanmaktadır [20].

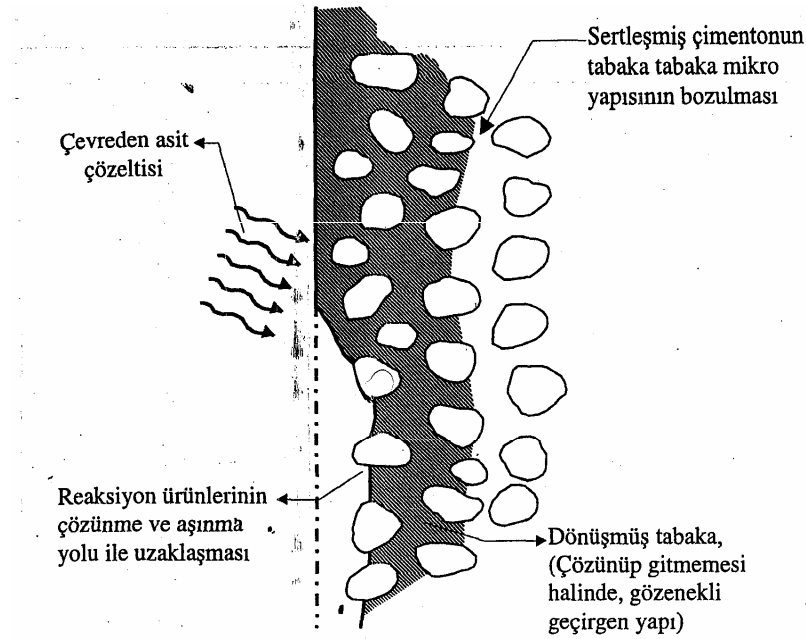
Kömür veya çürümüş nebatların bulunduğu bölgelerdeki yeraltı suları, bir miktar asit içerebilmektedir.

Yakıtlardan atmosfere salınan kükürt dioksit (SO_2), su içerisinde çözüldüğünde, sülfüröz asit (H_2SO_3) ve sülfürik asit oluşturmaktadır. Havadaki kükürt dioksitin, beton yüzeyindeki ıslaklıkla birleşerek sülfüröz asit veya sülfürik asit oluşturması da çok sık rastlanan bir olaydır. Döşemelerde, bacalarda, buharlı trenlerin geçtiği tünellerde kullanılan betonlar, bu tür asitli sularla karşı karşıya gelebilmektedirler. Tablo 4.7 'den görülebileceği gibi, birçok endüstri kolunda değişik türde asitler ortaya çıkmaktadır. Yapıların döşemelerinde kullanılan beton ile asitlerin sulu ortamda temas etmesi olayına, veya hayvan barınaklarındaki betonların sulu ortamda asitlerle temas etmesi olayına çok sık rastlanmaktadır.

Tablo 4.7. Değişik endüstri kollarında ortaya çıkan ve betonla temas ettiği takdirde zararlı etkilere yol açan asitler

Asit	Formülü	Ortaya Çıktığı Endüstri Kolu
Hidroklorik asit	HCl	Kimya endüstrisi
Nitrik asit	HNO ₃	Gübre endüstrisi
Asetik asit	CH ₃ CO ₂ H	Fermentasyon işlemi
Formik asit	H.CO ₂ H	Gıda ve boya endüstrisi
Laktik asit	C ₂ H ₄ (OH).CO ₂ H	Süt endüstrisi
Tannik asit	C ₇ H ₆ O ₆	Deri endüstrisi
Fosforik asit	H ₃ PO ₄	Gübre endüstrisi
Tartarik asit	[CH(OH).CO ₂ H] ₂	Şarapçılık

Asit hücumu sonucunda, sertleşmiş betonun içerisindeki kalsiyum hidroksit ve kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jellerinde çözünme yer almaktadır. Beton yüzeyinde yumuşak (çamur gibi) ince bir tabaka oluşmaktadır. Beton daha gözenekli duruma gelmekte, dayanımı ve dayanıklılığı daha az olmaktadır.



Şekil 4.9. Asit etkisiyle betonun bozulması

Tablo 4.8. Değişik asitlerin beton üzerindeki etkisi

Saldırı hızı	Asit Tipi	
	İnorganik	Organik
Hızlı	Hidroflorik, Hidroklorik, Nitrik, Sülfürik	Asetik, Formik, Laktik
Orta	Fosforik	Tannik
Yavaş	Karbonik	—
İhmal edilebilir	—	Oksalik, Tartarik

Asitli sular pH değerlerinin 7 den küçük olması ile belirlenir, içinde serbest asitler bulunan sular beton bünyesindeki sertleşmiş çimentoya ve agrega içindeki karbonat esaslı taneciklere çözücü ve ayrıştırıcı olarak etki yapar. Asitli suların beton üzerindeki etkileri, pH değerlerinin 6,5 veya daha küçük olması halinde göz önünde bulundurulur. Uygulamada en çok karşılaşılan asitler ve etki şekilleri aşağıdaki maddelerde belirtilmiştir.

Serbest mineral asitleri sülfürik asit (H_2SO_4), Hidroklorik asit (HCl), nitrik asit (HNO_3) gibi genellikle kuvvetli asitlerdir. Bunlar sertleşmiş çimento ve agrega içindeki karbonat esaslı tanecikler üzerinde kuvvetli çözücü ve ayrıştırıcı etkiler oluşturur.

Kükürtlü hidrojen (H_2S) zayıf bir asit olduğu için betonu daha az etkiler. Ancak gaz halinde, betonun içine işleyebileceği gibi, nemli betonun yüzeyindeki su filmi içinde çözünerek ve havadaki oksijen ile oksitlenip sülfürik asit (H_2SO_4) veya sülfatları oluşturarak etkili olabilir. Ayrıca, suda çözünmeyen pirit ve markazit gibi kükürtlü bileşikler, havanın oksijeni ve nem ile birlikte yükseltgenerek, sülfatları veya sülfürik asiti oluşturarak zararlı etki yapabilirler.

Genellikle yanma sonucu oluşan gazlarda bulunan kükürt dioksit (SO_2), kuru olarak betonun içine işleyerek veya nemli beton yüzündeki su filminde çözünerek sülfüröz

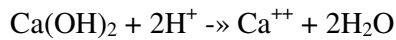
asit (H_2SO_3) ve sülfüteri oluşturabilir. Oksijenin yeterli olduğu ortamlarda ise sülfürik asit ve sülfatları meydana getirerek zararlı etki yaparlar.

Kireç çözücü karbonik asit betona diğer zayıf asitler gibi etkiler ve sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksitin çözülmesine neden olarak zararlı olur.

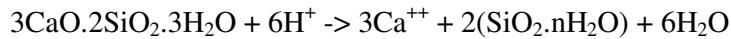
Karbon dioksit gazının suda çözünmesi ile oluşan kireç çözücü karbonik asit konsantrasyonunu belirlemek için pH değeri tek başına yeterli değildir.

Serbest organik asitler ; Asetik asit, (sirke asidi), laktik asit (süt asidi) vb. serbest organik asitler, kimyasal yapılarına uygun tuzları oluşturarak, sertleşmiş çimento bileşimindeki kalsiyumun çözünmesine neden olurlar. Genellikle organik asitlerin etkisi, inorganik asitlerin etkisinden daha hafiftir. Hatta tartarik asit, okkalık asit vb. bazı organik asitlerin koruyucu bir film oluşturdukları ve bu nedenle tamamen zararsız oldukları bilinmektedir. Amino asitler genellikle sertleşmiş beton için zararsızdırlar. Ancak bunlar, bazı hallerde kendi hidrojen iyonlarını nötr tuzların katyonları ile değiştirerek asil inorganik asitleri oluşturabilirler. Çok az bir miktarda olsa bile humus etkisi, taze betonda sertleşmeyi engelleyebilir [21].

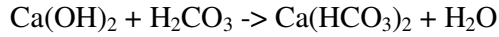
Asit Hücumu Karşısında Betonda Yer Alan Reaksiyonların Mekanizması: Betonun yapısında yer alan kalsiyum hidroksit, sulu ortamda asitle temas ettiği takdirde çözünmektedir. Hidrojen iyonu, kalsiyum hidroksitin çözünme hızını artırmaktadır [14]:



Şayet, sulu ortamdaki asit konsantrasyonu oldukça yüksek ise, sertleşmiş çimento hamurundaki tobermorit jelleri de hücumla uğrayabilmektedir:



Sulu ortamda, karbonik asit ile betondaki kalsiyum hidroksitin arasındaki reaksiyonlar, çözünebilir nitelikteki kalsiyum bikarbonat $Ca(HCO_3)_2$ oluşmasına yol açmaktadır:

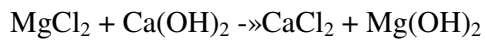


Asit Hücümünü Azaltıcı Önlemler: Asitli suların betonda yol açacağı hasarı azaltabilmek için alınması gereken ilk önlem, betonun,mümkün olabildiği kadar geçirimsiz olmasını sağlamaktır. Geçirimsiz betonların üretiminde, su/çimento oranı 0.5'i geçmemelidir. Beton yüzeyinin bitümlü veya reçineli maddelerden ince bir tabakayla kaplanması da, asit etkisinin azalmasına neden olmaktadır. Asit hücumuna maruz kalacak betonların, daha az kalsiyum hidroksit oluşmasına yol açacak türdeki çimentolarla ve/veya ince taneli puzolanik katkılarla üretilmeleri gerekmektedir. Beton, asitli ortamla temas etmeden önce, iyice kurumuş olmalıdır. Betonun yüzeyine çıkmış olan bir miktar kalsiyum hidroksit ile havadaki karbon dioksitin reaksiyonu sonucunda oluşan kalsiyum karbonat tabakası, betonun yüzeyindeki gözeneklerin bir ölçüde kapanmış olmasını sağlamaktadırlar.

Önyapımlı beton elemanların silikon tetraflorid gazı ile vakumlu ortama tabi tutulmaları halinde, bu gaz ile kalsiyum hidroksit reaksiyona girmektedir ($2\text{Ca(OH)}_2 + \text{SiF}_4 \rightarrow 2\text{CaF}_2 + \text{Si(OH)}_4$). Bu uygulama, beton elemanın asitlere karşı dayanıklılığını artırmaktadır [14].

4.3.2.2. Magnezyum iyonu içeren çözeltilerin kimyasal saldırıları

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



Betonun Mg tuzlarıyla uzun süreli teması halinde ise CSH içindeki kalsiyumun Mg iyonlarıyla yer değiştirdiği görülür ki oluşan magnezyum silikat hidratın (MSH) bağlayıcılık özelliği yoktur, kolayca parçalanabilir. Bu durum betonda rijitlik ve dayanım kaybına yol açar. Magnezyum sülfat aynı zamanda betonda sülfat etkisine yol açtığı için magnezyum tuzları içinde en zararlısı olarak kabul edilir [20].

Magnezyum sülfat ($MgSO_4$) ve magnezyum klorür ($Mg Cl_2$) gibi magnezyum tuzları, sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksitte ($Ca(OH)_2$) reaksiyona girerek, yumuşak ve jelatinimsi bir madde olan magnezyum hidroksiti oluştururlar. Magnezyum sülfat söz konusu olduğunda, sülfat etkisi ayrıca göz önünde bulundurulmalıdır [21].

4.3.2.3. Sülfat etkisi

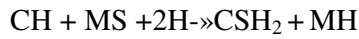
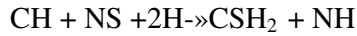
Yeraltı sularında, bazı killi topraklarda, ve cüruflla doldurulmuş arazilerde oldukça yüksek miktarlarda sodyum sülfat, kalsiyum sülfat, magnezyum sülfat ve potasyum sülfat gibi tuzlar bulunabilmektedir. Sertleşmiş betonun içerisine dışarıdan sızan sularla birlikte giren sülfatlar, betonun genleşip çatlamasına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

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

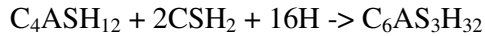
hamurunun yapısında yer alan başlıca hidrasyon ürünleri, C-S-H, CH, ve kalsiyum-alumino-sülfohidratlardır.

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

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



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



(Yukarıdaki formüllerdeki CH, N S, H, CSH_2 , MS, NH, MH, C_4ASH_{12} ve $C_6AS_3H_{32}$, sırasıyla, kalsiyum hidroksitin, sodyum sülfatın, suyun, alçıtaşının, magnezyum sülfatın, sodyum hidroksitin, magnezyum hidroksitin, kalsiyum-alümino-monosülfohidratın ve etrenjitin çimento, kimyasındaki sembollerle gösterilmiş halidir.)

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

Sodyum Sülfatın ve Magnezyum Sülfatın Etkilerinin Karşılaştırılması: Yukarıda anlatıldığı gibi, hem sodyum sülfat, hem de magnezyum sülfat, betonun içerisinde alçıtaşı oluşmasına, ve yarı-kararlı durumdaki C_4ASH_{12} ürünlerinin etrenjit durumuna gelmesine yol açmaktadırlar. Ancak, magnezyum sülfatın beton içerisindeki reaksiyonları alçıtaşının oluşmasına yol açan reaksiyonlarla sınırlı değildir. Magnezyum sülfat, çimento hamurunun bağlayıcılığını sağlayan kalsiyum-silika-hidrat ($C_3S_2H_3$) jelleri ile de reaksiyona girmekte, bu jellerin bir miktarının çözünmesine neden olmaktadır:



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

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

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

Suda ve Toprakta Yer Alan Sülfat Konsantrasyonunun Sülfat Hücumunun Hızına Etkisi: Betonla teması bulunan topraktaki ve sudaki sülfat miktarı ne kadar yüksek olursa, sülfat hücumu daha şiddetli olmakta, beton daha kısa süre içerisinde hasar görmektedir. Sudaki sülfat konsantrasyonu, toplam SO_3 veya SO_4 miktarının, ağırlık olarak, bir milyonda kaç kısım oluşturduğu belirtilerek ifade edilmektedir. Atom

ağırlıklarına göre, $SO_4 = SO_3 \times 1.2$ 'dir. Topraktaki sülfat miktarı, çözünebilir SO_3 veya SO_4 'ün % olarak ifadesi şeklinde olmaktadır.

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI), suda veya toprakta bulunabilecek sülfat konstrasyonuna bağlı olarak, betonun sülfat hücumuna maruz kalacağı ortamları, "az etkili (yumuşak) ortam", "etkili ortam", "çok etkili ortam" ve "aşırı etkili ortam" olarak Tablo 4.9 'da gösterildiği gibi tanımlamaktadır. Bu Tablo'da, değişik sülfat ortamlarında kullanılacak betonlar için önerilen maksimum su/çimento oranlarına da yer verilmektedir [22].

Tablo 4.9. Amerikan beton enstitüsü tarafından tanımlanan sülfat ortamları ve önerilen su/çimento oranları

Sülfat Ortamı	Topraktaki	Sudaki	Betondaki
	suda çözünebilir SO_4 miktarı (%)	SO_4 miktarı (ppm)*	Maksimum Su/Çimento Oranı
Az Etkili	0.00- 0.10	0-150	
Etkili	0.10- 0.20	150-1500	0.50
Çok Etkili	0.20- 2.00	1500-10000	0.45
Aşırı Etkili	>2.00	> 10 000	0.45

*ppm = part per million = bir milyon içerisindeki kısım

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

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

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

Tablo 4.9.'dan da görülebileceği gibi, sülfat konsantrasyonu yüksek olan ortamlarda kullanılacak betonların üretiminde, su/çimento oranı 0.45'den daha fazla olmamalıdır.

Çimento Tipinin Etkisi : Çimentodaki C_2S anabileşenin hidratasyonu sonucunda oluşan kalsiyum hidroksit miktarı C_3S anabileşenin hidratasyonu sonucunda oluşan kalsiyum hidroksit miktarından daha az olduğuna göre, C_2S miktarı nispeten yüksek olan çimentoların kullanılması, bu çimentoların hidratasyon sonucunda daha az kalsiyum hidroksit meydana gelmesine yol açmaktadır. ASTM Tip II, Tip IV ve Tip V çimentolarda, nispeten daha fazla C_2S bulunmaktadır. Böylece, sülfat hücumu etkisiyle, daha az miktarda alçıtaşı oluşabilmektedir. Bilindiği gibi, portland-puzolan tipi çimentolar, çimento üretimi esnasında klinkerle birlikte bir miktar puzolanın da öğütülmesi sonucunda elde edilmektedir. Bu tip çimentoların içerisindeki puzolanlar, bağlayıcılık kazanabilmek için, çimentodaki kalsiyum-silikatlı anabileşenlerin hidratasyonu sonucunda oluşmuş olan kalsiyum hidroksitle kimyasal reaksiyona girerek yeni kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jelleri üretmektedirler. Böylece, portland-puzolan tipi çimentolarla yapılan betonların içerisinde, puzolan içermeyen çimentolarla yapılan betonun içerisinde bulunan kalsiyum hidroksitten daha az kalsiyum hidroksit bulunmaktadır. Portland-puzolan tipi çimentolarla yapılan betonların içerisinde, sonradan sülfat hücumu ile, alçıtaşı oluşması ve genleşmelere yol açan reaksiyonlara devam etmesi imkanı daha düşüktür. (ASTM İP, IS, ve Türk çimentolarından katkı çimento KÇ 32.5, traşlı çimento TC 32.5, cürüflü çimento CÇ 32.5 ve CÇ 42.5, bu tip çimentolardır.) Daha önce bahsedildiği gibi, dışarıdan sızan sülfatların betonun içerisinde oluşturduğu alçıtaşı, çimento hamurunun içerisindeki yarı-kararlı durumda mevcut olan kalsiyum-alumino-monosülfohidrat C_4ASH_{12} ile reaksiyona girerek çok büyük genleşme gösteren etrenjit ($C_6AS_3H_{32}$) oluşmasına yol açmaktadır. Normal olarak, çimento hamurunun içerisindeki kalsiyum-alumino-sülfohidratlar, çimento anabileşenlerinden C_3A ile çimentodaki alçıtaşının su ile reaksiyonu sonucunda ortaya çıkmaktadırlar. Çimentonun içerisindeki C_3A oranı düşük olduğu takdirde, doğal olarak, hidratasyon sonucunda oluşan etrenjit ve kalsiyum-alumino-monosülfohidrat miktarı da az olacaktır. Bir başka deyişle, bu tür bir çimentonun hidratasyonu sonucunda oluşan kalsiyum-

alumino-sülfohidrat oranı azdır; dolayısı ile, sülfat hücumu etkisiyle daha az miktarda etrenjit oluşmaktadır. O nedenle, sülfata dayanıklı beton üretiminde, C₃A miktarı düşük olan çimentolar kullanılmaktadır. (ASTM Tip V ve ASTM Tip II'deki maksimum C₃A miktarı, sırasıyla %5 ve %8 olarak sınırlandırılmıştır.)

İnce Taneli Puzolanik Katkı Maddelerinin Etkisi : Öğütülmüş tras, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı, ve uçucu kül gibi, puzolanik katkı maddeleriyle üretilen betonlar, sadece portland çimentosu ile üretilmiş betonlara göre, genel olarak daha az miktarda portland çimentosu içermektedirler. Bir başka deyişle, puzolan katkılı betonlarda, sülfat reaksiyonuna yol açabilecek C₃A miktarı daha azdır. Ayrıca, daha önce de bahsedildiği gibi, puzolan katkılı betonlardaki hidratasyon, önce, portland çimentosu ile su arasında başlamaktadır. Puzolanların reaksiyon gösterebilmeleri C₃S ve C₂S anabazitlerinin; hidratasyonu ile ortaya çıkan kalsiyum hidroksit kullanılmasıyla gerçekleşmektedir. Yani, puzolan katkılı betonlarda, daha az miktarda kalsiyum hidroksit yer almaktadır. Bu da, sülfat ve kalsiyum hidroksit, arasındaki reaksiyon sonucunda oluşabilecek alçıtaşı miktarının az olmasına neden olmaktadır [14].

4.3.2.4. Gecikmiş etrenjit oluşumu (DEF-delayed ettringite formation)

Uzun süreli olarak nemli ortamlarda kalan bazı prefabrik elemanlarda sülfat etkisine benzer şekilde yıllar sonra çatlak ve hasarlar görülmüştür. Yapılan araştırmalar hasarın nedeninin gecikmiş etrenjit oluşumu olduğunu ortaya koymuştur. Bu olaya ilk olarak 1980'li yıllarda Avrupa'da prefabrik beton traverslerde rastlanılmış, daha sonra Amerika ve diğer ülkelerde de farklı betonarme elemanların DEF nedeniyle hasar gördüğü rapor edilmiştir. Gecikmiş etrenjit oluşumunu aslında içten gelen sülfat etkisi olarak tanımlamak mümkündür. Sülfat etkisiyle genleşen tuz sertleşmiş betonu çatlatıp, parçalamaktadır. Ancak burada oluşan etrenjit normal hidratasyon sonucu oluşan etrenjit ile karıştırılmamalıdır. Beton taze iken, kristalleşen tuzun genleşmesine izin verecek ortam mevcuttur.

DEF' in oluşum nedeni, prefabrik sektöründe elemanların hızlı priz alması ve dayanım kazanması için uygulanan yüksek sıcaklığa bağlanmaktadır. 60-70 °C kür

sıcaklıklarının bile DEF'e yol açabildiği bilinmektedir. Bu sıcaklıklarda etrenjitin ($C_3A.3SCaSO_4.3H_2O$) normalde hidrasyonun ilk dakikalarında görülen oluşumu engellenir. 60 °C civarında hidrasyon sırasında oluşan etrenjit dağılır. 70°C'den sonra ise etrenjit oluşumu durur. Etrenjit oluşumunun stabilitesinin bozulması, çimentodaki alkalioksit içeriğine de bağlıdır. Bu nedenle, yüksek alkalili çimentolarda bu sıcaklık dereceleri daha düşüktür. Ardından yıllar sonra nem etkisinde kalan elemanlarda etrenjit yeniden oluşur , ancak bu sefer ortam katı olduğundan betonda hasar görülür. Olayın nedenlerinden biri, de çimentoda aşırı miktarda SO_3 bulunmasıdır. Eskiden klinkerlerdeki sülfat seviyeleri % 1'in altında iken yeni teknoloji ile çimento fabrikalarında üretilen klinkerde bu oran % 2-5 dolaylarına çıkabilmektedir. Bu sülfatın bir kısmı da suda çok az ve yavaş çözüldüğünden, etrenjit oluşumu beton sertleştikten sonra gerçekleşebilmektedir. Oluşan etrenjit çok ince olup, alkali-silika jeline benzer. DEF agrega- çimento harcı ara yüzeylerinde boşluk yaratıp, bu boşluklarda gelişir. DEF oluşumunu engellemek için aşağıdaki önlemlerin alınmasında yarar vardır.

1. Özellikle suda yavaş çözünebilir SO_3 içeren çimento klinkerinde sülfat içeriğinin mümkün mertebede düşük olmasına dikkat edilmelidir. %1.5 SO_3 oranının bile reaksiyona yol açtığı belirlenmiştir. Bu nedenle çimentoda SO_3 oranının en alt düzeyde olması tercih edilir.
2. Kür sıcaklığının çok yüksek olmamasına dikkat edilmelidir. 60°C lik sıcaklıkları bile bazı tür çimentolarda reaksiyona yol açabilmektedir.
3. Kullanılacak olan çimentonun düşük hidrasyon ısısı çıkaran türde olmasında yarar vardır. Örneğin, hızlı dayanım 'kazanan ince çimentolar yüksek sıcaklıkta (70-75 °C) kür edilirse DEF açısından daha büyük bir riskten söz edilebilir.
4. Önemli miktarda uçucu kül gibi puzolan içeren çimentoların kullanımı sülfat miktarını azaltacaktır. Ancak bazı puzolanik maddelerin de sülfat içerebildiği unutulmamalıdır.
5. Yapı elemanının su ile teması kesilmelidir.
6. Hava sürükleyici katkı kullanımının, kristal genişmesinin oluşturduğu iç gerilmeleri azaltacağı için yararlı olması beklenir

Reaksiyonun oluşup oluşmayacağını önceden belirlemek üzere, değişik araştırmacılar tarafından uygulanan farklı deney yöntemleri vardır. Ancak henüz bu konuda kabul edilmiş standart deney yöntemi geliştirilememiştir [20].

4.3.2.5. Alkali etkisi

Beton agregalarında aranan özelliklerden biri çimento harcı ile zararlı kimyasal reaksiyona girmemesidir. Ancak bazı tür agregalar, belirli ortamlarda aşırı genişleme gösteren reaksiyonlara yol açıp, betonun zamanla çatlamasına, bozulmasına neden olabilmektedir. Bu tür reaksiyonlar arasında en yaygın görüleni alkali-agrega reaksiyonu adıyla da bilinen alkali-silika (ASR) reaksiyonudur. Bir diğer reaksiyon ise alkali-karbonat reaksiyonudur. Ayrıca, agregadaki bazı kararsız bileşenlerin oksidasyon veya hidratasyonları da betonun hacim sabitliğinin olumsuz etkilenmesine yol açabilmektedir. Son yıllarda İzmir yöresinde bazı betonarme yapıların ASR sonucu hasar gördüğü bilinmektedir. Bu sebeple betonda ASR oluşumuyla ilgili bilgilerin daha ayrıntılı olarak verilmesi uygun görülmüştür [20].

Alkali-Agrega Reaksiyonu: Alkali-agrega reaksiyonu, sertleşmiş betonun içerisindeki alkalilerle reaktif silika içeren agregalar arasında oluşan bir reaksiyondur. Portland çimentosunun içerisinde bir miktar Na_2O ve K_2O gibi alkaliler bulunmaktadır. Betonun içerisinde yer alan alkaliler, genellikle, çimentonun içerisinde bulunan alkalilerden kaynaklanmaktadır. Öte yandan, beton üretiminde kullanılan bazı agregalarda bir miktar reaktif silika bulunabilmektedir. Reaktif silika içeren kayalar ve bu kayaların içerisindeki silika mineralleri, Tablo 4.10'da gösterilmektedir [17,22].

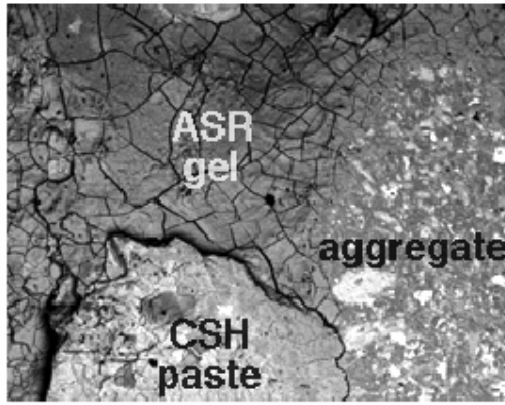
Reaktif silika mineralleri agrega tanelerinin bünyesinde gelişigüzel bir dağılımla yer almaktadırlar. O nedenle, bu minerallerle alkaliler arasındaki reaksiyonlar, sadece, agrega tanesinin yüzeyinden başlayarak içeriye doğru uzanmamaktadır; agrega tanesinin değişik bölgelerinde bulunan silika, alkalilerle reaksiyona girebilme, böylece, agrega tanesinin bütünlüğü zedelenmiş olmaktadır. Alkalilerle, reaktif silika mineralleri arasındaki reaksiyonların etkisiyle, önce, reaktif silika minerali çözünme

göstermekte, ve ortamdan bir miktar su da alarak, sodyum-silika-hidrat (N-S-H) ve potasyum-silika-hidrat (K-S-H) gibi alkali-silika jelleri oluşmaktadır.

Tablo 4.10 Alkali-Silika reaksiyonu yaratabilecek reaktif silika mineralleri ve bunların bulunduğu kayalar

Reaktif Silika	Fiziksel Şekli	Yer Aldığı Kaya Türü	Karşılaştığı Yerler
Opal	Amorf	Silisli Kalker, Çört Şeyl	Oldukça yaygın
Camsı Silika	Amorf	Riyolit Andezit Dasit Volkanik Tüf	Volkanik bölgelerden ve bu bölgelerden Kaynaklanan nehirlerden elde edilen agregalarda
Kalsedon	İnce fiber kristalli	Silisli Kalker, Çört Kumtaşı	Oldukça yaygın
Tridimit ve Kristobalit	Kristal	Opalin kayalar Pişirilmiş seramik	Nadiren
Kuvars	Kristal	Kuvarzit Kum Granit Şist	Oldukça yaygın ancak mikrokristalli durumda ise reaktif

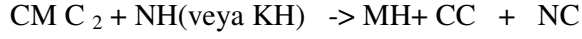
Alkali-silika jellerinin çok büyük miktarda (sınırsız) su emebilme özeliği bulunmaktadır. O nedenle, alkali-silika jelleri, bünyelerine çok miktarda su alarak oluşmuş olmaları sonucunda, sertleşmiş betonun içerisinde çok büyük genleşmeler yer alabilmektedir. Alkali-silika jellerinin içerisindeki su miktarının artması devam ettikçe, ortaya çıkan ürün, koloidal parçacıkları içeren bir sıvı şekline dönüşmektedir. Çimento hamurundaki kalsiyum hidroksitle de reaksiyona girerek, kalsiyumlu alkali-silika içeren bu sıvı, agreganın ve betonun çatlaklarının içerisinde yerleşmekte, agrega tanesinin çevresini tamamen saran bir konuma gelmektedir. Böylece, gerek agrega tanelerinin silika minerali içeren bölgelerinde, gerek agrega tanelerinin yüzeyinde, ve gerekse betondaki çatlakların içerisinde, çok büyük genleşmeler meydana gelmektedir [14].



Şekil 4.10. ASR jelinin betonun içindeki oluşumu (ACI 221.1R)

Alkali-silika reaksiyonu çok yavaş bir reaksiyondur. Bu reaksiyonun oluşması, aylar, hatta yıllar almaktadır. Alkali-silika reaksiyonunun yer aldığı betonların yüzeyinde coğrafya haritasındaki il sınırlarını gösteren çizgilerin gelişigüzel şekillerine benzeyen tipik çatlak ağı oluşmaktadır. Bazen, beton yüzeyindeki bu çatlaklarda, yüzeye kadar çıkmış olan ve kalsiyumlu alkali-silika sıvısından oluşan beyaz lekeler de görülebilmektedir. Alkali-silika reaksiyonunun devam etmesiyle, beton yüzeyinde parçalanmalar, kopmalar meydana gelmektedir. Alkalilerle, bazı dolomitik yapıdaki kalkerli agregalar ($MgCO_3.CaCO_3$) arasında da genleşme yaratan reaksiyonlar yer alabilmektedir. ABD'de ve Kanada'da yapılan araştırmalarda alkali-karbonat reaksiyonlarının oluşma mekanizması hakkında değişik görüşler ileri sürülmüştür.

Ancak, araştırmacıların ortak görüşüne göre, bu reaksiyonlarla dolomit çözünmekte, ve genleşmeye yol açan burusit oluşmaktadır.



Alkali-silika reaksiyonundan farklı bir reaksiyon olan alkali-karbonat reaksiyonu henüz tam olarak anlaşılmış değildir. Bu reaksiyonun oluşmaması için, çimentodaki alkali miktarının çok düşük (%0.4 oranında) tutulması önerilmektedir [22].

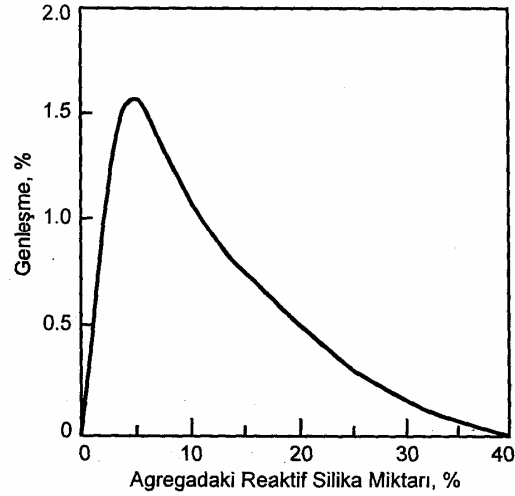


şekil 4.11. ASR den kaynaklanan çatlaklara ait görünüşler

Agregadaki Reaktif Silika Miktarının ve çimentodaki Alkali Miktarlarının, Alkali-Silika Genleşmesine Etkileri: Agregadaki reaktif silika miktarının, alkali-agrega reaksiyonu sonucunda ortaya çıkan genleşmeye etkisi şekil 26.1'de gösterilmektedir [18].

şekil 4.12'den görülebileceği gibi, reaktif silika miktarı %5 civarında bir değere doğru arttıķa alkali-agrega genleşmesinde de artma olmaktadır. Ancak %5'in üzerindeki artma, daha düşük genleşmelere yol açmaktadır. Yüksek miktarda silika içeren ortamdaki alkali-silika genleşmenin az olması, şu şekilde açıklanmaktadır: Ortamda mevcut olan alkali, fazla miktarda yer alan silisin tümü ile alkali-silika

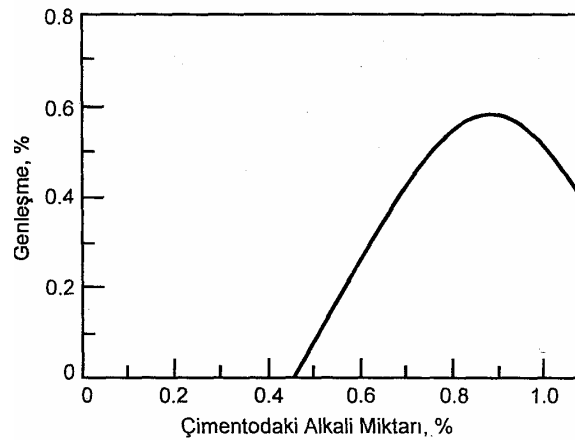
reaksiyonu yapmaya yetmemektedir. O nedenle, reaksiyonlar tam olarak gerçekleşmemektedir [18].



Şekil 4.12. Agregadaki reaktif silika miktarının alkali-agrega genişlemesine etkisi

Şekil 4.13, çimentodaki alkali miktarının, alkali-silika genişlemesine etkisini göstermektedir [18].

Şekil 4.13'den görülebileceği gibi, çimentodaki alkali miktarının yaklaşık %0.5'den başlayarak %0.9'a kadar yükselmesi durumunda, genişleme miktarında artma olmaktadır.



Şekil 4.13. Çimentodaki alkali miktarının, alkali-silika genişlemesine etkisi

Alkali-Silika Reaksiyonunun Oluşumunu Azaltıcı Önlemler: Alkali-silika reaksiyonunun yer almaması için, betonun içerisinde bulunan alkali miktarının çok az olması, veya agregaların böyle bir reaksiyonu başlatacak miktarda reaktif silika içermemesi gerekmektedir. ASTM standartlarına göre, beton yapımında kullanılacak çimentodaki " $\text{Na}_2\text{O} + 0.66 \text{K}_2\text{O}$ " miktarının %0.6'dan fazla olmamalıdır. Belirli bir bölgeden elde edilen ve uzun yıllar kullanılarak herhangi bir zararlı etkisi görülmemiş olan agregalarla beton üretilmesi, alkali-silika genişmesi olasılığını azaltmaktadır.

Yukarıdaki önlemlerin yanısıra, beton üretiminde ince taneli puzolanik katkı kullanılması, sertleşmiş betondaki alkali-silika genişmesinin az olmasına yol açmaktadır. Bunun nedeni, puzolanik katkı maddeleri içeren betonlarda çok fazla alkali bulunmuyor olmasıdır. Şekil 4.13'den görüldüğü gibi, çimentodaki (dolayısı ile betondaki) alkali miktarının %0.9'dan daha az değerlere inmesi sonucunda, genişme miktarında azalma olmaktadır. Beton üretiminde düşük bir su/çimento oranı kullanılmasının, ve betonun geçirimsiz olmasının da, alkali-silika reaksiyonunu azaltıcı etkisi bulunabilmektedir. Geçirimsiz betonlara daha az su girmesi sonucunda, alkali-silika jellerinin emebileceği su miktarı azaltılmış olmaktadır [14].

Beton içinde kullanılan agreganın granülometrisi reaksiyonun şiddetini ve hızını büyük ölçüde etkilemektedir. Agregata tane çapı küçüldükçe reaksiyonun daha hızlı geliştiğini ve genişme miktarının arttığını gösteren araştırma sonuçları mevcuttur. Örneğin, 200 gün sonunda, tane boyutları 150-300 µm olan agreganın kullanıldığı betonun %2, 13 mm olan aynı kökenli agreganın kullanıldığı betonun %0.02 genişme gösterdiği görülmüştür. Sıcak iklim koşullarındaki yapılar, soğuk iklim koşullarındakilere göre ASR'ye karşı daha duyarlıdır. ASR'nin hızı, sıcaklık arttıkça artar. Agregaların büyük çoğunluğu daha yüksek sıcaklıklarda daha fazla reaktiflik göstermektedir.

4.3.2.6. Karbonatlaşma

Kırlardaki temiz havada %0.03 kadar karbon dioksit bulunmaktadır. Büyük şehirlerdeki havada, genel olarak, %0.3'e varan miktarlarda karbon dioksit yer

almaktadır. Yeraltı suları da karbon dioksit içermektedir. Bunun nedeni, havadaki karbon dioksitin yağmur ve kar suları tarafından emilerek toprağın içerisine zayıf bir karbonik asit olarak girmiş olmasından kaynaklanmaktadır.

Betonun yüzeyi ile temas eden ve betonun içerisine giren karbon dioksit, betonun içerisinde bulunan kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek karbonatlaşmaya yol açmaktadır: $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Karbonatlaşma, havadaki karbon dioksit miktarının çok az olduğu durumlarda dahi yer alabilmektedir. Ancak, böyle bir durumda reaksiyonun oluşması çok yavaş seyretmektedir. Karbonatlaşma, beton yüzeyinde başlayarak, içeriye doğru ilerlemektedir. O nedenle, yüzeye yakın bölgeler (yüzeyden 2.5 - 3.0 cm kadar içerideki beton) karbonatlaşmanın etkisi altındadır. Karbonatlaşmanın gerçekleşebilme hızı, havadaki karbon dioksit miktarının ve nem miktarının yanı sıra, betonun geçirimsizliğine bağlıdır. Karbon dioksit miktarının yüksek olması, doğal olarak, karbonatlaşmayı artırmaktadır. Relatif nemin %50 civarında olması da, karbonatlaşmayı artırmaktadır. Relatif nemin %25'den az, veya %100 olması durumunda, karbonatlaşma yer almamaktadır. Karbonatlaşmanın yer alıp almadığını anlayabilmek için, taze betonun yüzeyinden bir parça kopartılarak, bu beton parçasının yüzeyine phenolphtalein uygulanmaktadır. Serbest Ca(OH)_2 pembe renk gösterir iken, karbonatlaşmış kısım renk göstermemektedir. Betondaki karbonatlaşmanın daha az olabilmesini sağlayabilmek amacıyla yapılması gereken en önemli işlem, betonun mümkün olduğu kadar geçirimsiz bir beton olarak üretilmesidir.

Betonda karbonatlaşma olmasının beton özelliklerine olumsuz etkileri vardır. Öte yandan, karbonatlaşma olayı, çok az da olsa, betona bazı yararlar da sağlamaktadır.

Karbonatlaşmanın Betona Olumsuz Etkileri :

- (1) Karbonatlaşma sonucunda sertleşmiş çimento hamuru büzülme göstermekte, dolayısı ile, betonda çatlaklar oluşmaktadır.
- (2) Karbonatlaşma sonucunda, kalsiyum hidroksitin çözünmesi nedeniyle, betonun içerisindeki mevcut olan alkalın ortam daha düşük düzeye inmektedir. Alkalinitenin

azalması ile, betonda karbonatlaşmanın yer aldığı bölgelerdeki betonarme demirlerinin korozyonu daha hızlı olabilmektedir.

Karbonatlaşmanın Betona Olumlu Etkileri :

(1) Beton dayanımında çok az bir artış meydana gelmektedir. Bunun nedeni, karbonatlaşma olayı sonunda bir miktar suyun serbest, kalmasıdır. Serbest kalan su, çimentoda yer alan hidrasyona yardımcı olmaktadır.

(2) Karbonatlaşma nedeniyle oluşan CaCO_3 kristalleri, çimento hamurundaki kapiler boşlukların içerisine yerleştikleri için, beton nispeten daha geçirimsiz olabilmektedir [14].

4.3.2.7 Yer altı suyu etkisi

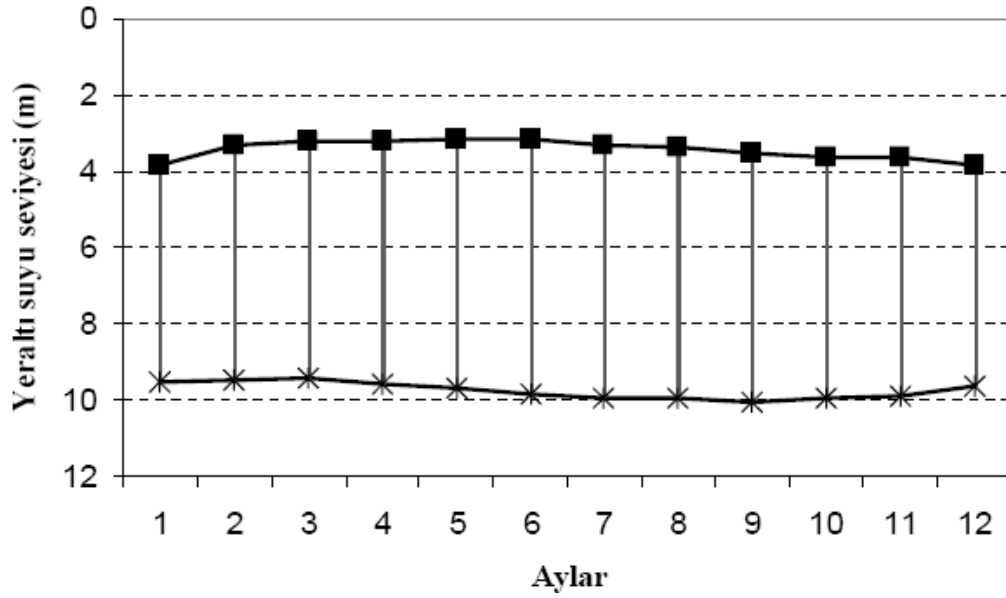
Betonarme yapıların kalıcılığını etkileyen kimyasal ve fiziksel işlemlerin çoğunda iki önemli faktör vardır. Bunlar, su ve beton bünyesinde bulunan çatlaklar içindeki taşınımıdır. Beton dökümü her zaman elverişli ortamlarda olmayabilir. Özellikle yeraltı su seviyesi yüksek zeminler ile doğrudan temasta bulunacak olan betonun üretiminde bazı önlemlerin alınması gereklidir. Suyun ve zararlı maddelerin beton içine taşınımı (transferi) ve bunların beton ile etkileşimi betonun durabilitesi açısından çok önemlidir. Bu gibi ortamlar beton için “zararlı ortamlar” olarak nitelendirilmektedir. Yeraltı su seviyesi (YASS) yüksek olan zeminler bu ortamların başında gelmektedir. İçerdikleri kimyasal tuzlar bakımından yer altı suları, yapılarda temele, kapilerite sebebiyle sıvalara ve betona zararlı olmaktadır. Özellikle YASS yüksek olan bölgelerde oluşan bu durumun yanında yüksek YASS, kil zeminlerde konsolidasyona, yapılarda farklı oturmalar dolayısıyla hasarlara yol açmaktadır . YASS'nin yüksek olduğu bölgeler, genellikle porozite ve su tutma yeteneği fazla olan killi zeminlerdir. Bu tür bir yapıya sahip olan zeminlerde yer altı suyu hareket edemez ve bazı durumlarda su, toprak üzerinde birikerek göletler bile oluşabilir (Şekil 4.14).

Yer altı sularının betonarme yapılara zararlarının en aza indirebilmesi için YASS'nin iyi bilinmesi ve gerektiğinde drenaj gibi önlemlerle kontrol altına alınması gerekmektedir. Akarçay Afyon alt havzası için, 1977-1998 yılları arasında ölçülen

kuyu suyu seviyelerinin ortalamalarını kullanarak akış, buharlaşma ve yağışa göre YASS'nin aylara göre değişimini modellemiştir (Şekil 4.15). Şekilden de görüldüğü gibi YASS oldukça yüksek olup, 3 m.'ye kadar çıkmıştır. YASS zemin yüzeyinden itibaren 10 m.'den yukarıda olduğu durumlarda betonarme yapılar risk altındadır .

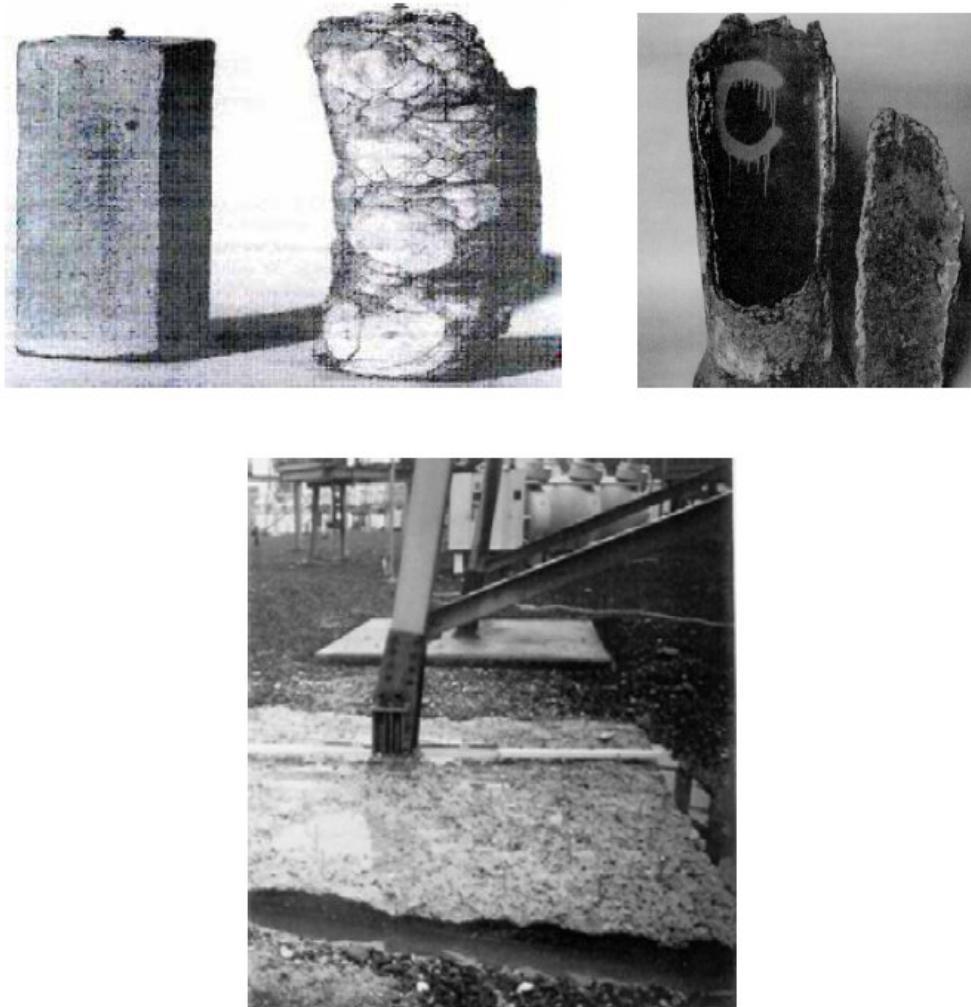


Şekil 4.14. YASS yüksek bir bölgenin görünümü (Akarçay havzası)



Şekil 4.15. YASS'nin aylara göre değişimi

Yer altı suyunda betona en çok zarar veren etki kimyasal maddeler olup bu etkiler sülfat (SO_4^{2-}) iyonlarından kaynaklanmaktadır. Sülfatlı suların beton üzerindeki korozif etkisi iki şekilde ortaya çıkar. Birinci etki sülfat aniyonlarının, çimento hidratasyon ürünü hidrate kireçle tepkimesi sonucu alçıtaşı oluşumudur. Sülfat tuzunun katyon türüne bağlı olarak alçı taşı ile birlikte teşekkül eden reaksiyon ürünü, NaOH gibi suda eriyen veya $Mg(OH)_2$ gibi suda erimeyen türde olabilir. Sülfatların asıl önemli etkisi, alçı taşı ile veya suda erimiş halde bulunan kalsiyum sülfatla C3A'nın reaksiyona girmesiyle ortaya çıkar. Etrenjit içerdiği kristal suyunun fazlalığı nedeniyle büyük hacim artmasına sebep olur. Kristalleşen katı haldeki tuz, betonun boşluk çeperlerinde büyük basınç gerilmeleri oluşturur; önce çatlamar şeklinde olan hasar, ileri yaşlarda ayrılmaya ve parça dökülmeye sebep olur (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Sülfat etkisiyle ağır hasar görmüş beton elemanlar

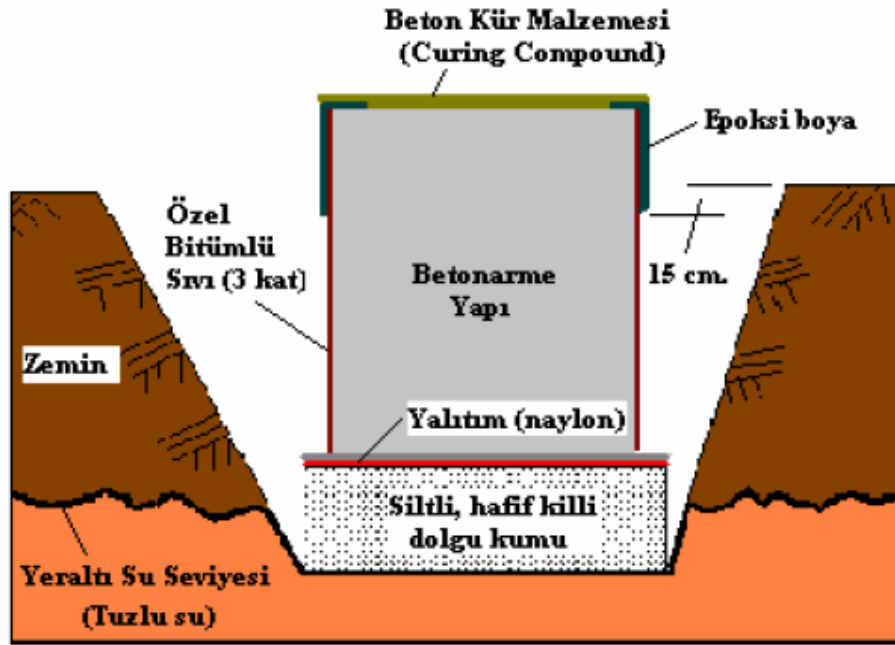
Zararlı ortamlarda betonarme yapıların inşasında bazı önlemlerin alınması gereklidir. Bu önlemler beton yapımında ve bakımında olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmektedir.

Beton Yapımında Alınması Gereken Önlemler: Bu gibi ortamlarda yer alan betonu etkileyen en önemli parametre fiziksel ve mekanik etkilerden çok kimyasal etkilerdir. Özellikle tuzlu sularda bulunan sülfat iyonları, beton bileşenlerinden çimentonun bazı bileşenleri ile reaksiyona girerek betonun zamanla bozulmasına neden olur. Bu saldırı sülfat iyonlarının, sertleşmiş betondaki alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle kimyasal reaksiyona girmesi, etrenjit ve alçı taşı oluşturması ile gerçekleşir. Sülfat iyonları topraktan ya da zemin suyundan da betona taşınabilir. Betonun sülfata dayanıklılığın sağlanabilmesi için alınacak olan önlemler;

Betonun mümkün olduğunca geçirimsiz olarak üretilmesi (bunun için su/çimento oranının mümkün olduğunca düşürülerek, katkı kullanmak suretiyle aynı işlenebilmeyi elde etmekle ve süresiz bir granülometri kullanılması ile mümkün olabilir)

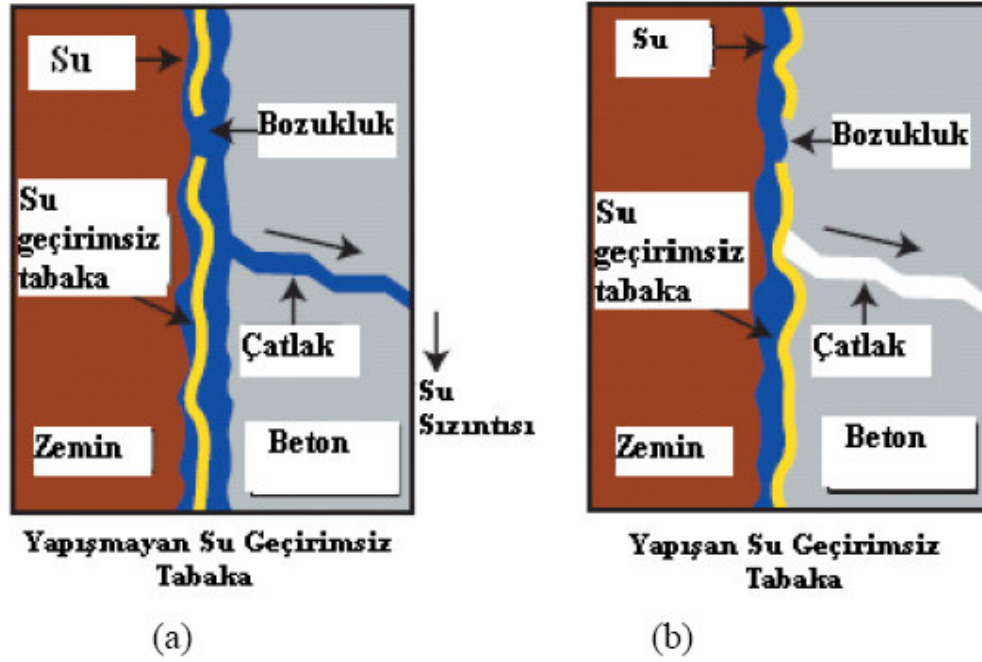
Çimentonun C3A ve Ca(OH)_2 içeriğinin sınırlandırılması,
Puzolanik katkı maddelerin kullanılması olarak özetlenebilir.

Beton Bakımında Alınması Gereken Önlemler: Betonun bakımında alınması gereken önlemler de taze betonun yerine uygun bir biçimde yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasından sonraki alınacak önlemleri kapsamaktadır. Şekil 4.16'da yer altı suyu tuzlu (sülfatlı) bir betonarme yapının yapımında alınacak önlemler şematik olarak gösterilmiştir. Yer altı su seviyesi yüksek olan zeminlerde öncelikle şevli bir kazı yapılması gereklidir. Kazı yapılır yapılmaz hızlı bir şekilde yapım aşamasına geçilmelidir. Betonarme yapının yer altı suyu ile temasını önlemek amacıyla tabana geçirimsiz siltli, hafif killi kum dolgu malzemeleri serilir ve sıkıştırılır. Üzerine yalıtım gereci (naylon olabilir) kaplandıktan sonra grobeton dökülür. Daha sonra asıl betonarme yapı hazırlanan zemin üzerine inşa edilir. Yapının zeminle temas edecek olan kenarları özel bitümlü geçirimsiz sıvı ile 3 kat halinde 1 mm. kalınlıkta olacak şekilde boyanır. Boyama işlemi yerine eğer beton yüzeyine yalıtım gereci kaplanacaksa mutlaka beton yüzeyine yapışan bir kaplama gereci seçilmelidir.



Şekil 4.17. Zararlı ortamda bulunan bir betonarme yapının şematik görünümü

Şekil 4.17'deki beton yapının açıkta kalan yan yüzeyleri, zeminin zararlı kimyasal etkilerinden etkilenmemesi için, zeminin üst kotundan yaklaşık 15 cm. aşağıya kadar epoksi boya ile 250 mikron kalınlığında boyanır. Betonun yan yüzeylerinin yalıtımı tamamlandıktan sonra betonun üst yüzeyi de hidrokarbon reçine esaslı yalıtım ve koruma filmi oluşturan çok yönlü beton kür malzemeleri ile (curing compound) kaplanarak betonun kuru gerçekleştirilir. Beton kür örtüsü, betonu aşırı sıcaktan, soğuktan ve rüzgarlı havalardan koruma niteliğinde olup, yüzeydeki terleme suyunun da betondan ayrılmasını önlemektedir. Ayrıca üzerine su döküldüğünde beton yüzeyine ileticek şekilde imal edilmişlerdir.



Şekil 4.18. Beton yüzeyindeki yalıtım tabakasının durumu ve etkisi

Yalıtım gerecinin beton yüzeyine yapışmaması durumunda (Şekil 4.18.a), yalıtım gerecinde oluşacak küçük bir yırtılma veya hasardan dolayı, su beton ile yalıtım gereci arasına girecek ve beton yüzeyindeki bütün çatlaklardan veya gözeneklerden beton içerisine taşınacaktır. Bu da betonun durabilitesi için oldukça olumsuz bir durumdur. Betonun hasar görme derecesi artmakta ve hasar görme süresi de azaltılmaktadır. Diğer yandan yalıtım gerecinin beton yüzeyine yapışması durumunda (Şekil 4.18.b), yalıtım gereci yırtılsa veya hasar görse bile, zemindeki mevcut su betona sadece hasar bölgesinden etkiyecektir. Dolayısıyla betonda oluşacak hasarlar daha aza indirgenerek, hasar oluşma süresi de uzatılabilmektedir .



Şekil 4.19. Kaplama yöntemiyle betonarme bir yapının korunması

Zemindeki zararlı ortamlardan betonarme yapıları korumanın bir diğer yolu da kaplama tekniğidir. Bu yöntemde, betonarme yapının her tarafı geçirimsiz bir malzemeyle kaplanır (Şekil 4.19). Benzer bir uygulama da bohçalama yöntemi olup, zemin şevli bir şekilde kazılıp dolgu malzemesi serildikten sonra, beton yapının dış yüzeylerini (yan yüzeylerini veya bazı durumlarda tamamını) kaplayacak olan bitümlü yalıtım malzemesi orta kısmından tabana serilerek yan tarafları zemin üst kotuna doğru her iki taraftan açılır. Betonarme yapı inşa edilip kalıbı alındıktan sonra iki yandaki bitümlü malzeme beton yapı üzerine sağından ve solundan birbiri üzerine kapatılarak betonarme yapı bohça içerisine alınır. Ankara'da 2003 yılında inşa edilen ve yapımı süren Metro inşaatının betonarme bölümü bohçalama yöntemiyle koruma altına alınmıştır. Sonuç olarak, Betonarme bir yapının zararlı ortamlardan korunmasında dikkat edilecek hususların en başında, inşa edilecek olan yapının bulunduğu ortam, bu ortamın zararlı etkileri ve betonun maruz kalacağı etkilerin tespit edilmesi gelmektedir. Çünkü ortamın durumu ve betona ne gibi etkilerinin olacağı bilinmeden ya yetersiz önlem alınır ya da yanlış önlem alınır ve yapının hasar görmesi kaçınılmaz olur. Yapılarda oluşan hasarlar hem malzeme kayıplarını arttırarak direk olarak çevreye zarar verir hem de çevreye verdiği etki kadar maliyeti de etkileyecektir. İkinci olarak dikkate alınması gereken bir diğer husus da hangi zararlı etkiye nasıl bir koruma yönteminin uygulanmasıdır. Bu hususlara dikkat

edildiğinde hem inşa edilen betonarme yapılar hasar görmeyecek ve böylece ömürleri uzun olacaktır hem de daha ekonomik olacaklardır [23].

4.3.2.8 TS EN 206-1 standardının getirdiği yenilikler

Çevreden kaynaklanan etkiler, Tablo 4.11'de verilen etki sınıfları şeklinde tasnif edilebilir. Verilen örnekler bilgi içindir. Seçilecek etki sınıfı, betonun kullanılacağı yerde alınan tedbirlere bağlıdır. Bu etki sınıflamasına betonun kullanılacağı yerde mevcut özel şartlar, paslanmaz çelik veya korozyona dayanıklı diğer metal kullanımı veya beton veya donatıda koruyucu kaplama kullanımı gibi koruyucu tedbirler dahil edilmiştir. Beton, Tablo 4.11'de tarif edilen etkilerin birden daha fazlasına maruz kalabilir ve bu nedenle betonun maruz kaldığı çevre şartlarının, etki sınıflarının birleşimi olarak ifade edilmesi gerekli olabilir.

Tablo 4.11. Etki sınıfları [16]

Sınıf gösterimi	Çevrenin tanımı	Etki sınıflarının meydana gelebileceği yerlere ait bilgi mahiyetinde örnekler
1 Korozyon veya zararlı etki tehlikesi yok		
X0	Donatı veya gömülü metal bulunmayan beton : Donma / çözülme etkisi ve kimyasal etki haricindeki bütün etkiler Donatı veya gömülü metal içeren beton : Çok kuru	Çok düşük rutubetli havaya sahip binaların iç kısımlarındaki beton
2 Karbonatlaşmanın sebep olduğu korozyon		
Donatı veya diğer gömülü metal ihtiva eden betonun hava ve nem etkisine maruz kalması halinde etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır		
NOT : Burada bahse konu olan nem şartları, donatı veya diğer gömülü metali saran beton örtü tabakası içerisindeki şartlardır. Ancak çoğu durumda beton örtü tabakası şartlarının betonun içerisinde bulunduğu çevre şartlarını yansıttığı kabul edilir. Bu durumda çevre şartlarının sınıflandırılması yeterli olabilir. Beton ve içerisinde bulunduğu çevre (ortam) arasında bariyer tabaka varsa bu şartlar geçerli olmayabilir		

Tablo 4.11. Devamı

XC 1	Kuru veya sürekli ıslak	Çok düşük rutubetli havaya sahip binaların iç kısımlarındaki beton Sürekli şekilde su içerisindeki beton.
XC 2	Islak, arasıra kuru	Su ile uzun süreli temas eden beton yüzeyler Çoğu temeller
XC 3	Orta derecede nemli	Orta derecede veya yüksek rutubetli havaya sahip binaların iç kısımlarındaki betonlar yağmurdan korunmuş, açıkta bulunan betonlar
XC 4	Döngülü ıslak ve kuru	XC 2 etki sınıfı dışındaki, su temasına maruz beton yüzeyler
3 Deniz suyu haricindeki klorürlerin sebep olduğu korozyon		
Donatı veya diğer gömülü metal ihtiva eden betonun, buz çözücü tuzları da ihtiva eden, deniz suyu haricindeki kaynaklardan gelen klorürleri ihtiva etmesi halinde etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır		
NOT : Nem şartları hakkında bilgi, bu çizelgenin 2. bölümünde verilmiştir.		
XD 1	Orta derecede nemli	Hava ile taşınan klorürlere maruz beton yüzeyleri
XD 2	Islak, arasıra kuru	Yüzme havuzları Klorürleri içeren endüstriyel sulara maruz betonlar
XD 3	Döngülü ıslak ve kuru	Klorürleri ihtiva eden serpintilere maruz köprü kısımları Kaldırımlar Araba park yeri döşemeleri
4 Deniz suyundan kaynaklanan klorürlerin sebep olduğu korozyon		
Donatı veya diğer gömülü metal ihtiva eden betonun deniz suyunda bulunan klorürlere veya deniz suyundan kaynaklanan tuz taşıyan hava ile temas etmesi halinde etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır.		
XS 1	Hava ile taşınan tuzlara maruz, fakat deniz suyu ile doğrudan temas etmeyen	Sahilde veya sahile yakın yerde bulunan yapılar

Tablo 4.11. Devamı

XS 2	Sürekli olarak su içerisinde	Deniz yapılarının bölümleri
XS 3	Gelgit, dalga ve serpinti bölgeleri	Deniz yapılarının bölümleri
5 Buz çözücü maddenin de bulunduğu veya bulunmadığı donma/çözülme etkisi		
Betonun, etkili donma/çözülme döngülerine, ıslak durumda maruz kalması halinde etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır.		
XF 1	Buz çözücü madde içermeyen suyla orta derecede doymuş	Yağmura ve donmaya maruz düşey beton yüzeyler
XF 2	Buz çözücü madde içeren suyla orta derecede doymuş	Donma ve hava ile taşınan buz çözücü madde etkisini maruz yol yapılarının düşey beton yüzeyleri
XF 3	Buz çözücü madde içermeyen suyla yüksek derecede doymuş	Yağmur ve donmaya maruz yatay beton yüzeyler.
XF 4	Buz çözücü madde içeren su veya deniz suyu ile yüksek derecede doymuş	Buz çözücü maddelere maruz yol ve köprü kaplamaları Buz çözücü tuz ihtiva eden su serpintisine doğrudan ve donma etkisine maruz beton yüzeyler Deniz yapılarının dalga etkisi altındaki donmaya maruz bölgeleri.
Kimyasal etkiler		
Betonun, Tablo 4.12'de verilen tabii zeminler ve yer altı sularından kaynaklanan zararlı kimyasal etkilere maruz kalması durumunda etki, aşağıda verilen şekilde sınıflandırılır. Deniz suyu, coğrafik bölgeye göre sınıflandırılır, bu nedenle betonun kullanılacağı yerde geçerli sınıflandırma uygulanır Tablo 4.12'de verilenler dışındaki sınır değerler Diğer zararlı kimyasal maddeler, Kimyasal maddelerle kirlenmiş zemin veya su,		
XA 1	Tablo 4.12' e göre az zararlı kimyasal ortam	
XA 2	Tablo 4.12' e göre orta zararlı kimyasal ortam	
XA 3	Tablo 4.12' e göre çok zararlı kimyasal ortam	

Tablo 4.12. Doğal zeminler ve yer altı sularından kaynaklanan kimyasal etkiler için etki sınıflarının sınır değerleri

Zararlı kimyasal ortamların aşağıda verilen sınıflaması, doğal zemin ve yer altı suyunun 5°C ilâ 25°C arasında sıcaklığa sahip olması ve su akış hızının durguna yakın derecede yavaş olması esas alınarak yapılmıştır. Kimyasal özelliğe ait en baskın herhangi tek değer, sınıfı belirler.				
İki veya daha fazla zararlı kimyasal özelliğin aynı sınıfı belirtmesi durumunda çevre, bir sonraki daha yüksek sınıfa dahil olarak alınmalıdır. Ancak bu özel durum için yapılan çalışmanın bir üst sınıf seçmenin gerekli olmadığını göstermesi durumunda bu işlem uygulanmaz.				
Kimyasal özellik	Referans deney metodu	XA 1	XA 2	XA 3
Yeraltı suyu				
SO_4^{2-} mg/L	EN 196-2	≥ 200 ve ≤ 600	> 600 ve ≤ 3000	> 3000 ve ≤ 6000
<i>pH</i>	ISO 4316	$\leq 6,5$ ve $\geq 5,5$	$< 5,5$ ve $\geq 4,5$	$< 4,5$ ve $\geq 4,0$
CO_2 mg/l (zararlı etkiye sahip)	pr EN 13577 : 1999	≥ 15 ve ≤ 40	> 40 ve ≤ 100	> 100 den doymun hale gelinceye kadar
NH_4^+ mg/L	ISO 7150-1 veya ISO 7150-2	≥ 15 ve ≤ 30	> 30 ve ≤ 60	> 60 ve ≤ 100
Mg^{2+} mg/L	ISO 7980	≥ 300 ve ≤ 1000	> 1000 ve ≤ 3000	> 3000 den doymun hale gelinceye kadar
Zemin				
SO_4^{2-} mg/kg ^a (toplam)	EN 196-2 ^b	≥ 2000 ve ≤ 3000 ^c	> 3000 ^c ve ≤ 12000	> 12000 ve ≤ 24000
Asidite mg/kg	DIN 4030-2	> 12000 Baumann Gully	Uygulamada dikkate alınmaz	
<p>^a Geçirgenliği (permeabilitesi) 10^{-5} den daha düşük olan kil zeminler bir aşağı sınıfa geçirilebilirler.</p> <p>^b Deney metodunda, SO_4^{2-}'ün hidroklorik asitle açığa çıkarılması (ekstraksiyon) metodu tarif edilmiştir; Alternatif olarak, betonun kullanılacağı yerde yapıyorsa, su ile açığa çıkarma metodu da kullanılabilir.</p> <p>^c İslanma kuruma döngüleri veya kapiler emme nedeniyle, betonda sülfat iyonu birikimi tehlikesi olan yerlerde 3000 mg/kg olan sınır 2000 mg/kg'a indirilir.</p>				

Betonun bulunduğu ortamın değerlendirilmesi için çevresel etki sınıflaması ve yıpratıcı etkiye karşı dayanıklılığının sağlanması için beton karışımları için getirilen öneriler TS EN 206-1 standardında sunulmuştur. Karbonatlaşmadan kaynaklanan korozyon riskinin bulunduğu ortamda kullanılacak betonun etkinin şiddetine göre Su/Çimento oranının 0,65-0,50, en az çimento dozajının 260-300 kg/m³, beton sınıfının ise C20/25 - C30/37 olması önerilmektedir. Benzer şekilde klorürlerin sebep olduğu korozyon riski deniz suyundan kaynaklanan ve deniz suyu haricindeki klorürler olarak sınıflandırılmış ve bu ortamda kullanılacak betonun etkinin şiddetine göre S/Ç oranının 0,55-0,45, en az çimento dozajının 300-340 kg/m³ olması, beton sınıfının ise en az C30/37- C35/45 olarak seçilmesi önerilmektedir.

Tablo 4.13. Çeşitli Çevresel Etki Sınıflarında Kullanılacak Betonlar için, Beton karışımı ve özellikleri için önerilen sınır değerler (TS EN 206-1)

	Etki Sınıfları (Tablo 10.5)																		
	Korozyon veya zararlı etki tehlikesi yok	Karbonlaşma nedeniyle korozyon				Klorürün sebep olduğu korozyon						Donma/çözülme etkisi				ZARARLI KİMYASAL ORTAM ^c			
						Deniz suyu			Deniz suyu haricinde klorür										
						XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2								XS3
X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3		
En büyük su/çimento oranı	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45	
En küçük dayanım sınıfı ^a	C16/20 ^d	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
En az çimento içeriği (kg/m ³)	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360	
En az hava içeriği (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ^b	4,0 ^b	4,0 ^b	-	-	-	
Diğer şartlar												Pr EN 12620:2000'e uygun donma/çözülme dayanıklılığına sahip agrega				Sülfatlara dayanıklı çimento			

^a Beton sınıfları 15/30 cm standart silindir ve 15 cm ayrıtlı küp örnek ile tanımlanmıştır.

^b Hava sürüklenmemiş betonda, beton performansı, ilgili etki sınıfı için donma/çözülme etkisine dayanıklılığı kanıtlanmış betonla kıyas için uygun deney metoduna göre belirlenmelidir.

^c XA2 ve XA3 etki sınıfında baskın etkinin SO₂'den kaynaklanması halinde sülfatlara dayanıklı çimento kullanılması zorunludur. Sülfatlara dayanıklılık bakımından çimentonun sınıflandırılması halinde orta ve yüksek dayanıklı olarak sınıflandırılan çimento XA2 etki sınıfında (uygulanabiliyorsa XA1 etki sınıfında) ve yüksek dayanıklı çimento ise XA3 etki sınıfında kullanılmalıdır.

^d Standartta verilen bu değerler yanlış olduğu, doğrusunun C16/20 olması gerektiği düşünülmektedir.

Donma-çözülme riskinin bulunduğu ortamda kullanılacak beton için ise etkinin şiddetine göre önerilen değerler sırasıyla 0,45-0,55, 300-340 kg/m³ ve C25/30 - C30/37'dir. Ayrıca, etkinin orta ve şiddetli olduğu durumlarda hava sürükleyici katkı maddesi kullanılarak betonun en az hava içeriğinin %4 olması önerilmektedir. Zararlı kimyasal ortamda kullanılacak betonlar için etkinin şiddetine göre getirilen öneriler

ise sırasıyla 0,55 - 0,45, 300-360 kg/m³ ve C30/37-C35/45'dir. Zararlı kimyasal etki sülfatlardan kaynaklanıyorsa sülfata dayanıklı çimento kullanılması öngörülmektedir. Tablo 4.11'da verilen değerlerin yapı kullanım ömrünün 50 yıl olacağı, betonda CEM I (PÇ) türü çimento ve 20-32 mm arasında en büyük tane büyüklüğüne sahip agrega kullanılacağı kabulüne dayandığını belirtmekte fayda vardır. Daha şiddetli yıpranma koşullarında veya daha uzun kullanım ömürleri için, daha düşük S/Ç oranlı, daha yüksek çimento dozajlı ve daha yüksek dayanımlı beton kullanılması gerekebilir. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (A.B. Y.Y.H.Y 1998) hükümleri ile deprem bölgelerinde kullanılacak asgari beton sınıflarının C16 ve C20'ye çıkarılması olumlu değişikliklerdir. Ancak, durabilite, özellikle donatı korozyonu açısından değerlendirildiğinde bu beton sınıflarının yeterli geçirimsizlik sağlamadığı gözlenmektedir. Beton sınıfının yalnızca yapısal kaygılar dikkate alınarak seçilmesi oldukça hatalı bir yaklaşımdır. Örneğin, deniz suyuna ıslanma-kuruma şeklinde maruz kalan bir iskele yapısında C20 sınıfı bir beton kullanılması başlangıçta ekonomik ve uygun bir çözüm gibi görünebilir. Fakat, geçmiş tecrübeler ve saha gözlemleri göstermiştir ki, deniz suyundaki klorür iyonlarının yol açtığı donatı korozyonu sebebiyle böyle bir iskele yapısı 5-10 yıl içinde tamamen kullanılamaz hale gelebilmektedir. Bu sebeple beton sınıfı seçiminin, yapının servis ömrü boyunca maruz kalacağı yıpratıcı etkilerin ve yapısal ihtiyaçların birlikte değerlendirilerek yapılması en doğru yaklaşımdır. Uluslararası standartların çoğunda böyle bir ortamda inşa edilecek betonarme bir yapıda betonun en az çimento içeriği 340 kg/m³ ile en büyük Su/Çimento oranı 0.45 ile sınırlandırılmakta ve beton sınıfının C35 ve üzerinde olması zorunlu tutulmaktadır. Aslında, benzer sınıflandırma, TS 11222 Hazır Beton Standardında ve TS EN 206-1 'de öneri olarak verilmiştir. Ancak, bu koşullar ne betonarme projelerinde aranmakta, ne de bu projelerin denetiminde göz önüne alınmaktadır. TS 500'ün bu konuda bu standartlara zorunluluk içeren bir atıf yapması uygun olacaktır. Daha önce belirtildiği gibi, standartlarımızın genellikle farklı disiplinlerden gelen kişilerce danışma mekanizması yeterince işletilmeden hazırlanması bazı uyumsuzluklara yol açmaktadır. Bu sorunun biran önce giderilmesi gerekmektedir. Avrupa Birliği uyum çalışmaları kapsamında tüm standartlarımızın Avrupa Normları ile değiştirilmesi bu konuda iyi bir fırsat olarak algılanabilir. Deprem yönetmeliğimizde (A.B.YYH.Y) verilen en düşük beton sınıfı C16-C20, TS EN 206-1 standardında zararlı yıpratıcı

hiçbir etkiye maruz kalmayacak ve donatı korozyonu riskinin çok az olduğu yapılarda kullanılması önerilen beton sınıfıdır. Bir çok durumda, yıpranma koşulları dikkate alınarak betonun su/çimento oranına ve çimento dozajına sınırlama getirilmesi beton sınıfını kendiliğinden C30 düzeyine çıkmaktadır. Betonun Su/Çimento oranını ve çimento dozajını denetlemek kolay değildir. Oysa betonun basınç dayanımı kolayca denetlenebilmekte ve toplumda da bu konuda genel bir alışkanlık oluşmaya başlamaktadır. Bu nedenle özellikle deprem bölgelerinde kullanılacak betonlarda, donatı korozyonu yolu ile donatı beton aderansının yok olmasını önlemeye yönelik olarak en düşük beton sınıfı sınırlamasının düzeyi yükseltilmelidir ve en az C30 olmalıdır. Ayrıca, betonun geçirimsizliğini etkileyen en önemli parametreler S/Ç oranı ve bağlayıcı miktarı olduğu için, sınıf dayanımının yanı sıra bunlarla ilgili sınır değerlerin de sağlanmasına özen gösterilmelidir. Değişik üniversitelerimizin yapı malzemesi profesörleri yeni yapılacak yapıların olası bir depreme karşı dayanıklı olabilmesi için gerekli asgari koşulları ve en düşük beton sınıfının C30 olması gerektiğini 17 Ağustos 2001 tarihinde yayınladıkları bir deklarasyon ile kamuoyuna duyurmuşlardır. Yapılarda C20 yerine C30 kullanımı başlangıçta bir miktar maliyet artışına yol açıyor gibi görünmesine rağmen, bu miktar tüm yapı maliyeti yanında çok düşük mertebede kalmaktadır. Projenin C20 sınıfı beton yerine C30 sınıfı bir betonla çözülmesi halinde donatıdan, kesit boyutlarından ve yapı ağırlığından sağlanan ekonomi, genellikle beton sınıfının değiştirilmesinden kaynaklanan, maliyet artışını dengelemekte hatta toplam maliyeti azaltabilmektedir. Yapılan bir bilimsel çalışma sonucu, beton sınıfı yükseldikçe deprem bölgesi ve yapı kat adedine bağlı olarak kaba inşaat maliyetinden %5 civarında bir tasarrufun sağlanmasının mümkün olduğu belirlenmiştir;

Sonuç olarak, deprem gibi etkiler altında betonarme yapıların istenen performansı gösterebilmesi zemin etüdünden başlayarak iyi bir projelendirmeye ve bu projenin şantiyede eksiksiz olarak uygulanmasına, kağıt üzerinde kalmamasına bağlıdır. Dolayısıyla üretimin her aşamasının denetlenmesi ve kalite kontrolünün yapılması bir lüks değil yasal bir zorunluluktur. Kaldı ki, kullanılacak malzemelerin ve üretimin kalite kontrolü için yapılacak masraf genellikle yapının ekonomik değeri yanında yok denecek kadar azdır. Halen yürürlükte olan standartlar arasındaki uyumsuzluklar uygulamada zaman zaman sıkıntılara yol açmaktadır. Ancak, Avrupa

Birliği uyum çalışmaları kapsamında, Mart 2004'te TS EN 206-1'in yürürlüğe girmesi, TS 11222'nin yürürlükten kalkması ve TS 500'n beton nitelik denetimiyle ilgili hükümlerinin TS EN 206-1'e bağlanması ile bu sorunların büyük oranda giderilmesi beklenmektedir. Ancak TS 500'teki beton sınıflarının CSO'ye kadar tanımlanması, TS EN 206-1 'de ise beton sınıflarının C100/ 115'e kadar belirlenmesi ve TS 500'de betonarme hesaplarda kullanılacak katsayıların, tahmini beton elastisite modülü değerlerinin C50 sınıfının üstündeki beton sınıfları için tanımsız kalması bir eksiklik olarak görülebilir.

Yapının servis ömrü boyunca işlevselliğini koruyabilmesi, maruz kalacağı yıpratıcı etkilerin türünün ve şiddetinin tasarım aşamasında belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınmasıyla mümkündür. Beton sınıfının yalnızca yapısal kaygılar dikkate alınarak seçilmesi oldukça hatalı bir yaklaşımdır. Beton sınıfı seçiminin, yapının servis ömrü boyunca maruz kalacağı yıpratıcı etkilerin ve yapısal ihtiyaçların birlikte değerlendirilerek yapılması en doğru yaklaşımdır. Bir çok durumda, yıpranma koşulları dikkate alınarak betonun su/imento oranına ve imento dozajına sınırlama getirilmesiyle -yapısal zmlle açısından gerekli olmasa bile- kullanılması gerekli en düşük beton sınıfı kendiliğinden C30 düzeyine çıkmaktadır [24].

4.3.2.9 Zararlı kimyasal etkilere karşı dayanıklı beton yapım kuralları

Betonun, zararlı kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı, özellikle betonun yaşına, geçirimsizliğine, su/imento oranına ve yapımda kullanılan imento cinsine bağlıdır.

Yeni dökülmüş beton, prizim tamamlamamış veya çok geen betonlar, etkilere karşı çok duyarlı olduklarından zararlı kimyasal etkilere dayanıklılıkları yeterli düzeye ulaşıncaya kadar, direkt etkilere korunmalıdır. Yine istenilen dayanıklılığın sağlanabilmesi için, geçirimi ilik ve su/imento oranı sınırlanmak ve uygun bir imento seçilmelidir (Tablo 4.14).

Geçirimsizlik ve su/imento oranının sınırlanması: Betonun zararlı kimyasal etkilere dayanıklılığı, zararlı etkili maddelerin betonun içine sızarak girebilme derecelerine bağlı olarak değişir. Bu ise betonun geçirimsizliği ile yakından ilgili bulunduğundan, zararlı kimyasal etkilere dayanıklılığın sağlanabilmesi için betonun geçirimsizliğinin

sınırlanması yoluna gidilir. Zararlı kimyasal etkiler karşısında kalacak, bir betonda, geçirimsizlik için sınır değerler beklenen etkinin derecesine göre Tablo 4.15 de belirtilmiştir. Su işleme derinliği Tablo 4.14 de belirtilenlerden fazla olmamalıdır. Betonun, yukarıda anlatılan dayanıklılığa erişebilmesi için su/çimento oranlarının da Tablo 4.14 de belirtilen değerlerden büyük olmaması sağlanmalıdır.

Tablo 4.14. Zararlı Etki Derecesine Göre İzin Verilebilecek En Büyük Su /Çimento Oranı ve Su İşleme Derinliği Değerleri

Beklenen Zararlı Etkinin Derecesi	Su İşleme 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 hallerde 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, yukarıda anılan özel önlemler alındıktan ve betonun bu koşullara uygun şekilde yapılmalından başka zararlı etkili madde ile betonun doğrudan doğruya temas etmesini önlemek üzere uygun yalıtım ve koruma önlemleri alınmalıdır. Bu amaçla, fırça ile uygulanan bitüm esaslı yalıtıcılar, bittim ile doyurulmuş kartonlar, keçeler ve yalıtma pestilleri veya bitümlü yalıtım pastaları kullanılabilir. Uygulamanın yapılacağı yerin iklimi göz önünde tutularak, kullanılacak bitümlü maddenin yumuşama noktasının çevre koşullarına uygun olması sağlanmalıdır. Bu gibi durumlarda en az 3 kat bitümlü yalıtım yapılmalı ve yeraltı suyu derinliği veya suyun basıncı göz önünde bulundurularak yalıtım katmanlarının sayısı artırılmalıdır. Yeraltı su düzeyi göz önünde bulundurularak yapılacak

uygulamada geçirimi! veya kohezyonlu zeminlerde en yüksek yeraltı su düzeyinin üstünde bulunan kısımlara da en az 3 kat yalıtım yapılmalıdır. Yeraltı su düzeyinin altında bulunan yapı kısımlarında ise :

3 ye kadar	3 kat
3 - 6 m arasında	4 kat
6-12 m arasında	5 kat
12 m den fazla	6 kat

yalıtım yapılmalıdır.

Suyun basıncının göz önüne alınması halinde de

0,5 kgf/cm ² (0,05 Mp _a) basınca kadar	3 kat
1,0 - 2,0 kgf/cm ² (0,1 . 0,2) MP, basınca kadar	5 kat
2,0 - 5,0 kgf/cm ² (0,2 . 0,5) MP, basınca kadar	6 kat

yalıtım uygulanmalıdır.

Bitüm esaslı yalıtıcılar ile yapılmış yalıtımlar bu gibi maddeleri etkileyen yağ, akaryakıt vb. maddelerin etkilerinden korunmalı, bunun mümkün olmadığı hallerde diğer yalıtıcı madde çeşitleri seçilmelidir. Oluşturulan yalıtım tabakaları beton yapı elemanının yüzeyine tam ve iyi yapışacak nitelikte olmalı, zamanla aşınıp çatlayarak geçirimli hale gelmemeli sıcaklık farklarından ve dondan zarar görecektir nitelikte olmamalıdır. Yalıtımda geçirimsizliği bozacak-çatlak ve aralıklar bulunmamalı, yapım sırasında zorunlu olarak oluşacak iş derzlerinde de yukarıda anılan özellikler sağlanmalıdır. Zemin içindeki beton yapı elemanının zararlı etkilerden korunabilmesi için kil veya kireç taşından oluşturulan bir koruyucu perde katmanı faydalı olabilir.

Temel yapılarında beton kesitinin büyütülmesi ve pas payının arttırılması, donatı aralığı büyük tutularak taze betonun buralardan kolayca geçmesinin sağlanması çoğu zaman en ekonomik, bazı hallerde ise tek çözüm yolu olabilir.

Çimento cinsinin belirlenmesi: Sülfat noktan, suda litrede 400 mg SO²₄ den fazla, zeminlerde ise beher kilogram hava kurusu zeminde 3000 mg SO²₄ den fazla

olduğunda, sülfat etkisine dayanıklı çimento cinslerinin kullanılması gereklidir. Bu nedenle zararlı etkililiğin zayıf veya kuvvetli olduğu hallerde yüksek fırın cüruf çimentosu (TS 20) veya uçucu küllü çimento (TS 640) cinsleri tercih edilmelidir. C₃A oranı % 8 i geçmeyen portland çimentoları da kullanılabilir. Zararlı etkililik derecesinin çok kuvvetli olduğu hallerde sülfatlı cüruf çimentosu (TS 809) kullanılmalıdır.

Projelenme ve yapım sırasında göz önünde bulundurulacak yapısal kurallar: Taze dökülmüş, prizini tamamlanmamış betonlar ile yaşı nispeten genç betonlar, zararlı kimyasal etkiler karşısında çok daha duyarlı olduklarından bu gibi hallerde ve özellikle priz süresini tamamlamadan kimyasal zararlı etki karşısında bırakılmamalıdır. Betonun bu süre içinde zararlı etkiden korunabilmesi için temas yüzeyi bitümlü veya katran esaslı bir koruyucu ile yalıtılmalı veya diğer uygun yapısal koruyucu önlemler alınmalıdır. Beton dökümü olabildiğince tek bir iş kademesinde ve ara verilmeden tamamlanmalıdır. Beton yapı elemanlarının birbirlerinden derzlerle ayrılması zorunluluğu söz konusu olduğunda, bu derzlerin geçirimsizliği sağlanmalıdır. Çok kuvvetli etkinlik dereceli sular karşısında kalacak beton yapı elemanları özel yalıtım önlemleri ile zararlı etkiden korunmalıdır. Betonarme betonlarının söz konusu olduğu hallerde, donatının korozyondan korunabilmesi bakımından. Tablo 4.15. de gösterilen minimum pas payı değerlerinin altına inilmemelidir.

Tablo 4.15. Zararlı Etki Karşısında Bulunan Betonarme Yapı Elemanlarında Minimum Pas Payı Değerleri

"Beton Sınıfı"	Minimum Pas Payı (cm)	Klorürler Söz Konusu
(160)BS12	4,0	5,0
(225) BS20	-	4,5
(300) BS25	3,0	4,0
1) TS 500 Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları		

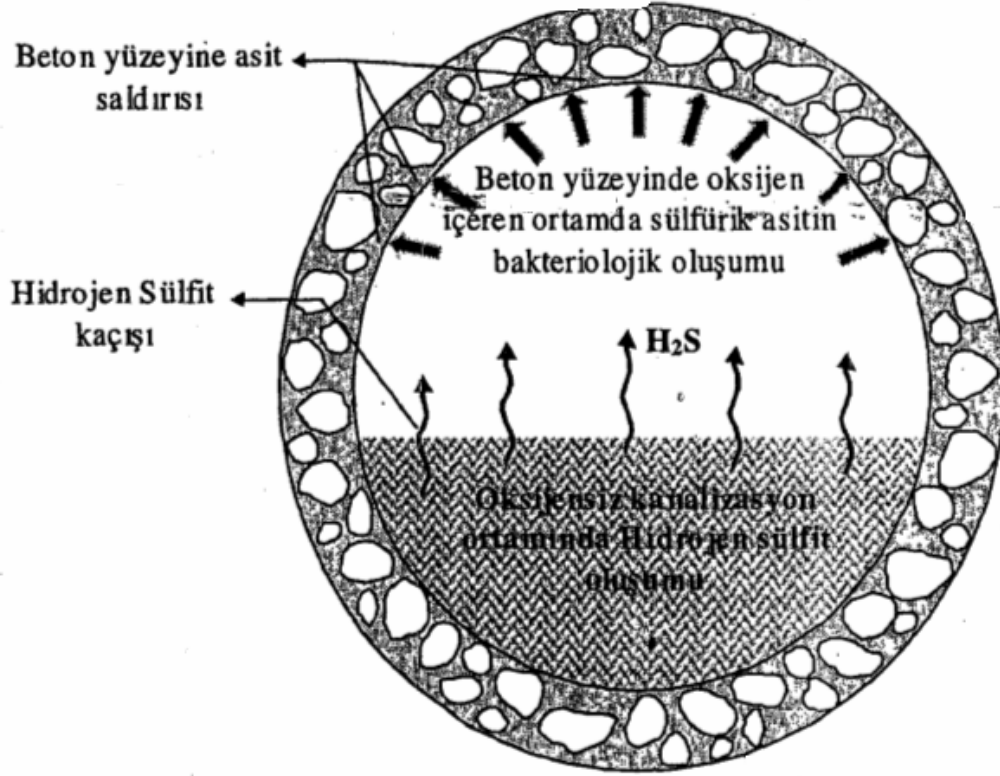
Ön gerilmeli beton yapılarda, donatıların korozyona uğramaları özel önlemler ile engellenmelidir. Beton yapımında kullanılacak agregalar temiz, sert ve yüksek dayanımlı kayalardan oluşmuş, TS 706 da belirtilen uygun granülometride olmalı, bilhassa kalker kökenli bulunmamalıdır. Beton karışımı hazırlanırken geçirim! iliği azaltıcı ve işlenebilme özeliğini arttırıcı katkıları kullanılmalıdır. Betonda priz hızını arttıran veya azaltan ve prizi etkileyen hiç bir katkı maddesi kullanılmamalıdır. Betonun olabildiğince vibratör ile sıkıştırılması tercih edilmelidir [21].

4.3.3 Durabiliteye etki eden biyolojik faktörler ve çiçeklenme

4.3.3.1. Biyolojik oluşumlar

Beton yapılar, üzerlerindeki veya yakınlarındaki biyolojik oluşumlardan etkilenebilirler. Bitki ve ağaç kökleri çatlaklı veya boşluklu bölgelerden betonun içine sızarak, büyüüp genişlerler. Oluşan genleşme etkisi sonucu betonarme elemanların çatlayıp, hasar görmeleri mümkündür. Suyu doğru ilerleyen köklerin, özellikle beton kümelerin içine sızıp boruları tıkadığı da görülmüştür. Bu tip bir olaya Ege Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi binalarında rastlanmıştır. Binaların çevresinde dikili olan okaliptüs ağaçlarının kökleri beton büzlerin içine girip, boruları tıkamıştır. Sızan sular ise münferit temellerin altına ilerleyip, yapıda önemli çatlaklara yol açmıştır. Beton boşluklarında büyüeyebilen köklerin beton elemanları çatlatılabildiği de bilinen bir olgudur. Bu tip biyolojik oluşumları nedeniyle su içeriğinin artmasıyla, betonun donma-çözülme ve diğer yıpratıcı etkilere % karşı dayanıklılığı da azalmaktadır, Mikroskobik oluşumlar ise hümik asit oluşturarak çimento harcının erimesine neden olabilirler. Uygulamada en çok rastlanan sorunlardan biri, kanalizasyon sistemlerinde görülen ve asit etkisine yol açan biyolojik oluşumlardır. Genelde evsel atıklar alkalın karakterde olup betona zarar vermezler. Ancak bu tip atıklar kükürtlü bileşenler içerirler. Anaerobik (oksijensiz) ortamda, kanalizasyon atıklarındaki sülfat ve bazı proteinlerden beton için fazla zararlı olmayan hidrojen sülfid (H_2S) gelişir. Anaerobik bakteriler havaya gereksinme duymayan, sülfatların oksijenini alarak yaşayan canlılardır. H_2S fermantasyonun göstergesi olup çürük yumurta kokusu yayar. Yüksek sıcaklıklar reaksiyonun hızını artırır. Ortamın kimyasal dengesi, hareketi, türbülansı gibi etkenlerle H_2S

kanalizasyon suyundan ayrılır ve kanalizasyon cidarlarındaki nem içinde erir. Ardından aerobik bakteriler tarafından okside edilerek, sonuçta sülfürik aside ve/veya çimentonun kireci ile birleşip alçıtaşına dönüşür. Bu yüzden asit etkisi atık su seviyesinin üstünde görülür (Şekil 4.20).



Şekil 4.20 Kanalizasyon borularında asit etkisi

Deniz yapılarında ise, yosun türü bazı deniz canlılarının beton yüzeyinde büyümeleri, bazı fiziksel ve kimyasal etkilere yol açabilir. Örneğin, beton elemanlar üzerinde büyüyen deniz canlıları oksijen tüketirler. Böylece beton içine difuze olacak oksijen miktarı azalır ve donatının korozyonu engellenir. Ayrıca, Şekil 6.2'de görüldüğü gibi, açıkta kalan yüzeylerde oluşan bozulma, devamlı su altında kalan, yosun tutmuş beton elemanlarda görülmemektedir. Ancak bazı deniz canlıları ve biyolojik oluşumlar ise asit içeren salgılan nedeniyle betonda hasar oluşturabilirler [20].

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

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

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

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

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

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

Betona sızan suyun sıcaklığı, betonun içerisine sızan suyun sıcaklığı ne kadar düşük olursa, kalsiyum hidroksitin çözünmesi o kadar hızlı olmaktadır. O bakımdan, kar sularının betondaki kalsiyum hidroksitin çözünmesindeki etkisi, yağmur sularınınkinden daha fazladır.

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

Tablo 4.16 Çiçeklenmeye yol açan tuzlar ve kaynakları [20]

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

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

(1) Beton, mümkün olabildiği kadar boşluksuz olmalıdır.

Agrega gradasyonu uygun olmalıdır.

Su/çimento oranı mümkün olabildiği kadar düşük olmalıdır.

Beton karışımında yer alan malzemeler ve oranları, taze betonun az terleme yapmasını sağlayacak tarzda olmalıdır.

Betonun karılması, taşınması, yerleştirilmesi, ve sıkıştırılması uygun tarzda ve segregasyon oluşturmayacak şekilde yerine getirilmelidir.

Beton, uygun tarzda ve yeterli süreyle kür edilmiş olmalıdır.

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

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

Derzler uygun tarzda yerleştirilmeli, ve derz aralıklarından su girmemesi için önlem alınmalıdır.

Yapıların üst yüzeyleri, su birikmesine yol açmayacak düzgünlüğe ve eğime sahip olmalıdır.

Betondaki kalsiyum hidroksit ve tuz miktarının nispeten az olabilmesini sağlayabilmek için:

(1) Uygun özellikteki çimento kullanılmalıdır.

(2) İnce taneli puzolanik katkı maddeleri kullanılmalıdır.

(3) Agregaya yıkanmış olmalı, içerisinde tuz ve yabancı maddeler bulunmamalıdır.

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

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

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

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

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

yapılan betonlarda, veya ince taneli puzolanik katkı maddelerin kullanılmasıyla üretilen betonlarda, daha az miktarda kalsiyum hidroksit bulunmaktadır. Daha az miktarda kalsiyum hidroksit içeren çimentolarda erime göstererek çiçeklenmeye yol açan kalsiyum hidroksit miktarı da daha az olmaktadır.

Agrega Özelliklerinin Etkileri ; Agregalar uygun gradasyonda olmalıdırlar. Aksi takdirde, hem betondaki segregasyon olasılığı artmakta, hem de belirli bir beton kıvamı elde edebilmek için daha çok su ihtiyacı doğmaktadır. Beton üretiminde kullanılan su miktarının artması ise, betonun daha boşluklu olmasına yol açmaktadır. Agregalar mutlaka yıkanmış ve temiz durumda olmalıdır. Deniz kumu veya denizden çıkartılmış çakıl kullanılmamalıdır. Bu tür agregaların üzerinde ve gözeneklerinde bazı tuzlar yer almaktadır. Denizden çıkartılmış olan agregalar, beton yapımından önce yıkanmaya tabi tutulsalar dahi, gözeneklerindeki kristal tuzlardan tamamen kurtulamamaktadırlar. Böyle bir agregayla yapılan betonun içerisine dışarıdan su sızması durumunda, veya nemli ortamda, agreganın gözeneklerindeki tuz eriyerek beton yüzeyine çıkabilmektedir.

Nem-Önleyici Katkı Maddelerinin Etkisi ; Sabun, mineral yağlar, petrol ürünleri gibi değişik maddelerden elde edilen nem-önleyici katkı maddelerinin su-itici özellikleri bulunmaktadır. Sabun esaslı katkı maddeleri, çimento miktarının %0.2' sini geçmeyecek miktarda kullanılmaktadır. Petrol yağları içeren katkı maddeleri, çimento miktarının %5'i kadar kullanılmaktadır. Nem önleyici katkı maddeler ile yapılan betonların yüzeyinden içeriye su sızması daha olmaktadır.

"Çiçeklerime" Lekelerini Temizleme Yöntemleri; İlk zamanlarda yer almış olan çiçeklenme lekesi, sert bir fırça ve basınçlı su yardımıyla ortadan kaldırılabilir. Ancak, beton yüzeyinde çok fazla miktarda kalsiyum karbonat veya kalsiyum sülfat birikintileri yer almış ise, bunların tamamının fırçalama ve su yardımıyla ortadan kaldırılabilmesi çok güç olmaktadır. Fazla miktarda çiçeklenme göstermiş olan beton yüzeyinin temizlenebilmesi için beton yüzeyi, önce, hidroklorik asit içeren bir su ile silinmekte, bu işlemi takiben, beton yüzeyi alkalın karakterde bir su ile yıkanmakta, ve en sonunda da, normal su ile yıkanmaya tabi tutulmaktadır. Temizleme işleminde kullanılacak asitli suyun

kompozisyonunun 100 kısım su için 5 kısım hidroklorik asit karışımından, veya 100 kısım suyla 20 kısım sirke karışımından oluşması önerilmektedir. Asitli su, sünger yardımıyla uygulanmaktadır. Asitli su uygulanmasının hemen sonunda uygulanacak alkalın karakterli su için, suya bir miktar amonyum katmak yeterli olmaktadır. Asitli ve alkalınli suların uygulanmaları sonunda, beton yüzeyi, normal su ile mutlaka iyice yıkanmış duruma getirilmektedir [14].

4.3.4. Durabiliteyi etkileyen maddelerin doğada bulunuşları

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

4.3.4.1. Deniz suyu

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

4.3.4.2 Dağ ve kaynak suları

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

4.3.4.3. Bataklık suları

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

4.3.4.4. Yeraltı suyu

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

4.3.4.5. Nehir suları

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

4.3.4.6. Kanalizasyon suları ve endüstri atığı sular

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

4.3.4.7.Sülfatlı zeminler

Genel olarak trias, jura ve tersiyer oluşumlarında, jipsli, anhidritli katmanlara rastlanır. Magnezyum sülfat ve sodyum sülfat gibi kolay çözünebilen sülfatlar tuz yatakları civarında bulunabilir.

4.3.4.8.Bataklık çamuru

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

4.3.4.9. Endüstri atığı dolgu zeminler

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

4.3.4.10. Gazlar

Yanma ile oluşan veya endüstri atığı şeklinde ortaya çıkan gazlarda, serbest mineral asitler ve organik asitlerle kükürt dioksit (SO_2), kükürtlü hidrojen (H_2S) bulunabilir. Bunlar, yağmur ve kar yağışları ile çözelti şekline gelerek veya nemli durumdaki betonla temas haline geldiklerinde betonu etkiler. Ayrıca bu gazların donma noktasının altındaki sıcaklıklarda da çözelti şekline gelerek betonu etkileyebileceği unutulmamalıdır. Endüstri atığı gazlarda bulunan sülfat vb. katı maddeler yoğunlaşan sıvı (kondensat) içinde çözülmüş olabilirler. Yanma ile oluşan gazlarda yer alan zengin karbondioksit (CO_2) kuru halde iken betonu etkilemez. Ayrıca beton yüzeyinde karbonatlaşmanın artması sonucunda beton geçirimsizliği artar ve bu husus donatının korozyondan korunmasına da yardımcı olur [21].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu deneysel çalışmada 250 dozajlı ve 400 dozajlı Portland Çimentosu 42,5 (PÇ 42,5) Puzolanik Çimento 32,5 (PZÇ 32,5) kullanılarak elde edilen beton numunelerinin su oranının % 5 konsantrasyonunda Hidroklorik Asit (HCl) ve Nitrik Asit (HNO₃) bulunan kür havuzlarında zaman içerisinde göstermiş olduğu basınç dayanım etkileri ayrıntılı olarak incelenmek istenmektedir.

Deney anlatımından önce Hidroklorik Asit ve Nitrik Asit in özelliklerini belirtmek gerekirse;

5.1. Hidroklorik Asit

Hidroklorik asit , hidrojen klorür gazının suda çözülmesi ile elde edilen , renksiz veya açık sarı renkte inorganik bir asittir [25]. Halk arasında tuz ruhu olarak bilinir ve temizlik maddesi olarak kullanıldığından beton borulardan oluşan atıksu kanallarına zarar vermektedir.

Sanayide kullanılan hidroklorik asit ;

Sınıf 1: Gıda ve benzeri sanayi kollarında kullanılan

Sınıf 2: Diğer sanayi kollarında (teknik) kullanılan

Sınıf 3: Temizleme işlerinde kullanılan (tuz ruhu)

Olmak üzere üç sınıfa ayrılır.

Görünüş; berrak olmalı, gözle görülebilir safsızlıklar bulundurulmamalıdır.

Renk; Sınıf 1 hidroklorik asit renksiz olmalıdır. Sınıf 2 ve Sınıf 3 hidroklorik asit renksiz veya açık sarı renkli olabilir.

Konsantrasyon (Toplam asit); hidroklorik asit konsantrasyonu ,en az Tablo 5.1 ‘de belirtilen değerlerde olmak üzere beyan edilen değerden daha az olmamalıdır.

Diğer fiziksel ve kimyasal özellikler ; Tablo 5.1 ‘ de verilen değerlere uygun olmalıdır [25].

Tablo 5.1. Hidroklorik asidin diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Sınıf 1	Sınıf 2	Sınıf 3
Yoğunluk gr/ml ,en az	1,098	1,149	1,088
Toplam asit , kütlece % HCl olarak , en az	20	30	18
Sülfat külü , kütlece % olarak ,en çok	0,01	0,1	-
Sülfat , kütlece % H ₂ SO ₄ olarak ,en çok	0,02	0,1	-
Yükseltgen maddeler kütlece , %Cl olarak ,en çok	0,002	0,002	-
İndirgen maddeler ,kütlece %SO ₂ olarak ,en çok	0,002	0,002	-
Demir ,kütlece %Fe olarak ,en çok	0,0001	0,002	-
Ağır metaller,kütlece % Pb olarak ,en çok	0,0001	-	-
Arsenik , kütlece %As olarak ,ençok	0,0002	0,0005	-
Civa , kütlece % Hg olarak ,en çok	0,0005	-	-

5.2. Nitrik Asit

Nitrik asit ,kimyasal formülü HNO₃ olan , berrak ,genellikle renksiz veya açık sarı renkte ,yakıcı, korozif inorganik bir maddedir [26]. Sanayide gübre üretiminde ve patlayıcı madde üretiminde kullanılır ve bu sanayilerin arıtma tesislerindeki betonlara zarar vermektedir.

Sanayide kullanılan nitrik asit ;

Sınıf 1: Nitrolama işlerinde kullanılan nitrik asit

Sınıf 2: Diğer sanayi kollarında kullanılan nitrik asit

Olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

Tipler ; Sınıf 2 , diğer sanayi kollarında kullanılan nitrik asit, safsızlığına göre Tip 1 Tip 2 olmak üzere iki tipe ayrılır. Nitrik asit konsantrasyonu ,en az Tablo 5.2 de

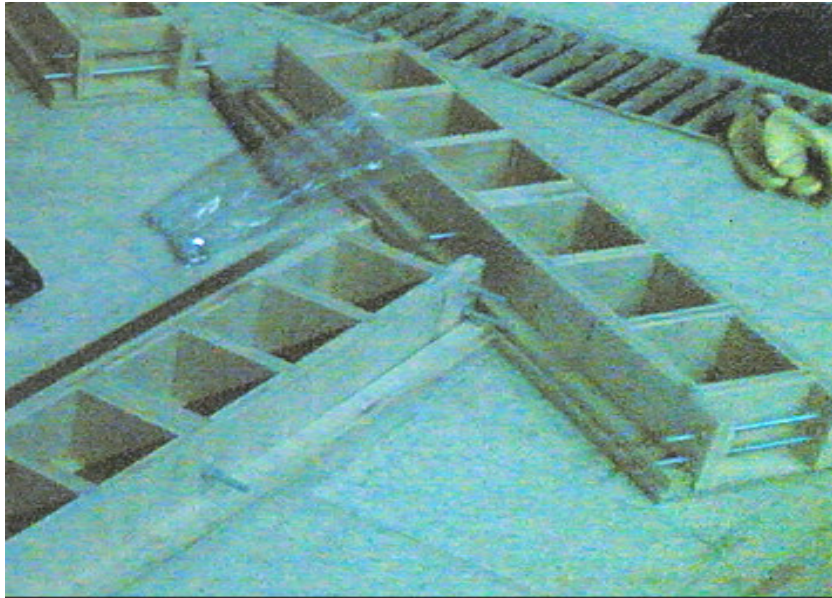
belirtilen değerden daha az olmamalı ve nitrik asidin diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri de Tablo 5.2 ye uygun olmalıdır.

Tablo 5.2. Nitrik asidin diğer fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellikler	Sınıf 1	Sınıf 2	
		Tip 1	Tip 2
Nitrik asit, kütlece % en az	98	50	50
Yoğunluk (20 C), gr/ml ,en az	1,5	1,31	1,31
Kızdırma kalıntısı, kütlece % en çok	0,05	0,01	0,1
Klorürler (HCl olarak)kütlece % en çok	0,01	0,001	0,3
Sülfatlar (H ₂ SO ₄ olarak)kütlece % en çok	0,08	0,005	0,05
Ağır metaller (Pb olarak) kütlece % en çok	0,1	Bulunmamalı	Bulunmamalı
Azot Oksitleri (HNO ₂ olarak)kütlece % en çok	0,15	0,05	-
veya (N ₂ O ₄ olarak) kütlece % en çok	0,3	0,1	-
Arsenik ,kütlece % en çok	-	0,0005	-

5.3. Deney Anlatımı

10x10x10 cm boyutlarında küp beton numunelerinin hazırlanabilmesi için beton suyu kaybını engellemek amaçlı plywood malzemesinden Şekil 5.1 de görüldüğü üzere kalıplar hazır hale getirilmiştir. Yapılan beton karışımının içindeki suyun emilmemesi karışım oranlarının bozulmaması açısından bu tür kalıplar önem arz etmektedir.



Şekil 5.1. Deney beton numune kapları

Beton karışım miktarları ve karışımda kullanılacak malzeme miktarları ile ilgili değerler Tablo 5.1. de verilmiştir. Bu deneyde amaç, belirli bir beton sınıfı oluşturarak beton basınç dayanım etkilerini görmek değil, 250-400 dozlu beton oluşturarak bunların zaman içerisinde gösterdikleri beton basınç dayanımlarını incelemektir.

Tablo 5.1. Deney numuneleri karışım miktarları

	250 dozlu Karışım		birim	400 dozlu Karışım	
	PÇ 42,5	PZÇ 32,5		PÇ 42,5	PZÇ 32,5
ÇİMENTO	25	25	kg	40	40
SU	15	15	lt	24	24
KUM	108	108	kg	88	88
1 NO MICI	62	62	kg	50	50
2 NO MICI	31	31	kg	25	25

Tablo 5.1. deki deney numuneleri karışım miktarları 10 x 10 x 10 cm boyutlarındaki küp beton numunelerinden 100 adet elde edilebilmesi amacıyla belirlenen 0.1 m³ beton hacmine denk gelen miktarlardır. Fakat kalıplara 90 ar adet gruplar halinde betonlar yerleştirilecektir. 100 adet hazırlanmasındaki gerekçe kalıplara iyice yerleştirirken zaiyat olabileceğini de göz önüne almaktır. Kalıplara 90 ar adet numune yapılmadaki amaç ise iki yıl boyunca beton basınç dayanımlarını takip edebilmek içindir.

Beton karışımı için gerekli olan malzemeler elektronik tartı yardımıyla tartıldıktan sonra kuru, temiz ve düzgün bir zeminde homojen bir karışım elde edinceye kadar Şekil 5.2 de görüldüğü üzere iyice karıştırılır.



Şekil 5.2. Harç için gerekli olan karışımdan bir görünüm

Homojen karışımı elde edilen harç daha evvelden beton numunelerinin çıkartılması sırasında kaba yapışmaması için kalıp yağı ile yağlanmış hazır olan numune kaplarına Şekil 5.3 teki gibi 2 kademedede ve her kademedede 25 er defa şişlenmek ve tokmaklamak üzere ilave edilir. Tokmaklamak ve şişlemek betonun sıkışması ve hava boşluklarının alınması açısından önemli bir faktördür. Betonun iyice kalıp içerisine yerleştiğinden emin olunduktan sonra mala ile üst tesviyesi ve düzeltme işlemi Şekil 5.4. te görüldüğü üzere gerçekleştirilir.



Şekil 5.3. Kalıplara beton numune yerleşimi



Şekil 5.4. Kalıplardaki betonun tesviye işlemi

90 ar adet 4 grup halinde hazırlanmış beton numunelerimiz düzgün eğimi olmayan zemin üzerinde laboratuvar içinde gölgede 24 saat bekletildikten sonra Şekil 5.5 deki gibi kalıplarından yavaşça zarar görmeyecek şekilde çıkartılırlar.



Şekil 5.5. Kalıplardan çıkarılmış beton numuneleri

Kalıplarından çıkartılan tüm beton numuneleri ilk anda asitli ortamlarda zarar görmemesi için 28 günlüğüne normal su ile dolu kür havuzuna yerleştirilir.

90 'ar adet 4 grup halinde hazırlanan beton numuneleri;

1.grup 90 adet 250 dozlu portland çimentosu 42.5 kullanılarak hazırlanan beton numuneleri, 2.grup 90 adet 250 dozlu puzolanik çimento 32.5 kullanılarak hazırlanan beton numuneleri, 3.grup 90 adet 400 dozlu portland çimentosu 42.5 kullanarak hazırlanan beton numuneleri, 4.grup 90 adet 400 dozlu puzolanik çimento 32.5 kullanılarak hazırlanan beton numuneleridir

İlk 28 gününü tamamlamış olan 4 grup halindeki beton numunelerinden 3 er adet alınarak şahit numune olarak basınç dayanımına tabi tutulur. Bu sonuçlar Kgf olarak Tablo 5.2 den Tablo 5.9 a kadar gösterilmektedir.

Bakım ve kürü tamamlanan ilk 28 gününü doldurmuş olan beton numuneler havuzlarından çıkartılır. 4 ayrı grup 90 ar adet halinde hazırlanmış olan beton numuneleri her gruptan 30 ar adet ayrılarak 3 farklı ortama sahip havuzlara yerleştirilir. Bu havuzlar;

a) Su miktarının %5 konsantrasyonunda hidroklorik asit (HCl) içeren havuz,

b) Su miktarının %5 konsantrasyonunda nitrik asit (HNO₃) içeren havuz,

c) Ve de normal su içeren şahit havuz.

Şekil 5.6 da havuzlarda bulunan beton numuneleri görülmektedir.



Şekil 5.6. Hidroklorik asit (HCl) ve nitrik asit (HNO₃) bulunan kür havuzları

Şahit havuzdaki 28+28 gününü dolduran ve gerçek beton yaşı 56 gün olan fakat hidroklorik asitli ve nitrik asitli havuzlarda 28 gününü dolduran beton numuneleri havuzlarında 4 grup olarak bulunan ve bu gruplardan 3'er adet alınarak Şekil 5.7 de görüldüğü üzere basınç deneyine tabi tutulur.



Şekil 5.7. Beton numunesinin basınç deneyine tabi tutulması

Basınç deneyine tabi tutulan beton numunelerinin değerleri Tablo 5.2 den Tablo 5.33 e ve Şekil 5.8 den Şekil 5.15 ye kadar gösterilmektedir.

Tablo 5.2.Hidroklorik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	24.535	22.170	23.275	23.326
28	Hidroklorik Asit	24.350	25.415	25.970	25.245
28+28	Şahit Num.	24.980	22.555	23.250	23.595
PÇ 42,5 250 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.3.Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	8.430	10.935	10.525	9.963
28	Hidroklorik Asit	10.230	10.260	7.160	9.216
28+28	Şahit Num.	10.945	11.170	11.355	11.156
PZÇ 32,5 250 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.4.Hidroklorik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	34.355	38.325	41.730	38.136
28	Hidroklorik Asit	27.160	26.545	24.515	26.073
28+28	Şahit Num.	37.310	30.680	24.515	30.835
PÇ 42,5 400 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.5.Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	18.810	20.550	17.210	18.856
28	Hidroklorik Asit	17.380	18.010	19.160	18.183
28+28	Şahit Num.	18.495	17.495	15.565	17.185
PZÇ 32,5 400 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.6.Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri

NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	24.535	22.170	23.275	23.326
28	Nitrik Asit	19.500	21.110	16.970	19.193
28+28	Şahit Num.	24.980	22.555	17.250	21.595
PÇ 42,5 250 Doz , Birim: MPa					

Tablo 5.7.Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri

NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	8.430	10.935	10.525	9.963
28	Nitrik Asit	9.065	9.110	7.640	8.605
28+28	Şahit Num.	10.945	11.170	11.355	11.156
PZÇ 32,5 250 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.8.Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri

NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	34.355	38.325	41.730	38.136
28	Nitrik Asit	36.890	26.010	35.185	32.695
28+28	Şahit Num.	37.310	30.680	33.210	33.734
PÇ 42,5 400 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.9.Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 28 günlük beton basınç değerleri

NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
28	Şahit Num.	18.810	20.550	17.210	18.856
28	Nitrik Asit	17.330	17.770	15.460	16.853
28+28	Şahit Num.	18.495	17.495	15.565	17.185
PZÇ 32,5 400 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.10.Hidroklorik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	Hidroklorik Asit	25.575	25.450	25.070	25.365
28+56	Şahit Num.	31.765	29.165	22.470	27.800
PÇ 42,5 250 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.11.Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	Hidroklorik Asit	9.920	9.425	9.310	9.551
28+56	Şahit Num.	11.580	12.120	12.230	11.976
PZÇ 32,5 250 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.12.Hidroklorik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	Hidroklorik Asit	37.180	38.040	41.285	38.835
28+56	Şahit Num.	37.005	32.860	41.880	37.248
PÇ 42,5 400 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.13.Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	Hidroklorik Asit	20.690	19.360	19.710	19.920
28+56	Şahit Num.	17.440	19.065	19.315	18.606
PZÇ 32,5 400 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.14.Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri

NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	Nitrik Asit	26.370	28.750	26.755	27.291
28+56	Şahit Num.	31.765	29.165	22.470	27.800
PÇ 42,5 250 Doz , Birim: MPa					

Tablo 5.15.Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri

NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	Nitrik Asit	9.745	9.385	9.290	9.473
28+56	Şahit Num.	11.580	12.120	12.230	11.976
PZÇ 32,5 250 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.16.Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri

NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	Nitrik Asit	27.830	29.090	33.110	30.010
28+56	Şahit Num.	35.000	32.120	34.880	34.000
PÇ 42,5 400 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.17.Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 56 günlük beton basınç değerleri

NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
56	Nitrik Asit	17.440	19.065	19.315	18.606
28+56	Şahit Num.	20.430	20.010	18.070	19.503
PZÇ 32,5 400 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.18.Hidroklorik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	Hidroklorik Asit	26.480	24.380	29.760	26.873
28+90	Şahit Num.	31.175	22.670	32.860	28.902
PÇ 42,5 250 Doz Birim: MPa					

Tablo 5.19.Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	Hidroklorik Asit	10.330	8.865	9.100	9.432
28+90	Şahit Num.	13.420	10.785	11.355	11.853
PZÇ 32,5 250 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.20.Hidroklorik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	Hidroklorik Asit	43.860	48.330	34.975	42.388
28+90	Şahit Num.	41.210	33.200	29.450	34.603
PÇ 42,5 400 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.21.Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	Hidroklorik Asit	19.930	17.235	17.800	18.321
28+90	Şahit Num.	21.295	20.170	20.175	20.547
PZÇ 32,5 400 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.22.Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri

NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	Nitrik Asit	26.890	24.700	27.360	26.317
28+90	Şahit Num.	26.480	24.380	29.760	26.873
PÇ 42,5 250 Doz , Birim: MPa					

Tablo 5.23.Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri

NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	Nitrik Asit	10.200	9.800	11.700	10.567
28+90	Şahit Num.	13.420	10.785	11.355	11.853
PZÇ 32,5 250 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.24.Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri

NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	Nitrik Asit	36.190	37.545	33.685	31.807
28+90	Şahit Num.	41.210	33.200	29.450	34.603
PÇ 42,5 400 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.25.Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 90 günlük beton basınç değerleri

NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
90	Nitrik Asit	22.035	17.455	19.995	19.828
28+90	Şahit Num.	21.295	20.170	20.175	20.547
PZÇ 32,5 400 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.26.Hidroklorik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	Hidroklorik Asit	27.855	28.080	29.015	28.317
28+180	Şahit Num.	34.445	30.650	31.440	32.178
PÇ 42,5 250 Doz Birim:MPa					

Tablo 5.27.Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	Hidroklorik Asit	10.440	7.520	9.645	9.202
28+180	Şahit Num.	8.985	12.815	13.175	11.658
PZÇ 32,5 250 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.28.Hidroklorik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	Hidroklorik Asit	39.540	41.135	40.445	40.373
28+180	Şahit Num.	46.535	51.850	52.005	50.130
PÇ 42,5 400 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.29.Hidroklorik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

HİDROKLORİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	Hidroklorik Asit	20.105	18.055	17.640	18.600
28+180	Şahit Num.	26.200	26.850	26.900	26.650
PZÇ 32,5 400 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.30.Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	Nitrik Asit	29.255	23.730	25.045	26.010
28+180	Şahit Num.	34.445	30.650	31.440	32.178
PÇ 42,5 250 Doz , Birim: MPa					

Tablo 5.31.Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

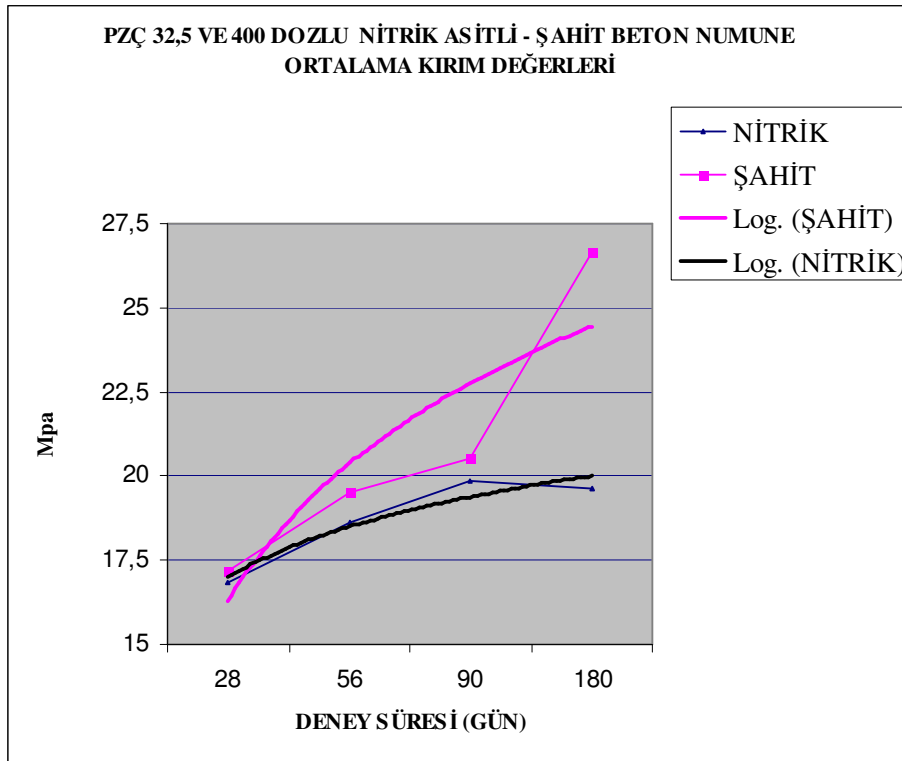
NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	Nitrik Asit	8.445	8.025	8.855	8.442
28+180	Şahit Num.	8.985	12.815	13.175	11.658
PZÇ 32,5 250 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.32.Nitrik asitli ortam P.Ç. 42.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

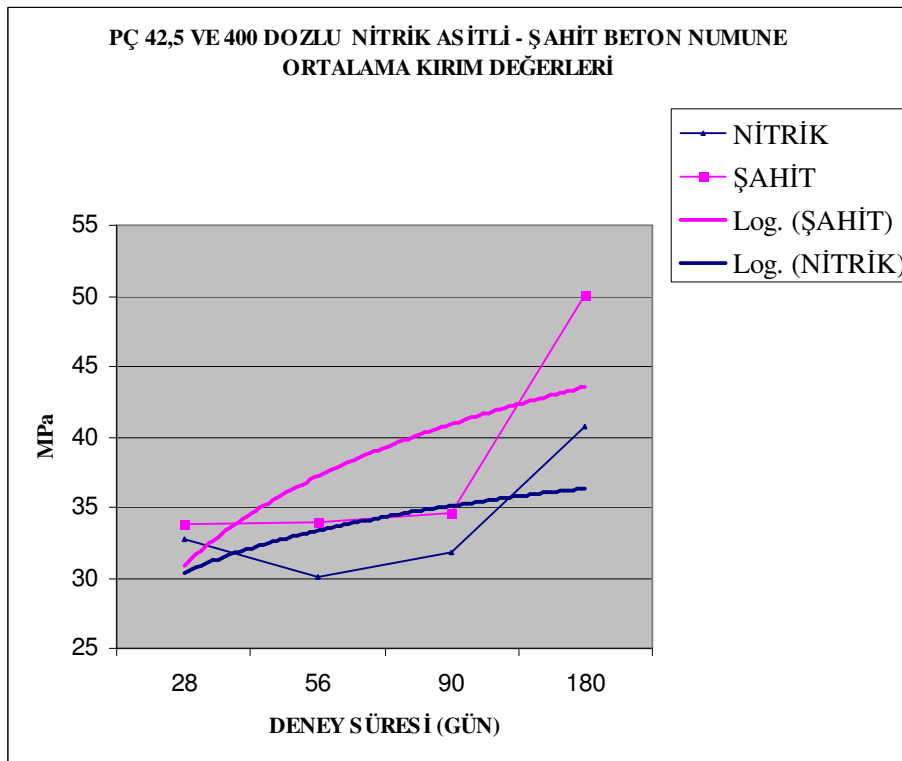
NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	Nitrik Asit	42.610	39.820	39.570	40.667
28+180	Şahit Num.	46.535	51.850	52.005	50.130
PÇ 42,5 400 Doz / Birim: MPa					

Tablo 5.33.Nitrik asitli ortam P.Z.Ç. 32.5 ve 180 günlük beton basınç değerleri

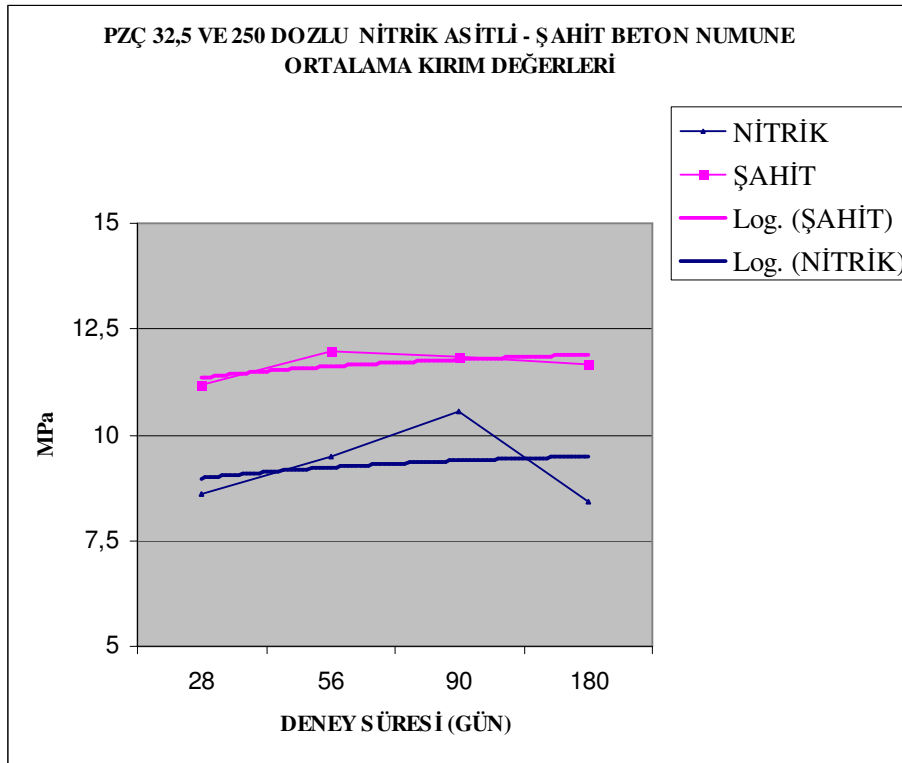
NİTRİK ASİTLİ ORTAM					
Gün	Tanım	Num. 1	Num. 2	Num. 3	Ortalama
180	Nitrik Asit	20.020	19.375	19.475	19.607
28+180	Şahit Num.	26.200	26.850	26.900	26.650
PZÇ 32,5 400 Doz / Birim: MPa					



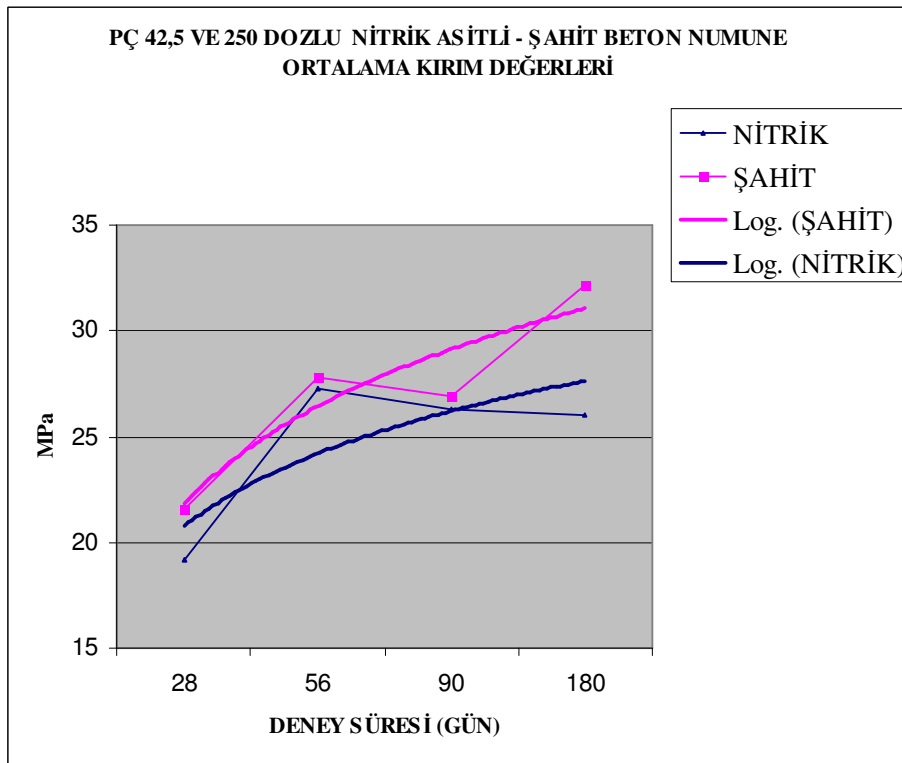
Şekil 5.8. Pzç 32.5 ve 400 dozlu nitrik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri



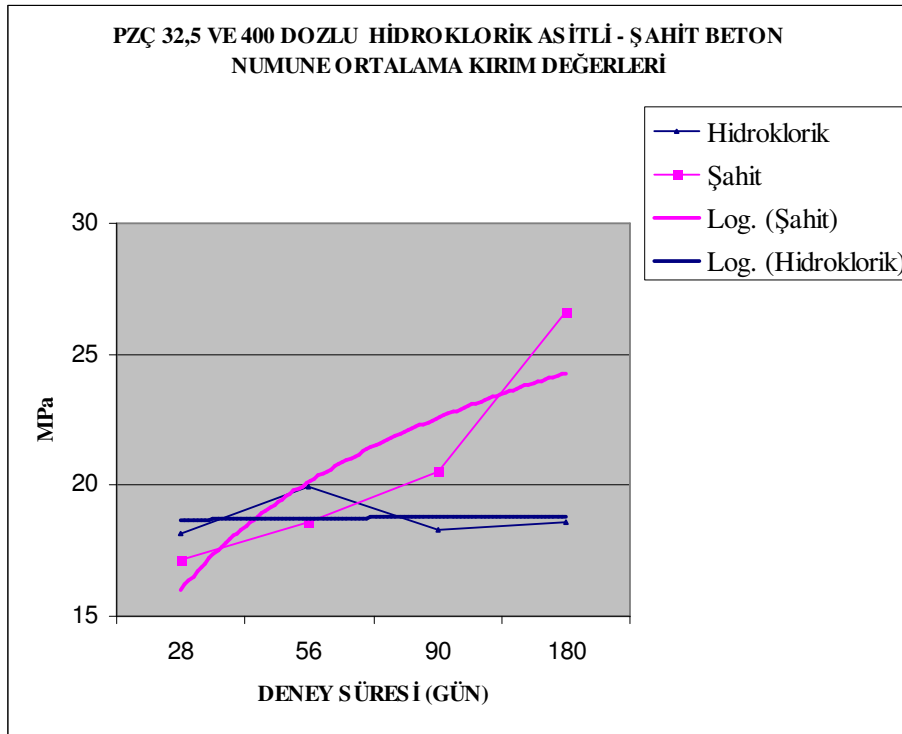
Şekil 5.9. Pç 42.5 ve 400 dozlu nitrik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri



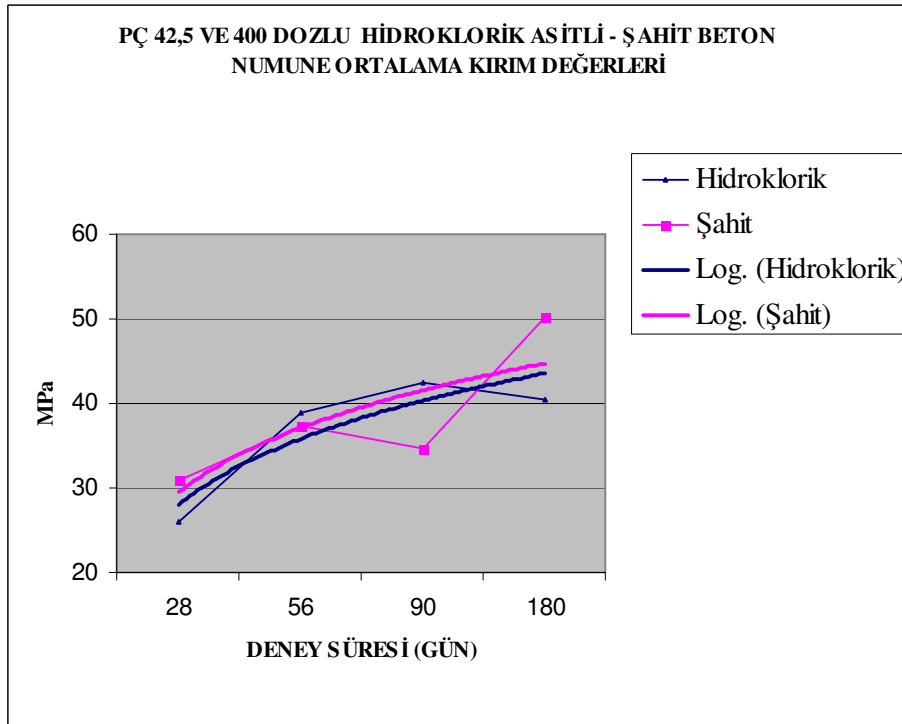
Şekil 5.10. Pzç 32.5 ve 250 dozlu nitrik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri



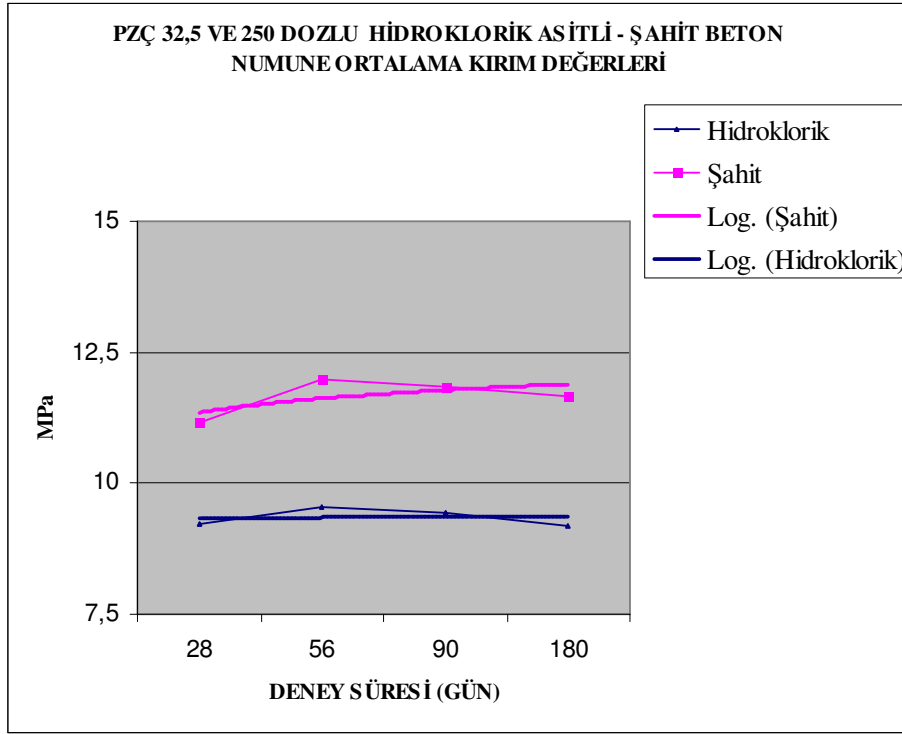
Şekil 5.11. Pç 42.5 ve 250 dozlu nitrik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri



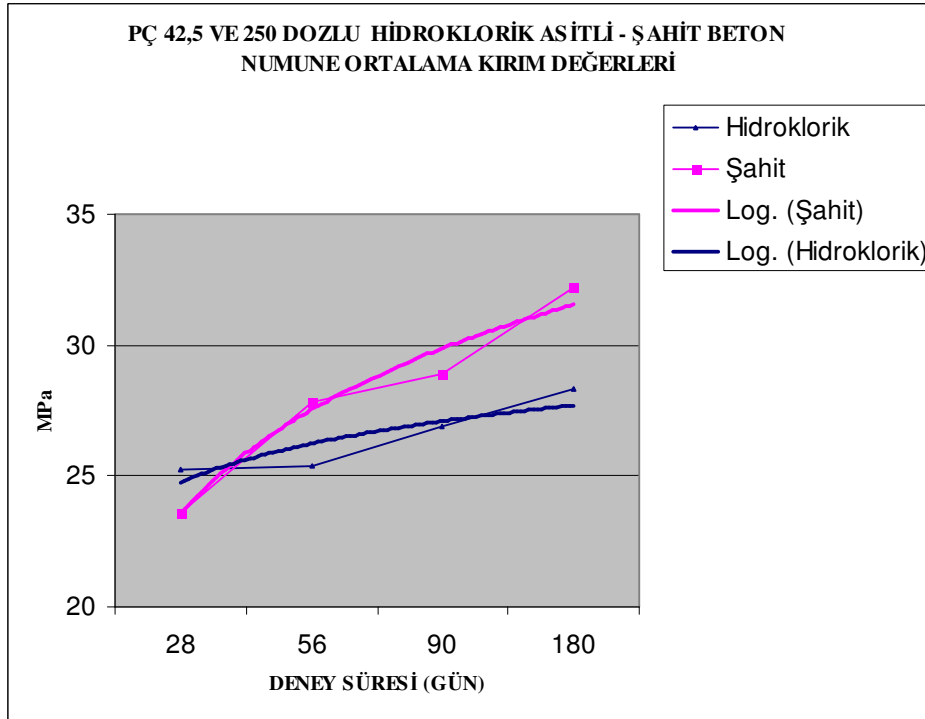
Şekil 5.12. Pzç 32.5 ve 400 dozlu hidroklorik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri



Şekil 5.13. Pç 42.5 ve 400 dozlu hidroklorik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri



Şekil 5.14. Pzç 32.5 ve 250 dozlu hidroklorik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri



Şekil 5.15. Pç 42.5 ve 250 dozlu hidroklorik asitli-şahit beton numune ortalama kırım değerleri

BÖLÜM 6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Hemen hemen bütün asitler zaman içerisinde betona bir şekilde zarar vererek dayanımını ve dayanıklılığını azaltmaktadır. Bu uzun yıllar içerisinde meydana gelmektedir. Yanı dış etkilerin betona verdiği zararlar bir süreç içerisinde ortaya çıkmaktadır. Yaptığımız çalışma aslında uzun süreli bir çalışmadır. Ancak master programı içerisindeki süre kısıtlı olduğundan bu değerlendirmeyi 28+180 günde yapma zorunluluğu doğmuştur. Ürettiğimiz betonları 28 gün normal suda beklettikten sonra 180 gün boyunca (6 ay) asitli ortamlarda tutulmuştur. Bundan sonraki sürede kırılacak betonlar da mevcuttur.

Deneyisel çalışmada elde edilen 28,56,90 ve 180 günlük sonuçlar değerlendirildiğinde şu sonuçlara varmak mümkündür.

Tüm verilere bakıldığında şahit betonla asitli ortamda kalan betonlar arasındaki dayanım farkı kısa sürede çok az belirgin olmuştur. Bazen de ters durumlarla karşılaşmıştır. Bu gibi durumların da numune özelliklerinden kaynaklandığını ifade edebiliriz. Numunelerin dökümü sırasında tam homojenlik sağlanamaması ve numune sayısının az olması gibi durumları ortaya koymuş olduğu söylenebilir.

Şekil 5.8 de Pzç 32.5 ve 400 dozlu numunelerin nitrik asitli ortamda kalmasıyla 180 gün sonunda ulaştığı değerler grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafikten kısa sürede çok az etki 180 gün sonunda daha belirginleşmiş %35 lere ulaşan bir fark oluşmuştur.

Şekil 5.9 de Pç 42.5 ve 400 dozlu numunelerin nitrik asitli ortamda olan numunelerin grafiğinde görüldüğü gibi yine 180 gün sonunda asitli ortamdaki numune ile normal suda bekletilen numune arasındaki fark % 25 lere ulaşmıştır. Numunelerdeki dalgalanmalar yukarıda da ifade ettiğimiz nedenlerden kaynaklanmaktadır.

Şekil 5.10 de Pzç 32.5 ve 250 dozlu numunelerle ilgili sonuçlar grafikten görüldüğü gibi 180 gün sonunda fark % 38 olmuştur.

Şekil 5.11 de Pç 42.5 ve 250 dozlu numuneler de ise bu fark % 24 mertebelerindedir.

Şekil 5.12 de Pzç 32.5 ve 400 dozlu hidroklorik asitli ortamlarda bırakılan numunelerin grafiğinden kısa süreli mukavemetlerde çelişkili sonuçlar görülmektedir. Zaten kısa sürede kesin bir etki beklemek yanlış olur. Öyle olsa idi binaların ömrü çok kısa olurdu. Betonunda bir dayanım süresi mevcuttur. Ancak bu 180 gün sonunda belirginleşmeye başlamıştır. Görüldüğü gibi fark % 43 olmuştur.

Şekil 5.13 de Pç 42.5 ve 400 dozlu hidroklorik asitli ortamlarda kalan numunelerde yine kısa sürede olumlu bir sonuç elde edilememiştir. 180. günde fark oluşmuş ve % 25 civarında gerçekleşmiştir.

Şekil 5.14 de Pzç 32.5 ve 250 dozlu hidroklorik asitli ortamlarda kalan numunelerin grafiğinden de anlaşıldığı gibi 28,56,90 ve 180 günde şahit betonla hidroklorik asitte kalan betonlar arasında belirgin farklar görülmektedir. Her aşamada bu farkın yaklaşık % 25 -26 civarında olduğu görülmektedir.

Şekil 5.15 de Pç 42.5 ve 250 dozlu hidroklorik asitli ortamda bulunan numunelerin grafiğinden de görüleceği gibi asitli ortam beton mukavemetini azaltmaktadır. 180. günde fark %14 mertebesinde olmuştur.

Çimento cinsine göre bakarsak Pç 42.5 kullanarak elde edilen numunelerde bu fark Pzç 32.5 numunelerine göre daha az olmaktadır. Bunun nedeni hem çimento mukavemetinin yüksek olması hem de puzolonik çimentonun zamanla daha çok dayanım kazanmaya devam etmesi gösterilebilir. Çünkü hala yapısında tepkimeye girmeyen puzolonik madde olmaktadır. Asitli ortam bunu engellemiş olabilir.

BÖLÜM 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bir çok çalışmalarda olduğu gibi betonun dayanımına dış ortamın etkisi önemli olmaktadır. Çalışmamızda etkisini görmek istediğimiz HCl ve HNO₃ lerin her ikisi de betona zamanla zarar verebileceği gösterilmiştir. Bu nedenle betonlarımızı bu gibi asitli ortamlardan korumak ve uzak tutmak gerekmektedir.

Asitlerin betona zararı zamanla olmaktadır. Bu gibi deneysel çalışmalar uzun süreli olursa daha belirgin sonuçlar elde edilebilir. Yaptığımız çalışmanın devamında bunu görmek mümkün olacaktır. Bu amaçla da asit ortamlarda hala devam eden süreçte değerlendirilecek numuneler mevcuttur.

Genel bir tavsiye olmakla birlikte beton mukavemetinin asitlere karşı olan dayanıklılıklarının artmasında önemli olduğunu söyleyebiliriz. Beton ne kadar mukavemetli olursa dayanıklılığı da o derece yükselir. Tavsiyemiz o dur ki C20 betonları yerine daha yüksek mukavemetli betonlarla çalışılması durabilite açısından daha uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] BATI BETON , “ Hazır Beton El Kitabı”, İzmir 2001
- [2] ŞİMŞEK, O. , “ Beton Teknolojisi “, Ankara 1997
- [3] POSTACIOĞLU, B. , “Beton Teknolojisi”, Ankara 1987
- [4] ERDOĞAN, T. , “Betonu Oluşturan Malzemeler Çimentolar”, İstanbul 1995
- [5] TS 24 , “Çimentoların Fiziksel Muayene Metodları”, TSE, Ankara 1978
- [6] ÜNAL, O. , “Beton Teknolojisi ve Yapı Laboratuvarı Ders Notları” Afyon 2002.
- [7] Beton Katkı Bülteni , Yıl:1 Sayı:2 Haziran, İstanbul 1999
- [8] TMMOB İnş. Müh. Od. “4. Ulusal Beton Kongresi”, İstanbul 1996
- [9] Sika Ürün Kılavuzu, İstanbul ,1998
- [10] T.S. 3452, “Beton Kimyasal Katkı Maddeleri”, (Priz Süresini Ayarlayan ve Karışım Suyunu Azaltan) Şubat 1984 (Tadil-1/Şubat 88)
- [11] POSTACIOĞLU, B. , “Beton Cilt 1”, İstanbul 1986
- [12] T.S. 3456, “Betona Hava Sürükleyici Katkı Maddeleri”, Şubat 1984
- [13] ACI Committee , (116R-90), “Cement and Concrete Terminology,” ACI Manual of Concrete Practice, Part I , 1994.

- [14] ERDOĞAN, T.Y. , “Beton” ODTÜ, 2003
- [15] Neville , A.M., Properties of Concrete , Longman Scientific & Technical, England, 1981
- [16] TS EN 206-1 “Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk “ 2002
- [17] ACI Committee 201,” Guide to Durable Concretes, “ACI Manual of Concrete Practice, Part I, 1994
- [18] Woods, H., “Durability of Concrete Construction”, ACI Monograph No.4 , ACI , Detroit , Michigan, 1968
- [19] Mehta , K.P., “Durability- Critical Issues for the Future “ Concrete International , July 1997, pp. 27-33
- [20] Baradan, B., Yazıcı,H. Ve Ün, H., “Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Dokuz Eylül Üniv. Müh. Fak. Yayın No: 298, 2002
- [21] KULOĞLU, N., ve KÖK, B. V. , “Karayollarında Kar ve Buz Mücadelesinde Kullanılan Tuzun Beton Asfalt Kaplamaya Etkisi” F. Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17 (1), 87-96, Elazığ, 2005
- [21] TS 3440 “ Zararlı Kimyasal Etkileri Olan Su,Zemin ve Gazların Etkisinde Kalacak Betonlar İçin Yapım Kuralları” Mayıs 1982
- [22] Mindess, S.and Young, J.F., Concrete, Prentice – Hall, Inc., New Jersey, 1981
- [23] www.teknolojikarastirmalar.com Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2006 29 – 35 Kısa Makale Betonun Zararlı Ortamlardaki Durumu: Yeraltı Suyu Etkisi UYGUNOĞLU ,T., Kemal Tuşat YÜCEL, K. T. , YURTCU, Ş.
- [24] BARADAN ,B. ,YAZICI. H. , TMH – Türkiye Mühendislik Heberleri Sayı 426 – 2003/4
- [25] TS 883 “ Hidroklorik Asit Sanayide Ve Tuz Ruhu Olarak Kullanılan ” Aralık 1997
- [26] TS 830 “ Nitrik Asit - Sanayide Kullanılan ” Nisan 1987

ÖZGEÇMİŞ

Cüneyt Liman 16.09.1979 yılında Hendek/Sakarya' da doğmuştur. İlk orta ve lise öğrenimini Hendek' te tamamlamıştır. 1997 yılında Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü' nde lisans eğitimini almaya hak kazanmıştır. 2001 yılında lisans eğitiminden mezun olmuştur. 2003 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Malzemesi Bilim Dalı' nda yüksek lisansa başlamıştır. Halen özel bir şirkette çalışmaktadır.