

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

**KENTSEL ATIKSULARIN BETON BORULARA
OLAN KOROZİF ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE
UYGUN ÜRÜN GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Yavuz BÜLBÜL

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Recep İLERİ

Mayıs 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KENTSEL ATIKSULARIN BETON BORULARA
OLAN KOROZİF ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE
UYGUN ÜRÜN GELİŞTİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Müh. Yavuz BÜLBÜL

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 31/05/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Recep İLERİ
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Lütfi SALTABAŞ
Jüri Üyesi

Yrd. Doç.Dr. Asude ATEŞ
Jüri Üyesi

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın yűrűtűlmesinde yardımlarıyla bize ışık tutan Sayın Danıőmanım Prof. Dr. Recep İLERİ'ye, çalıőmalar esnasında cűmerte yol gűsteren İstanbul Anadoluray Metro Projesi Kalite Kontrol Őefi Sayın Ahmet Tufan YILDIRIM'a, Net Arıtma ve evre Sistemleri Ltd.Őti., Arme İnőaat Ltd.Őti, İston A.Ő. firmalarında çalıőan arkadaşlara, İ.S.K.İ. Kadıkűy Őube Műdűrű Secaattin VARER ve bűtűn çalıőma arkadaşlarına, manevi desteklerinden dolayı eőim Ebru BŬLBŬL'e teőekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
BETON BORU İÇERİĞİ VE İMALATI.....	4
2.1. Beton muhteviyatı.....	4
2.1.1. Çimentolar.....	4
2.1.1.1. Portland çimentosu.....	5
2.1.1.2. Yüksek fırın cüruf çimentosu.....	7
2.1.1.3. Traslı çimento.....	8
2.1.1.4. Uçucu küllü çimento.....	10
2.1.1.5. Sülfata dayanıklı çimento.....	11
2.1.1.6. Alüminli çimento.....	12
2.1.2. Agrega.....	13
2.1.3. Su.....	15
2.2. Beton imalatı.....	16
2.3. Betonun şekillendirilmesi ve bakım kuralları.....	18
2.4. Beton boru imalat kuralları.....	19

2.4.1. Malzeme seçimi.....	20
2.4.2. Beton boru imalat metotları.....	22
2.4.2.1. Kalıba dökme ve titreşimle sıkıştırma metoduyla boru yapımı.....	23
2.4.2.2. Döner başlıklı kalıplarla üretim.....	24
2.4.2.3. Titreşimli tokmaklamalarla boru imalatı.....	24
2.4.2.4. Savurma dökümle boru imalatı	25
2.5. Beton boru bakım kuralları.....	26
2.6. Beton boruların dizaynında kırılma mekaniği.....	27
2.7. Dairesel borularda eğilme modunun boyut, şekil ve kırılma dayanımına etkisi.....	28
2.8. Zararlı kimyasal tesirlere karşı beton borularda meydana gelen mukavemet değişimi.....	30
2.9. Zararlı kimyasal etkilere dayanıklı beton boru yapım kuralları.....	32
2.9.1. Çimento cinsinin seçilmesi.....	33
2.9.2. Geçirimsizlik ve su/çimento oranının sınırlandırılması.....	33
2.9.3. Projelendirme ve imalat esnasında uygulanacak yapısal kurallar.....	35

BÖLÜM 3.

KENTSEL ATIKSULAR VE KARAKTERİZASYONLARI.....	37
3.1. Kentsel atıksuların içeriğinde mevcut beton borulara zararlı etki yapan maddeler ve tesirleri.....	41
3.1.1. Asitli sular.....	41
3.1.1.1. Serbest mineral asitleri.....	42
3.1.1.2. Kükürt dioksit (SO ₂).....	42
3.1.1.3. Hidrojen sülfür (H ₂ S).....	42
3.1.1.4. Serbest organik asitler.....	43
3.1.1.5. Kireç çözücü karbonik asit.....	43
3.1.2. Amonyum tuzları.....	43
3.1.3. Magnezyum tuzları.....	44
3.1.4. Sülfatlar.....	44
3.1.5. Sertlik derecesi düşük sular.....	44

3.1.6. Yağlar.....	45
3.1.6.1. Madensel yağlar.....	45
3.1.6.2. Maden kömürü katranı yağları.....	45
3.1.6.3. Bitkisel ve hayvansal yağlar.....	45
3.1.7. Kentsel kanalizasyon atıksuları ve endüstriyel atıksular.....	45
3.1.8. Yağış ve yeraltı suları.....	46
3.1.9. Deniz ve nehir suları.....	46
3.1.10. Dağ, kaynak ve bataklık suları.....	47
3.2. Atıksu içeriğinde bulunan zararlı kirletici maddelerin fiziksel ve kimyasal analizleri.....	47
3.2.1. Atıksuda bulunan zararlı kirletici maddelerin fiziksel analizleri.....	48
3.2.2. Atıksuda bulunan zararlı kirletici maddelerin kimyasal analizleri.....	48
3.3. Atıksu içeriğinde bulunan zararlı kirletici maddelerin etkinlik dereceleri.....	48
BÖLÜM 4.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	50
BÖLÜM 5.	
BETON NUMUNELER ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLERDE KULLANILAN MATERYALLER VE KARIŞIM ORANLARI.....	53
5.1. Deneylerde kullanılan betonun içeriği.....	53
5.1.1. Çimento.....	53
5.1.2. Karma suyu.....	54
5.1.3. Agregası.....	56
5.1.4. Kimyasal katkı maddesi.....	59
5.2. Beton içeriğinde su/çimento oranı.....	60
5.3. Beton içeriğinin karışım oranı ve hesabı.....	61
5.4. Deneylerde kullanılan çözeltiler.....	62
5.4.1. Amonyum tuzları.....	62
5.4.2. Magnezyum tuzları.....	62

5.4.3. Sülfatlar.....	63
5.4.4. Asidik sular.....	63
5.4.5. Sertlik derecesi düşük sular.....	63
BÖLÜM 6.	
BETON NUMUNELERİ ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER.....	64
6.1. Basınç tesiri altında dayanım deneyi.....	64
6.1.1. Deney yöntemi.....	65
6.1.2. Deney sonuçları.....	66
6.2. Su işleme derinliğinin bulunması deneyi.....	71
6.2.1. Deney yöntemi.....	72
6.2.2. Deney sonuçları.....	73
BÖLÜM 7.	
KENTSEL ATIKSU KANALİZASYON SİSTEMLERİNDE İDEAL BORU SEÇİMİ VE UYULMASI GEREKEN BAKIM KURALLARI.....	77
BÖLÜM 8.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	86
KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİŞ.....	94

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

TS	: Türk Standartları
KN	: Kilo Newton
$^{\circ}\text{C}$: Santigrat Derece (Sıcaklık Birimi)
l_{ch}	: Malzemenin Gerçek Boyu
E	: Betonun Elastisite Modülü
G_f	: Betonun Kırılma Enerjisi
f_t	: Normalize Edilmiş Mukavemet
f_f	: Eğilme Mukavemeti
MPa	: Mega Pascal
meq	: Miliekuvalent
C	: Karışıma Girecek Çimento Kütlesi
W	: Karışıma Girecek Su Kütlesi
W_a	: Karışıma Girecek Agreganın Yüzdesi
δ_a	: Agreganın Yoğunluğu
δ_c	: Çimentonun Yoğunluğu
A	: Betondaki Toplam Hava Miktarı
ppm	: Sıvı Ölçü Birimi
F_c	: Basınç Dayanımı
F	: Kırılma Anında Ulaşılan En Büyük Yük
A_c	: Basınç Yükünün Uygulandığı Numunenin En Kesit Alanı
\emptyset	: Çap
N	: Newton

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Kum ve Çakıl İçin Öngörülen Granülometri Eğrileri.....	15
Şekil 2.2.	Beton Borulara Uygulanan Buhar Kürü Süreci.....	27
Şekil 2.3.	Beton Borularda Eğilme Çeşitleri.....	28
Şekil 5.1.	İstanbul – Tuzla Tepeören Agregası Granülometri Eğrisi.....	59
Şekil 6.1.	Silindir Numunelerin Tatmin Edici Kırılma Şekilleri.....	67
Şekil 6.2.	Amonyum Tuzu, Magnezyum Tuzu ve Sülfat Konsantrasyonlarının Bulunduğu Çözeltilere Batırılan Beton Numunelerinde Meydana Gelen Basınç Dayanımı Değişimi Grafiği.....	70
Şekil 6.3.	Asidik Ortamın Bulunduğu Çözeltilere Batırılan Beton Numunelerinde Meydana Gelen Basınç Dayanımı Değişimi Grafiği.....	70
Şekil 6.4.	Sertlik Derecesi Düşük Çözeltilere Batırılan Beton Numunelerinde Meydana Gelen Basınç Dayanımı Değişimi Grafiği.....	71
Şekil 6.5.	Amonyum Tuzu, Magnezyum Tuzu ve Sülfat Konsantrasyonlarının Bulunduğu Çözeltilere Batırılan Beton Numunelerinde Meydana Gelen Su İşleme Derinlik Değişimi Grafiği.....	75
Şekil 6.6.	Asidik Ortamın Bulunduğu Çözeltilere Batırılan Beton Numunelerinde Meydana Gelen Su İşleme Derinlik Değişimi Grafiği.....	75
Şekil 6.7.	Sertlik Derecesi Düşük Çözeltilere Batırılan Beton Numunelerinde Meydana Gelen Su İşleme Derinlik Değişimi Grafiği.....	76

Şekil 7.1.	İstanbul İli Kadıköy İlçesinde Çeşitli Bölgelere Ait Problemlı ø 300 mm Çaplı Muflu Beton Boru Kanal Görüntüleme Resimleri.	80
Şekil 7.2.	İstanbul İli Kadıköy İlçesinde Çeşitli Bölgelere Ait Atıksu Kanalizasyon Sisteminde Robotla Kaplama Yöntemiyle Yenilenen ø 300 mm Çaplı Muflu Beton Boru Kanal Görüntüleme Resimleri.....	81

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Portland Çimentosu Analiz Sonuçları.....	6
Tablo 2.2	Yüksek Fırın Cüruf Çimentosu Analiz Sonuçları.....	8
Tablo 2.3.	Traslı Çimento Analiz Sonuçları.....	9
Tablo 2.4	Uçucu Küllü Çimento Analiz Sonuçları.....	10
Tablo 2.5.	Sülfata Dayanıklı Çimento Analiz Sonuçları.....	11
Tablo 2.6.	1 m ³ Beton İçin Gerekli Su Miktarı.....	17
Tablo 2.7.	1 m ³ Beton İçin Öngörülen Çakıl Miktarı.....	17
Tablo 2.8.	Beton Boruların Yapımında Kullanılan İnce Agreganın Tane Büyüküğü Dağılımı.....	21
Tablo 2.9.	Beton Boruların Yapımında Kullanılan İri Agreganın Tane Büyüküğü Dağılımı.....	22
Tablo 2.10.	Deneysel Olarak Elde Edilen Eğilme Mukavemeti ve Buna Karşılık Gelen Kırılma Mekanığı Kullanılarak Tahmin Edilen Betonun Çekme Mukavemeti.....	29
Tablo 2.11.	Sertleşmiş Beton Üzerine Muhtelif Maddelerin Tesiri.....	32
Tablo 2.12.	Zararlı Etki Karşısında Bulunan Betonarme Yapı Elemanlarında Minimum Pas Payı Değerleri.....	36
Tablo 3.1.	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Atıksu Kanalizasyon Sistemine Deşarj Limitleri.....	39
Tablo 3.2.	Çevre ve Orman Bakanlığına Ait Çevre Mevzuatında Kentsel Atıksu Kanalizasyon Sistemine Deşarjlarda Öngörülen Standart Değerler.....	40
Tablo 3.3.	Sertlik Ölçü Birimlerinin Dönüşüm Katsayıları.....	44
Tablo 3.4.	Doğadaki Suların Zararlı Etkinlik Dereceleri İçin Sınır Değerler.	49
Tablo 5.1.	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Tarafından Hazırlanan İstanbul Şehir Şebeke Suyu Analiz Sonuçları.....	55

Tablo 5.2.	1 Numaralı Malzemeye Ait Granülometrik Bileşim.....	57
Tablo 5.3.	2 Numaralı Malzemeye Ait Granülometrik Bileşim.....	57
Tablo 5.4.	3 Numaralı Malzemeye Ait Granülometrik Bileşim.....	58
Tablo 5.5.	İstanbul-Tuzla Tepeören Agregası Elek Analiz Sonuçları.....	59
Tablo 5.6.	Kimyasal Katkı Maddesinin Teknik Özellikleri.....	60
Tablo 5.7.	Beton Karışım Oranları.....	61
Tablo 5.8.	Çözeltideki En Düşük ve En Yüksek Konsantrasyon Değerleri...	62
Tablo 6.1.	TS 206 Standartlarına Göre Silindir ve Küp Beton Numunelerine Ait Basınç Dayanımı Standart Değerleri	68
Tablo 6.2.	En Yüksek (Kuvvetli) Konsantrasyonlardaki Basınç Dayanım Deney Sonuçları ve Basınç Dayanım Kayıpları Oranları.....	68
Tablo 6.3.	En Düşük (Zayıf) Konsantrasyonlardaki Basınç Dayanım Deney Sonuçları ve Basınç Dayanım Kayıpları Oranları.....	69
Tablo 6.4.	En Düşük (Zayıf) ve En Yüksek (Kuvvetli) Konsantrasyonlara Maruz Bırakılan Numunelerin Basınç Dayanımı Farkları.....	69
Tablo 6.5.	Zararlı Etki Derecesine Göre İzin Verilebilecek En Büyük Su/Çimento Oranı ve Su İşleme Derinliği Oranları.....	73
Tablo 6.6.	En Yüksek Konsantrasyonlardaki Su İşleme Derinliğinin Bulunması Deneyi Sonuçları.....	74
Tablo 6.7.	En Düşük Konsantrasyonlardaki Su İşleme Derinliğinin Bulunması Deneyi Sonuçları.....	74
Tablo 6.8.	En Düşük ve En Yüksek Konsantrasyonlara Maruz Bırakılan Numunelerin Su İşleme Derinlik Farkları.....	74

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Beton, Amonyum Tuzu, Magnezyum Tuzu, Sülfat, Sertlik Derecesi Düşük Sular, Asidik Sular, Korozyon, Basınç Dayanım Deneyi, Su İşleme Derinliğinin Bulunması Deneyi

Kentsel Atıksuların Beton Borulara olan korozif etkilerinin araştırılması amacıyla sülfata dayanaklı çimento kullanılarak, belirli oranlarda hazırlanan beton numuneleri zararlı kimyasal etkileri olan çözeltilerin etkisinde bırakılarak çeşitli deneyler yapılmış ve sonuçları standart değerler ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

Belirlenen oranlarda SDC 32,5 çimento cinsi ile hazırlanan beton numuneleri korozif etkileri yüksek ve düşük olan konsantrasyonların bulunduğu çözeltilere ayrı ayrı batırılarak, bir hafta süre ile bekletilmiştir. Bekleme süresi bitiminde beton numunelerine beton boru imalat sektöründe TSE standartlarına göre beton numuneler için en çok uygulanan ve korozif etkilerin en iyi belirlenmesini sağlayan basınç dayanım ve su işleme derinliğinin tespiti deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları TSE standartlarında olması gereken sonuçlar ile kıyaslanarak yorumlanmıştır.

Deney sonuçlarına göre; amonyum tuzu, magnezyum tuzu, sülfat bulunan atıksular, asidik atık sular ve sertlik derecesi düşük atıksularda beton borunun basınç dayanımının TSE standart değerlerine oranla yüksek konsantrasyonlarda %20 düşük konsantrasyonlarda ise %10 değerini geçmediği görülmüştür. Su işleme derinliği tespiti deneyi sonuçlarına göre ise su işleme derinliğinin yüksek konsantrasyonlarda %40'ı düşük konsantrasyonlarda ise %20'yi geçmediği görülmüştür.

Deney sonuçlarına göre beton boruların atıksuyun korozif etkilerine karşı korunabilmesi için imalat esnasında malzeme ve W/C oranı seçiminin etkin rol oynadığı tespit edilmiştir.

SEARCHING THE CORROSIVE EFFECTS OF URBAN WASTE WATER TO CONCRETE PIPES AND DEVELOPING A PROPER PRODUCT

SUMMARY

Key Words: Concrete, Ammonium Salt, Magnesium Salt, Sulfate, water with a low hardness degree, acidic water, corrosion, pressure resistance experiment, experiment for the determination of water process depth

For the purpose of searching the corrosive effects of urban waste water to concrete pipes, various experiments were carried out by keeping the concrete samples prepared in certain ratios using cement resistant to sulfate under the effect of solutions with harmful chemical effects, and results were evaluated by comparison with standard values.

Samples of concrete prepared with SDÇ 32,5 type cement in certain ratios were plunged into solutions that include concentrations with high and low corrosive effects and these were kept for one week. At the end of the waiting period, concrete samples underwent experiments for pressure resistance and determination of Water Process Depth which are mostly applied for concrete samples and that are the best methods for the determination of corrosive effects. Experiment results were compared and commented on with the results which have to be in TSI (Turkish Standards Institute) standards.

According to the experiment results; it was found that pressure resistance of the concrete pipe in waste waters that include ammonium salt, magnesium salt, sulfate, acidic waste water and waste water with a low hardness degree do not exceed 20% in higher concentrations than the TSI standard values and 10% in lower concentrations. According to the results of the water process depth experiment, it was found that water process depth did not exceed 40% in higher concentrations and 20% in lower concentrations.

According to the results of experiments, it was determined that the choice of materials and W/C ratio during production has an effective role for the protection of the concrete pipes against the corrosive effects of waste water.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyada nüfus artışı, yaşam standardının yükselmesi, sanayileşme ve kentleşme; insanlığa daha iyi yaşam koşulları sağladığı gibi bazı olumsuz sonuçları da beraberinde getirmiştir. Bu olumsuzlukların en önemlilerinden birisi de çevre kirlenmesidir. Nüfus artışı ve sanayileşmeye bağlı olarak çevre konusu gün geçtikçe önem kazanmakta ve insanlar çevre kirliliğine karşı önlemler geliştirerek doğal yaşam ortamlarının korunması için mücadele etmektedir. Çevre kirliliğine bağlı olarak birçok etkili yöntem ve koruyucu sistemler yapılmakta, teknoloji ilerledikçe yeni ve etkili yöntem ve sistemler çevreyi kurtarma adına insanlığın hizmetine sunulmaktadır. Hava, su ve toprağın kirlenmesi çeşitli yöntemlerin kullanılmasıyla engellenebilmektedir. Son zamanlarda küresel iklim ısınmasının kendini belirgin bir şekilde hissettirmesiyle temiz su kaynaklarında önemli azalmalar meydana gelmiş olup insanlar susuzluğa karşı kısa ve uzun vadelere kalıcı önlemler almaya başlamışlardır. Bu önlemlerin başında su kaynaklarının kirletici etkenlere karşı korunması gelmektedir. Bu amaçla atıksu arıtma tesisleri kurulmakta ve mevcut tesisler rehabilite edilerek verimleri arttırılmaktadır. Bu sayede deniz, göl, nehir gibi alıcı ortamlar kirlilikten kurtarılarak çevre dengesi korunmaktadır. Arıtma tesislerinin kurulmasının yanı sıra bir diğer önemli faktör ise bu tesislere atıksu ve yağmur suyu iletimini sağlayan ve çevre sağlığı açısından büyük öneme sahip atıksu ve yağmur suyu altyapı sistemleridir. Bu sistemler çevre sağlığı tesisleri olarak adlandırılmaktadır. Çevre sağlığı tesislerini, oturma bölgelerinin ve sanayinin kullanılmış sularını toplayan tesisler ile o bölgeye düşen yağışları zarar vermeden uzaklaştıran yağmursuyu toplama tesisleri olarak iki gruba ayırabiliriz. Kullanılmış suların toplandığı tesislere atıksu kanalizasyon, yağmur sularını toplandığı tesislere ise yağmur suyu kanalizasyon sistemi adı verilir. Bazı kentlerde yağmur suyu atıksu kanalizasyon sistemine verilmekte olup bu sisteme birleşik sistem denir. Bazı kentlerde ise ayrı kanallarda iletimleri sağlanmakta olup bu sisteme ise ayrık sistem denir.

Modern manada çevre sağlığı tesislerinin kurulmasına 19. yüzyılda başlanmıştır. 1835 yılında Londra'da, 1842 yılında Hamburg'da, 1863 yılında Frankfurt'ta ve 1876 yılında Berlin'de kanalizasyon sistemleri yapılmaya başlanmıştır. Gün geçtikçe ihtiyaçların artmasıyla en az maliyette en verimli atıksu altyapı tesisleri tasarlanmış döşeme ve işletilmelerinde yeni teknolojiler üretilmiştir.

Çevre sağlığı tesisleri sağlam, uzun ömürlü ve yeterli kapasitede yapılmadığı, verimli işletilmediği müddetçe atıksular toprak ve su kirliliklerine sebep olmakta bu durumda başta insan olmak üzere bütün canlıların hayatını riske atmaktadır. Ayrıca çevre sağlığının haricinde en önemli ikinci zararıda işletme esnasında sıkça yaşanan aksaklıklar neticesinde onarım maliyetlerinin yüksek oluşudur.

Atıksu kanalizasyon sistemleri kurulumunda birçok malzeme kullanılmakta olup bu malzemelerin en önemlisi borulardır. Kentsel atıksu kanalizasyon sistemlerinde genellikle beton içerikli borular kullanılmaktadır. Yaygın kullanım sebebi ise imalat ve işletme maliyetinin düşük, dayanıklılığının ve veriminin yüksek oluşudur. Borular haricinde bağlantı elemanları ve yardımcı elemanlarda genelde beton içeriklidir. Beton ile yapılan boru ve parçalarının çalışma verimleri ve dayanıklılıklarının artırılabilmesi için imalat ham maddesi olan betonun özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

Genel anlamda beton çimento, agrega ve suyun belirli oranlarda karıştırılmasıyla oluşturulan ve belirli bir süre sonunda sertleşerek yüksek mukavemet ve dayanıklılık kazanan bir yapı malzemesidir. Genellikle kum, çakıl ve kırma taş agrega olarak bilinmektedir. Kum (ince agrega), çakıl taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompasitesinin artmasını sağlar, agreganın kaba kısmı olan çakıl veya kırma taş (kaba agrega) betonun iskeletini oluşturarak, malzemenin maruz kalacağı kuvvetleri karşılamaya çalışır. Uygulamada çoğu kez görüldüğü gibi belirli hacimdeki agreganın çimento ve su ile karıştırılması, istenilen özellikte beton elde edilebilmesi için yeterli değildir. Bu nedenle istenilen özellikte veya ideal bir beton elde edebilmek için karışıma girecek su, çimento, agrega özelliklerinin iyi bilinmesi, yapı tipine uygun beton çeşidinin seçilmesi, uygun beton karışım oranlarının saptanması, betonun iyi bir şekilde karıştırılması, yerleştirilmesi ve muhafazası

(kürü) gerekmektedir. Bütün bu hususlar göz önünde bulundurulduğunda betonun karmaşık özelliklere sahip detaylı ve titizlikle incelenmesi gereken bir malzeme olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Günümüzde yapı sektöründe en çok tercih edilen beton özellikleri; ateşe, aşınmaya, donma ve çözünme tesirlerine dayanıklı, basınca dayanıklı, geçirimsiz ve çeşitli zararlı maddelere karşı dayanıklı olmasıdır. Böyle özellikte bir betonun en ekonomik şekilde hazırlanabilmesi için betonu oluşturan maddeler ile beton özellikleri, beton çeşitleri, beton karışım hesap yöntemleri, betonun karıştırılması, taşınması, korunması, yerleştirilmesi ve beton numune üzerinde yapılan deneyler hakkında detaylı ve yeterli bilginin bilinmesi gerekmektedir.

Atıksu içinde bulunan çeşitli korozif etkenler atıksu kanalizasyon sistemini oluşturan beton borular içinde beton ile temasa girerek betonun başta dayanımı olmak üzere diğer özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmesine yol açarlar. Böylece beton boruların kalitesi ve hizmet süreleri azalmış olur, neticesinde atıksu kanalizasyon sisteminde sık sık arızalar oluşmaya başlar. İşletme maliyeti yükselir ve sık sık tıkanma ve taşmalar neticesinde çevre sağlığı zarar görür.

Bundan dolayı öncelikle beton boru içerisinde iletilen atıksuların muhteviyatında bulunan korozif etkenler belirlenerek detaylı bir şekilde tanınması gerekir. Bu etkenlerin zararlılık dereceleri ve kaynaklarının tespitleri yapılmalıdır. Atıksu içerisinde bulunan zararlı etkenlerin beton boru ile temas halinde iken betonu ne derecede korozyona uğratabilecekleri bazı beton deneyleri ile belirlenebilir. Bu deneylerin beton borular için en önemli, net sonuç veren ve en yaygın yapılanları beton basınç dayanım deneyi ve su işleme derinliği tespiti deneyidir. Bu deneyler neticesinde beton borunun korozyona dayanımının arttırılması için ne derecede önlemler alınacağı ve hangi kriterlerde beton ile yapılacağıda tespit edilmiş olur.

BÖLÜM 2. BETON BORU İÇERİĞİ VE İMALATI

2.1. Beton Muhteviyatı

Beton; kum, çakıl, su ve çimentonun belirli oranlarda ve belirli metotlarla karıştırılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir. Beton muhteviyatını oluşturan maddeler belirli oranlarda ve çeşitlerde karıştırıldığında kalıp içerisinde istenilen biçimi alabilecek istenilen bir malzeme elde edilir. İstenilen biçimin kalıplar sayesinde verilebilmesi betonu diğer malzemelerden ayırt eden en önemli özelliğidir. Beton plastik kıvamında bir malzeme çeşidi olduğundan dolayı istenilen şekilde kalıba döküldüğünde muhteviyatında bulunan maddelerin oran ve çeşitlerine göre kısa sürede katılaşmakta ve dayanım kazanmaktadır. Betonun özellikleri karışımında kullanılan malzemelerin özellikleri ve miktarlarına bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir [21].

2.1.1. Çimentolar

Çimento; kil taşları ve kalkerin karışımının yüksek ısıda pişirildikten sonra öğütülmesiyle elde edilen koagülant bir malzemedir. Çimento su ile karıştırıldıktan kısa bir süre sonra katılaşarak taşlaşmaya başlar. Bu katılaşma priz olarakta adlandırılır ve normal şartlar altında en az bir saat ile en fazla on saatte gerçekleşir. Sıcaklıkla doğru orantılı olarak katılaşma hızlanır, katılaşma süreci ile birlikte sertleşme evresinde başlar ve bu evrede beton dayanım kazanır. Çimento hamurunun tam dayanıma ulaşması uzun bir süre alır [19]. Üretimi yapılan çimento türleri;

- Portland Çimentosu
- Yüksek Fırın Cüruf Çimentosu
- Traslı Çimento
- Uçucu Küllü Çimento

- Sülfata Dayanıklı Çimento
- Alüminli Çimento
- Katkılı Çimento
- Kompoze Çimento
- Puzolanik Çimento
- Silika Füme Çimento
- Kalkerli Çimento
- Pişmiş Şistli Çimento
- Silis Dumanlı Çimento

Yapı sektöründe kullanılan önemli çimento türleri maddeler halinde aşağıda açıklanmaktadır.

2.1.1.1. Portland çimentosu

Yapı sektöründe en sık kullanılan tür portland çimentosudur. Portland çimentosu belirli oranlarda kalker taşı ve kilin karıştırılıp pişirilmesinden sonra, klinkerde öğütülmesi ile elde edilmektedir. Çimentonun sertleşmesini geciktirmek için klinkere belirli bir miktar alçı taşıda eklenir [19].

Ülkemizde üretilen portland çimentosunun, Türk Standartları Enstitüsü tarafından hazırlanmış olan TS 19'a uyma zorunluluğu bulunmaktadır. Bu standartta üç tip portland çimentosu öngörülmektedir;

- Normal portland çimentosu (NPC 350)
- İlk dayanımı yüksek portland çimentosu (İPÇ 600)
- Yüksek dayanımlı portland çimentosu (YPÇ 500)

Bu üç tür portland çimentosunun bileşimleri genelde aynıdır. Yüksek dayanım; öğütme sırasında dane çapını küçülterek sağlanmaktadır. Çimento türünü belirleyen YPÇ, NPC, İPÇ gibi simgelerden sonraki sayılar çimentonun 28 günlük basınç dayanımını gösterilmiştir. Değerler Nuh Beton A.Ş. firmasının üretmiş olduğu

portland çimentosuna (PÇ 32,5) aittir. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve dayanım özellikleri Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Portland Çimentosu Analiz Sonuçları

KİMYASAL ÖZELLİKLER (%)

Bileşenler	PÇ 32,5
CaO	65,87
SiO ₂	20,42
Al ₂ O ₃	5,92
Fe ₂ O ₃	2,81
MgO	3,23
SO ₃	0,97
Cl	0,1
Alkaliler (Na ₂ O+K ₂ O)	0,15
C ₃ S	60,06
C ₂ S	13,31
C ₃ A	10,94
C ₄ AF	8,55
Kızdırma Kaybı	2,16
Çözünmeyen Kalıntı	0,18
Analiz Edilemeyenler	1,10

FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Özgül Ağırlık (gr/cm ³)		3,00
Özgül Yüzey (cm ² /gr)		3927
Elekte Kalan (%)	200mik	1,1
	90 mik	7,6
Normal Kıvam Su (%)		-
Priz (s/dakika)	Başlangıç	2,25
	Bitiş	3,55
Le Chatelier (mm)		5

DAYANIM ÖZELLİKLERİ

Basınç (KN/m²)	7 gün	27,5
	28 gün	38,5
Eğilmede Çekme (KN/m²)	7 gün	5,7
	28 gün	6,8

2.1.1.2. Yüksek fırın cüruf çimentosu

Yüksek fırın cüruf çimentolarının içeriği normal portland çimentosuna benzemektedir. Aralarındaki en önemli fark, yüksek fırın cüruf çimentosuna öğütme aşamasında granüle duruma getirilmiş bazik karakterde yüksek fırın cürufunun eklenmesidir. Bu tür çimentolar ile ilgili TS 20'de iki ayrı çimentodan söz edilmektedir [22].

- Demir portland çimentosu (DNPC 350)
- Yüksek fırın portland çimentosu (NYPC 350)

Demir portland çimentosu; en az %70 portland çimento klinkerine, en çok %30 bazik yüksek fırın cürufunun karıştırılmasıyla elde edilir. Yüksek fırın portland çimentosu ise %16–69 portland çimento klinkerine %85–31 bazik özellikte yüksek fırın cürufunun karıştırılmasıyla elde edilir. Yüksek fırın cüruf çimentolarının normal portland çimentolarına oranla geçirimsizlikleri daha az olup, tuzlu suya ve endüstriyel dumanlarındaki gazların etkisine daha dayanıklıdır. Bütün bu nedenlerden dolayı bu tür çimentolar su yapılarında, temellerde ve duman etkisine maruz elemanlarda, hidrasyon ısısının düşük olması nedeniyle masif yapılarda uygun olarak kullanılmaktadır. Değerler Nuh Beton A.Ş. firmasının üretmiş olduğu Yüksek Fırın Cüruf Çimentosuna (CC 32,5) aittir. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve dayanım özellikleri Tablo 2.2.'de gösterilmiştir

Tablo 2.2. Yüksek Fırın Cüruf Çimentosu Analiz Sonuçları

KİMYASAL ÖZELLİKLER (%)

Bileşenler	CÇ 32,5
SO ₃	2,70
MgO	8,30
Cüruf Miktarı	75
Klorür	0,085
Kızdırma Kaybı	3,92

FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Priz Başlangıcı ve Sonu	1-10 Saat
Hacim Genleşmesi	10 mm
Özgül Yüzey	2800 cm ² /gr

DAYANIM ÖZELLİKLERİ

Çimento Cinsi	Gün	Basınç Dayanımları (N/mm²)
CÇ 32,5	2 Gün	10
	7 Gün	16
	28 Gün	32,5

2.1.1.3. Traslı çimento

Traslar, alüminli ve silisli maddelerdir. Kendi başlarına bağlayıcı olmamalarına rağmen, betonda mevcut kireç ile bu özelliği kazanırlar. Traslı çimentolar, imalat sırasında portland çimentosu klinkerine aktif volkanik tüfler veya benzeri traslar katılarak, bunların öğütülmesi ile elde edilir. Bu tür çimentolardan beklenen özellikler TS 26'da belirtilmiştir. Beton karışımındaki tras oranı optimum verim elde edebilmek amacıyla %30-40 arasında tutulur [23].

Bu tür çimentolarında geçirimsizliği az ve hidrasyon ısı düşük olduğundan dolayı kütle betonları ve su yapılarında kullanılması tercih edilir. Traslı çimentoların simgesi TÇ'dir. Değerler Nuh Beton A.Ş. firmasının üretmiş olduğu Yüksek Fırın Cüruf Çimentosuna (TÇ 32,5) aittir. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve dayanım özellikleri Tablo 2.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.3. Traslı Çimento Analiz Sonuçları

KİMYASAL ÖZELLİKLER (%)

Bileşenler	TÇ 32,5
SO ₃	3,5
MgO	5,0
Kızdırma Kaybı	5,0

FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Prize Başlangıç ve Sonu	1-10 saat
Hacim Genleşmesi	10 mm
Özgül Yüzey	2800 cm ² /gr

DAYANIM ÖZELLİKLERİ

Basınç Dayanımları (N/mm ²)	
7 gün	21
28 gün	32,5

2.1.1.4. Uçucu küllü çimento

Uçucu küllü çimento kütlece 10-30 kısım, öğütüldükten sonra TS 639'a uyan uçucu kül ile karşılıklı olarak 90-70 kısım portland çimentosu klinkerinin bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülmesi ile elde edilen hidrolik bağlayıcıdır. [24] Değerler Nuh Beton A.Ş. firmasının üretmiş olduğu Uçucu Küllü Çimentoya (UKÇ 32,5) aittir. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve dayanım özellikleri Tablo 2.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.4. Uçucu Küllü Çimento Analiz Sonuçları

KİMYASAL ÖZELLİKLER (%)

Bileşenler	UKÇ 32,5
SO ₃	4,0
MgO	5,0
Klorür	0,1
Çözünmeyen Katı	29,0
Kızdırma Kaybı	5,0
Uçucu Kül Miktarı	30,0

FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Priz Başlangıcı ve Sonu	1-10 Saat
Hacim Genleşmesi	10 mm
Özgül Yüzey	2800 cm ² /gr

DAYANIM ÖZELLİKLERİ

Basınç Dayanımları (N/mm ²)	
7 gün	21
28 gün	32,5

2.1.1.5. Sülfata dayanıklı çimento

Bu tip çimentolar atıksu uygulamalarında çok sık kullanılmakta olup ve TS 10157 standardında detaylı bir şekilde açıklaması yapılmıştır. Sülfata dayanıklı çimento (SDÇ 32,5), C₃A (Trikalsiyum Alüminat) miktarı en çok %5 olan portland çimentosu klinkerinin bir miktar alçı taşı (CaSO₄.2H₂O) ilavesi ile öğütülerek elde edilen hidrolik bağlayıcıdır [18]. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve dayanım özellikleri Tablo 2.5.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Sülfata Dayanıklı Çimento Analiz Sonuçları

KİMYASAL ÖZELLİKLER (%)

Bileşenler	SDÇ 32,5
CaO	64,23
SiO ₂	20,96
Al ₂ O ₃	4,21
Fe ₂ O ₃	3,90
MgO	0,98
SO ₃	2,20
Cl	0,0081
Alkaliler (Na ₂ O+0,658K ₂ O)	0,48
C ₃ S	57,63
C ₂ S	16,57
C ₃ A	4,56
C ₄ AF	11,87
Kızdırma Kaybı	1,85
Çözünmeyen Kalıntı	0,76
Serbest Kireç	1,07

FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Özgül Ağırlık (gr/cm ³)		3,23
Özgül Yüzey (cm ² /gr)		3641
Elekte Kalan (%)	32 µm	21,5
Normal Kıvam Su (%)		--
Priz (s/dakika)	Başlangıç	169
	Bitiş	201
Le Chatelier (Hacim Sabitliği) (mm)		1

DAYANIM ÖZELLİKLERİ

Basınç Dayanımları (N/mm ²)	
7 gün	23,5
28 gün	59,0

2.1.1.6. Alüminli çimento

Alüminli çimento türünün imalatı normal portland çimento çeşidinden farklıdır. İmalatta ham madde olarak kullanılan boksit ve kalker karışımı, özel fırınlarda yüksek ısıda eritildikten sonra büyük kütükler halinde dondurulur. Alüminli çimento bu dondurulan kütüklerin öğütülmesi ile elde edilir.

Alüminli çimentoların katılaşmaları yavaş oluşmasına karşın sertleşme yani dayanım kazanma hızları çok fazladır. Alüminli çimento bir gün içerisinde portland çimentosunun 28 günlük dayanımına erişebilir. Çabuk dayanım kazanmanın yanı sıra alüminli çimento ile yapılmış betonların sülfatlara, şeker ve yağa dayanımları da diğer çimento türlerine oranla yüksektir. Ancak; bu tür çimentoların hidrasyon ısı çok yüksek olduğundan kütle betonlarda kullanılması sakıncalıdır. Dökülecek betonun kalınlığının 40–50 cm'den fazla olduğu durumlarda özel önlemler alınmalıdır.

Ayrıca bu tip çimentolar sıcak iklimin baskın olduğu bölgelerde kullanılmalıdır. Traslı çimentoların simgesi TÇ'dir [19].

2.1.2. Agregada

Agregada; kum ve çakıl (veya kırma taş) karışımından oluşmaktadır. Genellikle 0–7 mm arasında dane boyutu olan agregada kum, 7–70 mm arasında dane boyutu olan agregada çakıl olarak adlandırılmaktadır. Agregada esas olarak bir dolgu malzemesidir ve en önemli fonksiyonu betonda oluşan hacim değişikliklerini azaltmasıdır. Su ve çimentodan oluşan beton hamuru büyük hacim değişiklikleri gösterir. Agregadan betona girmesi beton hamurunda oluşan bu hacim değişikliklerini azaltır. Ayrıca fiyat olarak agregada çimentodan daha ucuz olduğundan dolayı ekonomik olarak avantaj sağlar. Betonun iyi işlenebilmesi için agregadan granülometrisi çok önemlidir. Granülometre; geçirimsizlik, rötre ve sünme de önemli boyutta etkilemektedir. Beton bileşiminde kullanılacak olan kum doğal veya yapay olabilir. Doğal kum; kum ocaklarından, dere yataklarından veya deniz kıyılarından elde edilir. Yapay kum ise taşların çeşitli mekanik araçlar kullanılarak kırılması ile üretilir [9].

Betonda kullanılacak olan kumun temiz olması ve betona veya donatıya zarar verecek kimyasal maddeleri içermemesi gerekir. Pratikte en çok rastlanan sorun, kumun içinde fazla miktarda kil ve siltin bulunmasıdır. Kumun içindeki kil veya silt oranı bazı standart laboratuvar deneyleri ile saptanabilir. Birçok durumda laboratuvara numune gönderilmeden, kil veya silt oranı şantiyede kolaylıkla uygulanabilecek basit yöntemlerle de bulunabilir. Örneğin; bir miktar kum bir bardağın içindeki suya konarak karıştırıldıktan sonra durulmaya bırakılır. Durulma sonunda kumun üzerinde çökelen kil tabakasının kalınlığı, kum yüksekliğinin 1/14'ünden fazla olmamalıdır.

Kalın agregada (7–70 mm dane boyutunda); doğal veya yapay olabilir. Doğal agregada dere yataklarından, özel ocaklardan veya deniz kenarlarından elde edilebilir ve çakıl olarak adlandırılır. Yapay agregada ise uygun nitelikteki taşların çeşitli mekanik araçlar kullanılarak kırılması ile elde edilir ve kırma taş olarak adlandırılır [9].

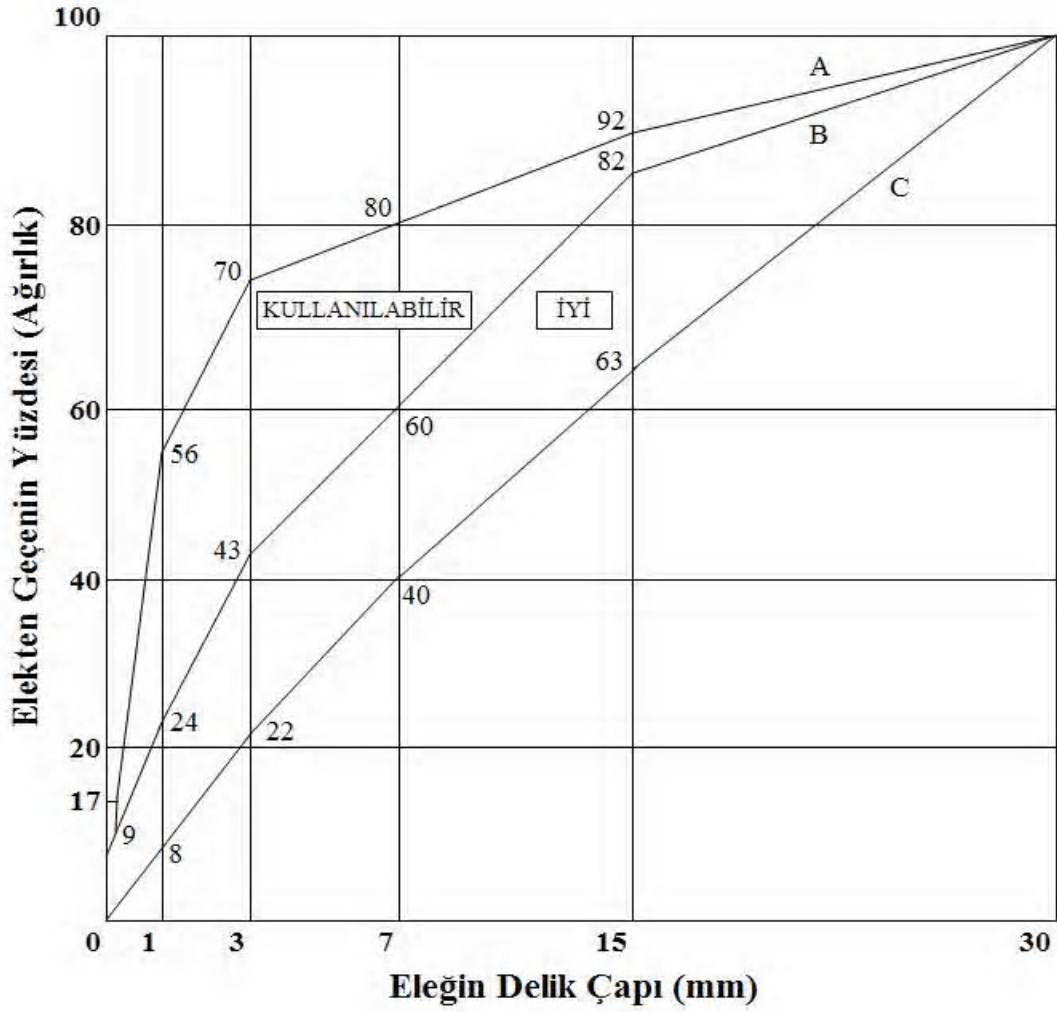
Hafif agrega dışında çakıl ve kumun dayanımı hiçbir zaman çimento dayanımından az olmamalıdır. Agreganın dayanımı çimento dayanımından az olursa yapılan betonun gücü, çimento dayanımına erişilmeden agreganın kırılması ile tükenecektir. Bu durumda karışım oranlarını değiştirerek veya çimentoyu arttırarak dayanımı yükseltmek olanaksız olacaktır.

İyi kalitede ve kullanılabilir kıvamda beton yapılabilmesi için kullanılan çakıl ve kumdaki çeşitli dane çaplarının karışımı belirli oranlarda bulunması gerekmektedir. Başka bir deyişle kum ve çakıl karışımının granülometrik bileşimi belirli sınırlar içinde kalmalıdır. Granülometrik bileşim çeşitli delik çaplarına sahip bir elek dizisi ile saptanır. Granülometri eğrileri; her bir elekten geçen malzeme ağırlığının toplam ağırlığa oranının elek delik çapının bir fonksiyonu olarak çizilmesi ile elde edilir.

Şekil 2.1.'de kum ve çakıl için öngörülen granülometri eğrileri gösterilmektedir. Kum ve çakıl için en iyi değerler B ve C eğrileri arasında kalanlardır. Eldeki malzeme A ve C eğrileri dışına taşmamalıdır. Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'den büyük olan tanelere kusurlu tane denir [1].

Genel olarak granülometri eğrisi ne kadar yukarı kaçarsa, karışımdaki kum miktarıda o kadar çok demektir. Granülometri eğrisi aşağıya doğru inip C eğrisine yaklaştıkça, iri danelerin miktarı arttığından betonun işlenmesi zorlaşır. Agregalarda aranan en önemli özellikler aşağıda belirtilmiştir.

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler içermemeleri (deniz kabuğu, odun, kömür gibi),
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları,
- Betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri,
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri,
- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleridir.



Şekil 2.1. Kum Ve Çakıl İçin Öngörülen Granülometri Eğrileri

2.1.3. Su

İçmesuyu olarak kullanılmasına izin verilen su, beton karışımında da kullanılabilir. Suda kesinlikle asit bulunmamalıdır. Karışım suyunda yüksek oranda tuz bulunması sakıncalıdır. Beton imalatından önce şüpheli bir durumla karşılaşıldığında mutlaka laboratuvar ortamında suyun analizi yapılarak karakterizasyonuna göre karışımında kullanılmalıdır. Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi vardır [17].

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

2.2. Beton İmalatı

Betonda aranan özelliklerin elde edilebilmesi için bileşime giren kum, çimento ve suyun amaca uygun olarak ayarlanmış olması gerekir. Betonda aranan en önemli özellik basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı diğer birçok özelliği de etkilediğinden, karışımda en önemli faktör olarak görülür. Belirli bir basınç dayanımı sağlayacak karışım seçilirken, karışımın ekonomik ve kullanıldığı yere göre işlenmesi kolay bir kıvamda olması gerekir. Beton kıvamı çeşitli yöntemlerle saptanabilir. Bu yöntemlerin hiçbirine yüzde yüz güvenilemez. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan yöntem “Çökme Deneyi” dir. Bu deneyde; karıştırılan beton, dibi olmayan kesik koni içine 3 kereden ve her defasında sivri uçlu, 12 mm çaplı ve 60 cm boyunda bir çubukla dibine kadar gidilerek vurulan 25 darbe ile iyice sıkıştırılarak doldurulur. Doldurmadan 3 dakika sonra koni özenle çıkarılır ve betonun koni üstüne göre çökmesi ölçülür. Genelde kolon, kiriş gibi yapı elemanlarında kullanılacak beton için bu deneyden elde edilen çökme 2–10 cm olmalıdır. Temel betonları için öngörülen çökme daha azdır. Vibratör ve geçirimsiz kalıp kullanılan durumlarda daha katı kıvamda beton kullanılabilir. Yerine yerleştirilip sıkıştırılmış 1 m³ beton bileşiminde bulunan çimento miktarı “Dozaj” olarak adlandırılır. Betonarmede kullanılan betonların dozajı genelde 250–400 kg/m³ arasında değişir [2].

Ülkemizde yaygın olan yanlış bir kanı, beton dayanımının dozaja göre değiştiğidir. Agreganın granülometrisi iyi ayarlanmış bir karışımda beton dayanımı, su/çimento oranı ile değişir. Ancak, bu oran istenilen dayanıma göre ayarlanırken, elde edilecek karışımın ekonomik ve işlenebilir bir kıvamda olmasına da özen gösterilmelidir. Geçirimsizlik ve donatıyı paslanmadan koruyabilmek için, çimento dozajının belirli bir düzeyden az olmaması gerekir. Ancak hiçbir zaman unutulmamalıdır ki, dayanım dozaja değil su/çimento oranına bağlıdır. Örneğin; 300 dz (1 m³deki çimento miktarı 300 kg) bir beton karıştırılan su miktarı değiştirilerek, 150 kgf/cm²’den 300 kgf/cm²’e kadar değişen basınç dayanımları elde edilebilir. Betonda istenilen özellikler;

- Dayanım (basınç, çekme, eğilme, yarıma mukavemetleri)
- Dış etkenlere karşı dayanıklılık (geçirimsizlik, aşınmaya dayanıklılık)

- Donma ve çözülmeye dayanıklılık
- Hafiflik veya ağırlık
- Isı, ses yalıtımı ve estetik (brüt betonda dış görünüş)
- Ekonomi

Tablo 2.6. 1 m³ Beton İçin Gerekli Su Miktarı

Çökme (mm)	1 m ³ Beton İçin Gerekli Suyun Ağırlığı (kg)						
	Maksimum Agrega Çapı						
	10 mm	2,5 mm	0 mm	25 mm	40 mm	50 mm	70 mm
20-50	205	200	85	80	60	55	145
75-100	225	215	00	95	75	70	160
150-175	240	230	10	05	85	80	170

Tablo 2.7. 1 m³ Beton İçin Öngörülen Çakıl Miktarı

Agreganın Maksimum Çapı	1 m ³ Beton İçin Öngörülen Çakıl Miktarı (kg)				1 m ³ Yaş Betonun Ağırlığı (kg/m ³)
	İnce Kum Kullanılırsa		Kalın Kum Kullanılırsa		
10	0,48	770	0,45	720	2285
12,50	0,58	930	0,54	860	2315
20	0,65	1040	0,61	980	2355
25	0,70	1120	0,66	1060	2375
40	0,75	1200	0,71	1140	2420
50	0,77	1230	0,73	1170	2445
70	0,80	1280	0,76	1220	2465

Tablo 2.6.'da, istenen çökme ve maksimum agrega çapına göre, 1 m³ betonda bulunması gereken su miktarları verilmiştir. Tablo 2.7.'de ise, 1 m³ betonda bulunması öngörülen iri agrega (çakıl veya kırma taş) miktarları gösterilmiştir.

Betonun dayanımı ve kıvamı kullanılan çimento ve agreganın cinsine göre değişebilir. Bu nedenle Tablo 2.6. ile Tablo 2.7.'de verilen değerlerin kesin olmadığı açıkça bilinmeli ve bunlar ancak yol gösterici olarak kullanılmalıdır. İşe başlamadan önce tablolardan yararlanılarak çeşitli karışımlar hazırlanmalı, yapılacak çökme ve basınç deneyleri ile istenilen karışıma karar verilmelidir [15].

2.3. Betonun Şekillendirilmesi ve Bakım Kuralları

Betonun karıştırılması, taşınması ve yerleştirilmesi sırasında malzemede ayrışma olmamasına dikkat edilmelidir. Ayrışım en fazla betonun gerektiği gibi taşınmadığı durumlarda oluşur ve sertleşmiş betonun gözenekli olması ile sonuçlanır. Beton kısa mesafelere el arabası ile taşınabilir. Ülkemizde bazı konut inşaatlarında yapıldığı gibi, beton hiçbir zaman bir kattan diğerine kürekle atılarak taşınmamalıdır. Betonun daha uzak mesafelere taşınması isteniyorsa, özel konveyörler kullanılmalıdır. Konveyör eğimi ve hızı, ayrışımaya neden olamayacak düzeylerde tutulmalıdır. Betonun yüksek bir yerden aşağıya dökülmesi gerekiyorsa, bir boru ile yapılmalıdır. Granülometrisi ve suyu uygun ise, beton borular içinde pompalanarak da taşınabilir.

Beton prize başlamadan önce yerine dökülüp işlenmeye başlanmalıdır. Beton kalıplara yerleştirildikten sonra vibratör ile sıkıştırılmalıdır. İç vibratör kullanılarak dökülen beton tabakasının kalınlığı 40 cm'den fazla olmamalıdır. Vibratör betona alabildiğince dik sokulmalı ve en derine indirildikten sonra yavaşça yukarı çekilmelidir. İnce plakların sıkıştırılmasında yüzey vibratörü kullanılabilir. Küçük çapta işlerde beton şişlenerek veya tokmaklanarak da sıkıştırılabilir [21].

Beton zamanla dayanım kazanabilen bir malzemedir. Bileşimindeki suyun bir bölümü belirli bir zaman süresi içinde hidrasyon için kullanılır. Bu suyun buharlaşarak kaybolması, hidrasyon için gereken suyun yok olması ve dolayısıyla betonun gereken dayanımı kazanması ile sonuçlanır. Bu nedenle taze betonun bakımı

karışımın hazırlanması kadar önemlidir ve beton dayanımını önemli ölçüde etkiler. Kusursuz bir karışımla hazırlanmış beton, iyi bakılmadığı takdirde öngörülen dayanıma erişemez.

7 gün suda saklandıktan sonra açık havada bırakılmış bir numune, 10 ay sürekli suda saklanmış numune dayanımının ancak yarısına erişebilmektedir [21].

Betonarme hesapları betonun 28 günlük dayanımına göre yapılır. Beton, genel olarak 7 günde öngörülen 28 günlük dayanımın yaklaşık %70'ine ulaşır. Bu nedenle, betonun 28 günlük dayanımını özellikle ilk hafta içinde bulunduğu ortamın nem oranı ve sıcaklığı önemli ölçüde etkiler. Bu süre içinde ortamın sıcaklık ve neminin gerekli sıcaklıklar içinde bulundurulmasına “taze betonun bakımı” veya “kür” denir.

Betonun normal prizini yapması için en uygun sıcaklık, 15–25⁰C'dir. Yüksek sıcaklık betonun prizini hızlandırmaktadır. Bu durumda gerekli nem sağlanamasa betonda rötre çatlakları oluşur. Beton yüzeyini etkileyen kuru rüzgâr büzülme çatlaklarının oluşmasını hızlandıracığından taze betonun yüzeyi örtülerek bu tür etkilerden korunmalıdır.

Priz için en ideal ortam nemli ortamlardır. Bu nedenle kür yapılırken beton yüzeyleri sürekli ıslatılmalı ve buharlaşmayı önlemek için örtülmelidir.

Prefabriğe imal edilen elemanlarda prizi hızlandırmak için buhar kürü yapılabilir. Buhar kürü yapılırken bekletme ve buhar kürü sürelerine özen gösterilmelidir.

Düşük sıcaklıklarda priz yavaşlamaktadır. Isının 4⁰C'den düşük olduğu durumlarda önlem alınmadan beton dökülmemelidir. Alınacak önlemler, su veya agregayı ısıtmak veya özel katkı maddeleri kullanmaktır [21].

2.4. Beton Boru İmalat Kuralları

Beton boru; sulama, drenaj, atıksu, yağmur suyu veya içmesuyu taşımak amacıyla kullanılan betondan yapılmış hazır bir boru çeşididir. Beton borular, genellikle

hizmet sürelerini toprak altında geçirdiklerinden dolayı meydana gelebilecek arızaların tespiti gecikebilmekte veya bu boruların çıkartılıp değiştirilmesi önemli harcamalara ve hizmetlerin aksamasına yol açabilmektedir [10].

Genel olarak toprak altındaki şartlara ve taşıdığı akışkanların zararlı etkilerine karşı daha dayanıklı olması için beton boruların iyi üretilmesi ve dayanımının artırılması gerekmektedir. Beton boruların uzun ömürlü ve dayanıklı olabilmeleri için;

- Beton boruların imalatında kullanılan malzemenin iyi seçilmiş olması.
- Beton kürünün borularda gerekli nitelikleri sağlayacak düzeyde olması.
- Beton niteliklerine ve üretim sistemine uygun özelliklerde beton yapımının sağlanmış olması.
- Malzeme ve üretim kalitesini denetleyecek kalite kontrol düzeninin kuruluş olması.
- Taşıma ve stoklamanın boru niteliklerini bozmayacak düzeyde olması gibi şartların sağlanması gerekmektedir.

2.4.1. Malzeme seçimi

Beton boruların yapımında kullanılacak agreganın temiz, sağlam, dayanıklı ve üretim kapasitesine uygun olması gerekir. İnce ve iri agregaya üzerinde TS 3673 standardına göre organik madde ve silt miktarının uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir. Boru yapımında kullanılacak ince agreganın TS 3530 standardına göre belirlenen tane büyüklüğüne uygun olması gerekmektedir [10].

Tablo 2.8. Beton Boruların Yapımında Kullanılan İnce Agreganın Tane Büyüklüğü Dağılımı

Elek Göz Aralığı (mm)	Elek Üstünde Kalan (Ağırlıkça %)	
	En Az	En Çok
10	-	-
5	0	5
2,50	0	20
1,25	14	48
0,63	37	70
0,315	66	86
0,160	84	92
İncelik Modülü 2,5-3,0		

Tablo 2.8.'de beton boruların yapımında kullanılacak ince agreganın tane büyüklüğünün dağılımı verilmiştir. İnce agreganın tane büyüklüğü dağılımının iyi seçilmiş olması, boru dayanımı ve su geçirimsizliğinin sağlanması için en önemli şartlardan birisidir [10].

Tablo 2.9. Beton Boruların Yapımında Kullanılan İri Agreganın Tane Büyüklüğü Dağılımı

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üstünde Kalan (Ağırlıkça %)					
	E.B.T.B. 25 mm		E.B.T.B. 20 mm		E.B.T.B. 12,5 mm	
	En Az	En Çok	En Az	En Çok	En Az	En Çok
40	0	0	-	-	-	-
25	0	5	0	0	-	-
20	-	-	0	9,5	0	0
12,5	40	76	41	61	0	30
10	-	-	43	76	28	65
5	86	100	86	100	81	90
E.B.T.B. : En Büyük Tane Boyutu						

Beton boruları yapımında kullanılacak iri agreganın TS 3530 standardı uyarınca yapılacak elek analizi sonuçları Tablo 2.9.'de verilen değerlere uygun olması gerekir [10].

Beton boruların yapımında genellikle TS 19 standardında özellikleri belirtilen PÇ 32,5 veya KPÇ 32,5 kullanılır. Bunların dışında üretim sistemine uygun olduğu ve bu borulardan beklenen nitelikleri sağladığı deneylerle kanıtlanmış diğer çimentolarda kullanılabilir. Sülfata dayanıklı çimento kullanıldığı takdirde su/çimento oranı %0,5 artırılabilir. Beton boruların imalatında kullanılacak su içilebilir nitelikte ve TS 500 standardında olmak zorundadır. Beton imalatında kullanılmasına izin verilen sular beton boruların yapımında da karışım suyu olarak kullanılabilir. Kullanılan suyun sülfat içeriği %1'den, klorür içeriği de %2'den fazla olmamalıdır [10].

2.4.2. Beton boru imalat metotları

Beton boruların imalatında uygulanan metotlar aşağıda açıklanan maddelerden birine uygun olmalıdır. Yeterliliği deneylerle kanıtlanmış olması şartıyla diğer imalat

metotları da kullanılabilir. Beton boruların yapımında kullanılan betonun karışım hesabı TS 802 standartlarında belirtilen özelliklere uygun olarak yapılmalıdır [10].

2.4.2.1. Kalıba dökme ve titreşimle sıkıştırma metoduyla boru yapımı

Bu metot genellikle 500 mm ve daha büyük iç çaplı beton boruların yapımında kullanılır. Kullanılan kalıplar; iç ve dış cidarları olan, açılıp kapanabilen çelik kalıplardır. Yağlanmış çelik kalıplara dökülecek betonun çökmesi 8 cm'yi geçmemeli ve hava sürükleyici katkı ile sağlanan hava miktarı toplam hacmin %2,5 değerinden fazla olmamalıdır. Beton sürekli olarak ve düşey konumdaki kalıbın içinde eşit düzeyde yayılacak şekilde dökülmelidir. Beton dökümü süresince titreşim sürdürülmeli ve betondan hava kabarcıkları çıkması sona erinceye kadar titreşimle sıkıştırılmaya devam edilmelidir. Fazla titreşim uygulanması betonun ayrışmasına ve bu nedenle beton kalitesinin düşmesine yol açabilir.

Kalıpların titreştirilmesinde, 2,5 metreden daha kısa kalıpların ortalarında daha uzunların ise yüksekliklerinin 1/4–3/4 noktalarında, iç veya dış kalıba tutturulmuş vibratörler kullanılır. İki vibratör kullanılan kalıplarda beton seviyesi alttaki vibratörün düzeyini geçtikten sonra, alt vibratörün durdurulması ayrışmayı önleme açısından yararlı olur. Kalıp dolduktan sonra üstten basınç uygulanarak ek bir sıkıştırmada yapılabilir. Kalıp alındıktan sonra, özellikle boruların üzerinde rötre çatlakları görüldüğü takdirde, bunları ortadan kaldırmak için beton döküldükten 0–30 dakika kalıba yeniden titreşim uygulanması gerekli olabilir. Bu ikinci titreşim, betonun titreşimle yeniden plastikleşmesi mümkün olmayacak düzeyde sertleşmesinden hemen önce uygulanmalıdır. Kalıplarda harç sızması olan yerlerde agrega hareketinden doğan çizgiler meydana geleceğinden kalıpların sızdırmaz olarak yapımı önem taşımaktadır. Bu amaçla ek yerlerinde ve tabana oturduğu bölgelerde contalar kullanılarak veya bez şeritler sarılarak sızdırmazlık sağlanmalıdır.

2.4.2.2. Döner başlıklı kalıplarla üretim

Bu yöntemle her çapta beton boru üretimi yapılabilir. Bu sistemdeki boru üretim makinelerinin düşey konumda duran açılır kapanır bir dış kalıbı bulunmaktadır. İç kalıp yerine kalıp boyunca aşağıdan yukarıya hareket eden ve kendi çevresinde yüksek hızla dönebilen bir döner başlık bulunmaktadır. Beton dökümünün başlangıcında kalıbın en altına indirilen döner başlık yüksek hızda döndürülürken kuru kıvamdaki harç sürekli olarak boru çapına ve et kalınlığına bağlı belirli bir hızla kalıba dökülmeye başlanır. Döner başlığa düşen harç büyük bir hızla çepere doğru savrulur ve çarpmanın gücüyle sıkışarak çeperde kalır. Çeper doldukça döner başlık yukarıya doğru hareket eder ve bu hareketi sırasında harcı boru yüksekliğinde eşit olarak yaydığı gibi aynı zamanda borunun iç yüzeyini sıvayarak düzgün çıkmasını sağlar.

Bu sistemle üretimde kullanılan beton oldukça kuru kıvamdadır. Yeterli dönme hızlarında sıfır çekmeli beton kullanılabilir. Döner başlığın sağladığı sıkışma yüksek olduğundan, dökme işlemi biter bitmez kalıp alınabilir. Taze beton boru, kalıpsız olarak sertleşme ve kür işlemlerinden geçer. Bazı durumlarda borunun muflu ağzının istenilen doğrulukta çıkmasını sağlamak için beton dökümünün başında kısa süreli bir titreşim uygulaması yapılmaktadır.

2.4.2.3. Titreşimli tokmaklamalarla boru imalatı

Titreşimli tokmaklamada kullanılan boru dış kalıpları döner başlıklı sistemdekine benzemektedir. Yüksekliği boyunca açılarak bitmiş borunun zarar görmeden çıkarılmasını sağlayan düşey dış kalıplar bu sistemde döner bir tambur tarafından döndürülürken iç kalıplar sabit kalır. Dış kalıp dönerken, beton iki kalıp arasındaki alana dökülür ve dönme hareketi betonun eşit yayılmasını ve düzgün yüzeyli olmasını sağlar. Betonun yerleştirilmesi çelikten veya sert ağaçtan yapılmış, metal tokmakları bulunan sıkıştırıcılarla sağlanır. Bu sıkıştırıcılar dakikada 500–600 vuruş yaparak sıkışmayı sağlar.

Beton dökümü ilerledikçe kalıbın dökülmesine paralel olarak sıkıştırıcı düzenek yukarıya doğru çekilir ve kalıptan çıkarılır. Borunun tamamlanmasıyla iç kalıp alınır ve taze boru dış kalıbıyla birlikte kür odasına taşınır. Yeterli kür sağlandıktan sonra dış kalıp tutucuları açılır ve kalıp ağırlığıyla borudan sıyrılarak boruyu serbest bırakır. Bu sistemde dış kalıp için uygun dönme hızlarının sağlanması önemlidir. Kalıbın dönme hızı ile taze betonu kalıba akış hızı arasında uygun bir bağlantı sağlanmadıkça borularda istenilen kalite elde edilmez. Uygulanacak dönme hızları betonun yanmasına neden olmayacak en yüksek hızlar olmalıdır. Bu kapsamda 1–1,5 metre uzunluktaki borular için küçük çaplarda dakikada 40 devire, büyük çaplarda ise dakikada 10 devire kadar dönme hızları uygun sonuçlar vermektedir.

Bu sistemde donatı kullanıldığı takdirde, donatı kafesinin düşük toleranslarla silindirik yapılmasına ve boru et kalınlığı içerisinde iyi merkezlenmesine dikkat edilmelidir. Aksi takdirde sıkıştırma düzeneğinin donatıya çarpması ile işçiler ve makineler açısından ciddi sonuçları olabilecek kazalar meydana gelebilir.

2.4.2.4. Savurma dökümle boru imalatı

Diğer metotlardan farklı olarak bu metot da boru kalıbı yatay tutulmakta, betonlama sırasında ve betonlamanın bitiminden sonra belirli hızlarda döndürülmektedir. Bu sistemde, beton kalıbın içine verilirken kalıp kendi ekseni etrafında yerçekimi ivmesinin yaklaşık beş katı düzeyinde bir merkezkaç ivme sağlayacak hızda çevrilir ve böylece çevreye savrulan betonun kalıba yapışık kalması sağlanır. Kullanılan betonun TS 2871'e göre bulunan çökmesi 4 cm'den fazla olmamalıdır ve işlenilebilirliğini arttırmak için hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmamalıdır.

Kalıp doldurulurken bazı sistemlerde kalıbı sarsan bir düzenek bulunur. Bazı sistemlerde de kalıp içerisindeki bir merdane beton yüzeyinin düzeltilmesini sağlar. Kalıba istenilen miktarda beton verildikten sonra beton akışı kesilir ve kalıbın dönme hızı yavaş yavaş arttırılarak çeperde sıkışmayı sağlayacak üst dönüş hızına ulaşır ve bu hızda bir süre beklenir. Üst hızda merkezkaç kuvvetiyle boşluklarının doldurulması sağlandıkça boşluklardaki su çıkararak borunun iç yüzeyinde toplanır. Toplanan su masterla veya fırçalarla boru iç yüzeyinden uzaklaştırılır.

Üst dönüş hızı, bu hızda bekleme süresi ve bu hıza çıkarken uygulanan ivmenin miktarı çok önemlidir. Yüksek ivmelerde ince malzeme suyun geçeceği kanalları tıkayacağından dolayı boru kalitesinde bozukluklar oluşabilir, düşük ivmelerde ise enerji kullanımı fazla olacağından ekonomiklik kaybolur.

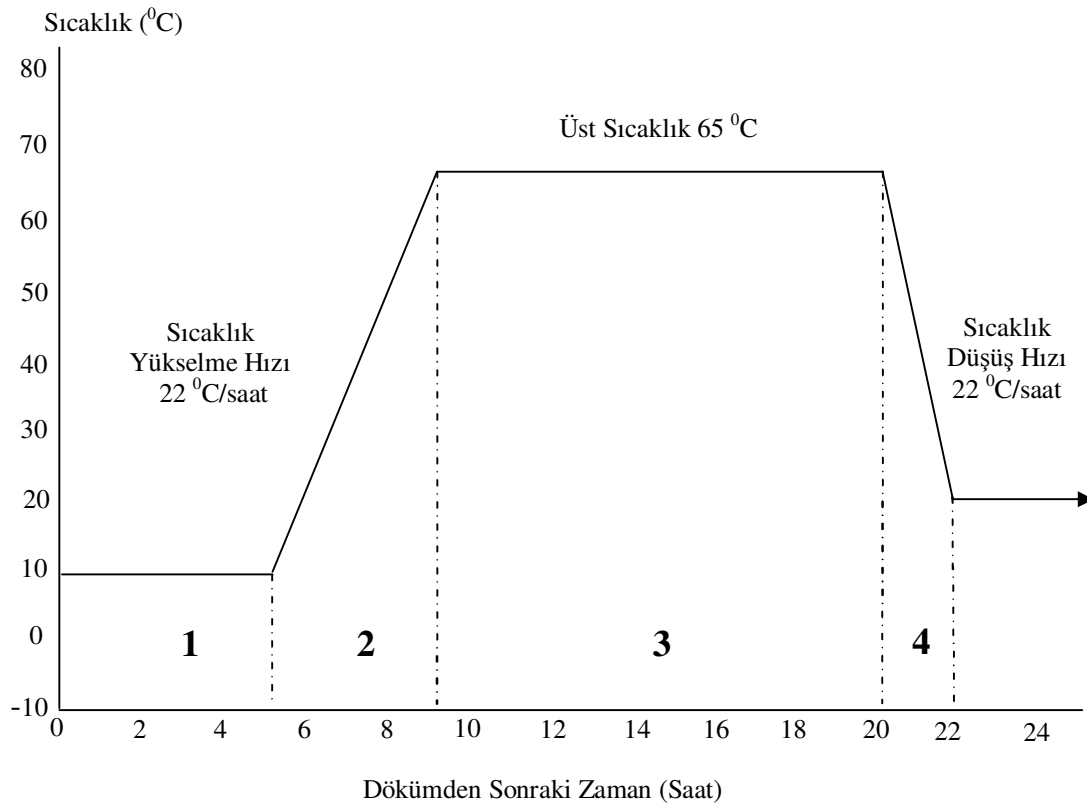
Üst dönüş hızlarında optimum süre uygulanmadığında yeterli sıkışma ve su çıkışı sağlanamaz fazla uygulandığında ise aşırı ayrışma oluşabilir. Uygulanacak ivme üst dönüş hızı ve beton nitelikleri, boru çapı ve et kalınlığına bağlı olarak ve işletmenin koşulları göz önünde tutularak belirlenmelidir.

2.5. Beton Boru Bakım Kuralları

Beton boruların üretiminde uygulanacak bakım (kür) metotları aşağıda belirtilen maddelere uygun olmalıdır. Hangi kür metodu uygulanırsa uygulansın boru betonundaki çimentonun hidrasyonunun sağlanmış olması gerekir [10].

- Su püskürtme ile kür uygulaması
- Havuzda kür uygulaması
- Havada kür uygulaması
- Atmosfer basıncında buhar kürü uygulaması
- Neme doymun ortamda kür yaptırılması (ıslak çuvala sarılarak)
- Nem kaybını önleyici membran kullanılarak kür uygulaması

Bu metotlardan biri veya birkaçı aynı anda uygulanabilir. Beton borulara uygulanan tipik bir buhar kürü sürecinin aşamaları Şekil 2.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Beton Borulara Uygulanan Buhar Kürü Süreci

2.6. Beton Boruların Dizaynında Kırılma Mekanîği

Kırılma mekanîği beton boruların dayanım analizinde ve dizaynında oldukça kullanışlıdır. Atıksular için boru sistemleri genellikle betondan yapılır. Gelişmiş ülkelerde altyapı inşaatlarının önemli bir kısmının temelini beton borular teşkil etmektedir. Örnek olarak, 8 milyon insanın yaşadığı İsveç'te 84.860 km'lik atıksu boruları mevcut olup, aynı zamanda her yıl yaklaşık 1000 km atıksu borusu sisteme ilave edilmektedir ve mevcut boruların %80'i ise beton borudan yapılmıştır.

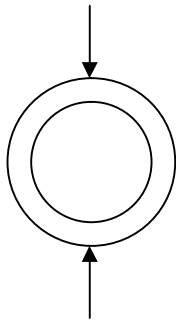
Beton borularda yatırımların büyük olması daha iyi tasarım metotlarının yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu durumda betonun kırılma dayanımında çökmenin olmadığı ve bu yüzden giderek hasara bağlı olarak kırılma esnasında zorlanan bölgenin de dikkate alınması gerekmektedir. Sayısal sonuçlar, basitleştirilmiş denklemler ve standartların yer aldığı tabloları içeren kırılma mekanîği ile elde edilir [3].

Kırılma mekaniği analizi, standart geleneksel lineer elastik kırılma teorisinde belirtilenin aksine uygulamada etkili sonuçlar veren faydalı bir yoldur. Kırılma mekaniğinden elde edilen sonuçların doğruluğu ile ilgili gerçekliliğini amaçlayan ve daha sağlıklı deneylerin yapılmasını sağlayan yeni ve değişik beton boru test metotları geliştirilmiştir.

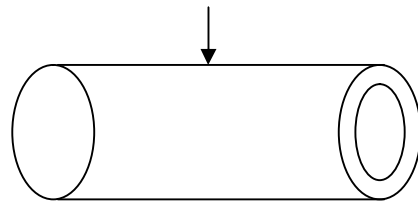
Genelde çok iyi bilinen hayali kırılma modeli Hillerborg ve Co-Wolkers tarafından geliştirilmiştir. Bileşimindeki hesaplamalardan elde edilen sonuçlar, diğer analiz metotları ve deney sonuçları ile karşılaştırılarak yapılmıştır. Bu çalışma temelde güçlendirilmiş çimento ile veya bunun dışındaki borularla sınırlandırılmıştır. Fakat bazı durumlarda yükleme esnasında kopma veya çatlak büyümeleri olabilir. Bu durum beton borular için geçerlidir.

2.7. Dairesel Borularda Eğilme Modunun Boyut, Şekil ve Kırılma Dayanımına Etkisi

Genelde iki çeşit eğilme kırılma modu bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, dairesele eğilme kırılmasıdır. Şekil 2.3.a.'da boru, uzunluğu boyunca mesnetlenmiş ve yüklenmiştir. Diğer eğilme kırılma modu ise Şekil 2.3.b.'de görüldüğü gibi, kiriş eğilme kırılmasıdır. Bu durumda beton boru bir kiriş gibi mesnetlenmiş ve yüklenmiştir [2].



a) Dairesel Eğilme Kırılması



b) Kiriş Eğilme Kırılması

Şekil 2.3. Beton Borularda Eğilme Çeşitleri

f_f eğilme mukavemeti değeri klasik lineer elastik teoriye göre hesaplanan maksimum yüklemdeki maksimum gerilmedir. f_f eğilme mukavemetine göre, normalize edilen f_t mukavemeti betonun çekme mukavemetine ve d_i/l_{ch} oranına ve borunun normalize edilen boyutuna karşı gösterilmiştir. Burada l_{ch} malzemenin gerçek boyutudur ve $l_{ch} = E.G/f$ bağıntısıyla hesaplanır Gustafsson (1985).

l_{ch} = Malzemenin Gerçek Boyu

E =Betonun Elastisite Modülü

G_f =Betonun Kırılma Enerjisi

f_t = Normalize Edilmiş Mukavemet

f_f =Eğilme Mukavemeti

Normal eğilme mukavemetindeki dairesel eğilme değeri kiriş eğilme mukavemetinden daha yüksektir. Genellikle boruların deneyleri dairesel eğilmeleri için yapıldığından mukavemetteki bu farklılıklar dizaynında da çok önemli olmaktadır. Betonun kırılma enerjisinin etkisi (G_f), boyutun tersine (d_i^{-1})'e eşittir. $G_f = 0$ ifadesi $f_f/f_t = 1$ sonucunu vermektedir. Betonun çekmede kırılma tokluğu tipik olarak $0,2 \leq d_i/l_{ch} \leq 52$ bağıntısıdır. Bu bağıntının verdiği sonuç boruların yük taşıma kapasitesinde büyük öneme sahiptir. Bu borunun geometrik şeklinin etkisi t/d_i oranı ile gösterilmektedir [3].

Tablo 2.10. Deneysel Olarak Elde Edilen Eğilme Mukavemeti ve Buna Karşılık Gelen Kırılma Mekanizması Kullanılarak Tahmin Edilen Betonun Çekme Mukavemeti

Boru Geometrisi		Eğilmenin Şekli	Eğilme Mukavemeti f_f (N/mm ²)	Çekme Mukavemeti f_t (N/mm ²)
Cidar Kalınlığı t (mm)	Boru İç Çapı d_i (mm)			
34	100	Kiriş	7,4	4,9
34	150	Kiriş	6,8	4,9
34	225	Kiriş	6,6	5,1
34	225	Daire	11,0	4,9
55	400	Daire	9,6	4,9

Küçük bir ek deneysel çalışma Tablo 2.10.'da görüldüğü gibi benzer iyi bir sonuç vermiştir. Değişik eğilme gerilmesi deney sonuçlarından teorik olarak tahmin edildiği gibi gerçek betonun çekme gerilmesi hemen hemen sabittir. Kaydedilen f_f değerlerinden f_t değerlendirilmesi $l_{ch} = 380$ mm kabul edilerek elde edilmiştir. Bu kabul betonun kırılma mekaniği değerleri esas alınarak yapılmıştır Petersson (1981). Çatlak açıklığına karşı hayali çatlak modelleri tarafından hesaplarda kullanılan v-w değerinin eğrisi, yani çatlak açıklığına karşı kohezyon mukavemeti Petersson'un önerisine göre bi-lineer olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2.10.'da verilen sonuçları bir borunun mukavemetinin betonun silindir yarma deneylerinden ve buna karşılık betonun çekme mukavemetinin boru deneyleri sonuçlarından tahmin edilebileceğini göstermektedir.

2.8. Zararlı Kimyasal Tesirlere Karşı Beton Borularda Meydana Gelen Mukavemet Değişimi

Beton agregası mineralleri ve çimentodaki mineraller arasında meydana gelen kimyevi reaksiyonların hasıl ettiği kısmi veya tüm kimyevi bozukluklar aşağıdaki şekillerde ve yerlerde kendisini gösterir [17].

- Oldukça büyük çapta gelişmiş güzel dağılmış çatlaklar.
- Aşın genleşme
- Beton yüzünde 4–5 cm genişliğinde, içe doğru 15-45 cm çatlaklar
- Bilhassa boşluklarda ve etkiye uğramış agrega parçalarına yakın yerlerden beton içinde ve yüzündeki beyazımsı amorflu depoziteler ve jelatimsi sızıntılar
- Bilhassa içinde opal ile bazı asilik ve volkanik kütle içinden alkali agrega parçaları ihtiva eden reaktif agregalardaki sızıntı ve başkalaşım bölgelerinin dış uçları
- Taze betonlarda tebeşirimsi donuk görünüş

Betonda meydana gelen kimyevi bozukluklar çeşitli kimyevi maddelerin temasıyla meydana gelebilir. Korunmamış beton üzerine tesir edebilen bazı maddeler Tablo 2.11'de verilmiştir. Bu tablo normal şartlar altında tehlikesiz oldukları halde yüksek konsantrasyonda ve ısıda zararlı tesirler gösterebilecek tuzların listesini de ihtiva

etmektedir. Tablo 2.11.'de gösterilmiş olan asit tesirlerine portland çimentosunun mukavemet edebilecek hiçbir cinsi yoktur. Asit korozyonunun mevzu bahis olduğu yerlerde beton yüzü uygun bir şekilde örtü ile muhafaza edilmelidir.

Çimento ve su birleştiği zaman meydana gelen bileşiklerden biri hidrate kireçtir. Ekseri ya serbest karbondioksitten daha fazla tesir kudreti olan hidrate kirecin, suyun çatlaklar ve birbirleri ile irtibatı olan boşluklardan geçişi sırasında meydana gelme ihtimali her zaman mevcuttur. Diğer katı maddelerin eriyerek çıkması betonun kalitesi üzerinde önemli surette etkilidir. Beton içinde su tesirleri ile eriyen maddeler su ile birlikte sürüklenir ve yüzeye geldiği anda buharlaşma neticesinde beton yüzeyinde beyaz bir çökelek şeklinde kalıntı bırakır, bu olaya çiçeklenme denir [17].

Bazı maddeler, düşük bir erime kabiliyetine sahip oldukları halde çimentoyla birleşerek hacim genişlemesi yoluyla betonu tahrip eden maddeleri meydana getirmektedirler. Bu durumda parçalanma fiziki ve kimyevi kuvvetlerin müşterek tesirleri neticesinde olabilir. Kesif betonlarda bu tip tesirler oldukça fazladır. Fakat boşluklu betonlarda durum başkadır. Tesir eden zararlı maddeler arasında en çok rastlananları sodyum, magnezyum ve kalsiyum sülfatlardır. Beyaz alkali diye tanınan bu tuzlar alkali topraklar ve suda bulunurlar. Bu tuzların fazla olması korozyonu arttırır. Suyun minimum olduğu kuru mevsimlerde sülfatların su içindeki yüzdeleri artar. Dolayısıyla korozyon ihtimali fazlaşır.

Sülfatlar kimyevi olarak çimentodaki hidrate ve kalsiyum alüminatla birleşerek kalsiyum sülfat ve kalsiyum sülfalüminat teşkil ederler. Az kalsiyum alüminat ihtiva eden çimento ile yapılan betonlar sülfatlı toprak ve zeminlerin zararlı tesirlerine karşı oldukça yüksek bir mukavemet gösterirler.

Betonun ısınma ve kuruma değişimlerine maruz kaldığı yerlerde sodyum karbonat gibi bazı tuzlar betonun boşluklarında kristalleşme ile yüzey parçalanmasına sebep olur.

Tablo 2.11. Sertleşmiş Beton Üzerine Muhtelif Maddelerin Tesiri

Maddeler	Maddelerin Korumasız Betona Etkileri
Süzülmüş Kömür Katranı	Yok
İnorganik Asitler	Yok veya Çok Az
<u>Organik Maddeler</u>	
Asidik Asit	Yavaş Parçalanma
Oksanik ve Kuru Karbonik Asitler	Yok
Su İçinde Karbonik Asitler	Yavaş Olarak Kötü Tesir
Laktik ve Tannik Asitler	Yavaş Olarak Kötü Tesir
Nebati Yağlar	Az veya Çok Kötü Tesir
<u>İnorganik Tuzlar</u>	
Sülfatlar (Ca, N, Mg, Al-Fe)	Aktif Olarak Kötü Tesir
Kloritler (Na, K)	Yok
Kloritler (Ca, Mg)	Az Kötü Tesir
<u>Bazı Karışımlar</u>	
Süt	Yavaş Olarak Kötü Tesir
Sebze ve Et Suları	Yavaş Olarak Kötü Tesir
Şeker Pekmezi, Mısır Suyu ve Glikozlar	Az Kötü Tesir

2.9. Zararlı Kimyasal Etkilere Dayanıklı Beton Boru Yapım Kuralları

Betonun, zararlı kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı, özellikle betonun yaşına, geçirimsizliğine, su/çimento oranına ve yapımında kullanılan çimento çeşidine bağlıdır.

Yeni dökülmüş beton, prizini tamamlamamış veya çok genç betonlar; etkilere karşı çok duyarlı olduklarından zararlı kimyasal etkilere dayanıklılıkları yeterli düzeye ulaşmaya kadar, direkt etkilerden korunmalıdır.

İstenilen dayanıklılığın sağlanabilmesi için, geçirimsizlik ve su/çimento oranı sınırlanmalı ve uygun bir çimento seçilmelidir [17].

2.9.1. Çimento cinsinin seçilmesi

Kullanılacak Çimento TS 12144 standardına uygun olmalıdır. Seçilecek çimento miktarı ise 200 kg/m^3 'den az olmayacak şekilde olmalıdır. Sülfat miktarı, suda litrede 400 mg SO_4^{-2} 'den fazla, zeminlerde ise beher kilogram hava kurusu zeminde $3000 \text{ mg SO}_4^{-2}$ 'den fazla olduğunda, sülfat etkisine dayanıklı çimento cinslerinin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle zararlı etkinin zayıf veya kuvvetli olduğu hallerde yüksek fırın cüruf çimentosu veya uçucu küllü çimento cinsleri tercih edilmelidir. C_3A oranı %8'i geçmeyen portland çimentoları da kullanılabilir [16].

Zararlı etkinlik derecesinin çok kuvvetli olduğu hallerde sülfatlı cüruf çimentosu kullanılmalıdır. Ancak zararlı etkinlik derecesine göre uygun çimento türünün seçilmiş olması ile yetinilmemeli ve açıklanan diğer önlemlerinde alınmasına özen gösterilmelidir.

2.9.2. Geçirimsizlik ve su/çimento oranının sınırlandırılması

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 sınırlandırılması yoluna gidilir.

Betonun karakteristik basınç dayanımı değeri 40 MPa 'dan veya alternatif olarak karakteristik yarmada çekme dayanımı $2,7 \text{ MPa}$ 'dan küçük olmamalıdır. Betonun oksijen geçirgenliği $4 \cdot 10^{-16} \text{ m}^2$ 'den fazla olmamalıdır.

Çok kuvvetli etki derecesi karşısında uzun süre kalacak olan betonlarda, dayanıklılığın sağlanması olanağı bulunmamaktadır. Bu nedenle bu gibi betonlarda, yukarıda belirtilen özel önlemler alındıktan ve betonun bu koşullara uygun şekilde yapılmasından başka zararlı etkili madde ile betonun doğrudan doğruya temas

etmesini önlemek üzere uygun yalıtım ve koruma önlemleri alınmalıdır [16].

Bu amaçla, fırça ile uygulanan bitüm esaslı yalıtıcılar, bitüm ile doyurulmuş kartonlar, keçeler veya yalıtma pestilleri veya bitümlü yalıtım pastaları kullanılabilir. Uygulamanın yapılacağı yerin iklimi göz önünde tutularak, kullanılacak bitümlü maddelerin 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 arttırılmalıdır. Yeraltı su düzeyi göz önünde bulundurularak yapılacak uygulamada geçirimli veya kohezyonlu zeminlerde en yüksek yeraltı su düzeyinin üstünde bulunan kısımlarda da en az 3 kat yapılmalıdır. Yer altı su düzeyinin altında bulunan yapı kısımlarında ise 3 metreye kadar 3 kat, 3–6 metre arasında 4 kat, 6–12 metre arasında 5 kat, 12 metreden fazla ise 6 kat yalıtım yapılmalıdır [16].

Suyun basıncının göz önüne alınması halinde de,

0,5 kgf/cm ² (0,05 MpA) basıncına kadar	3 kat
1,0–2,0 kgf/cm ² (0,1–0,2) MpA basıncına kadar	5 kat
2,0–5,0 kgf/cm ² (0,2–0,5) MpA basıncına 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 elemanlarının yüzeyine tam ve iyi yapışacak nitelikte olmalı, zamanla aşınıp çatlayarak geçirimli hale gelmemeli, sıcaklık farklarından ve dondan zarar görecektir nitelikte olmamalıdır. Yalıtımda geçirimsizliği bozacak ve aralıklar bulunmalı, yapım sırasında zorunlu olarak oluşacak iç derzlerinde de yukarıda anılan özellikler sağlanmalıdır[16].

Zemin içinde beton yapı elemanlarının 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 tutularak taze betonun buralardan kolayca geçmesinin sağlanması çoğu zaman en ekonomik, bazı hallerde tek çözüm yolu olabilir.

2.9.3. Projelendirme ve imalat esnasında uygulanacak yapısal kurallar

- Taze dökülmüş prizini tamamlamamış betonlar ile yaşı nispeten genç betonlar, zararlı kimyasal etkiler karşısında çok daha duyarlı olduklarından bu gibi hallerde ve özellikle priz sürelerini tamamlamadan kimyasal zararlı etki karşısında bırakılmamalıdır. Betonun bu süre içinde zararlı etkilerden korunabilmesi için temas yüzeyi bitümlü veya katran esaslı bir koruyucu ile yalıtılmalı veya diğer yapısal koruyucu önlemler alınmalıdır.
- Beton dökümü olabildiğince tek bir iş kademesinde ve ara verilmeden tamamlanmalıdır.
- Betonun dökümünün ardından betonun bakımı ve kürüne özen gösterilmeli ve bu konuda yapılabilecek işlemler yerine getirilmelidir.
- Beton yapı elemanlarında keskin kenar ve köşeler oluşturulmasından kaçınılmalı ve bu husus özellikle proje çalışmaları sırasında göz önünde bulundurulmalıdır.
- Beton yapı elemanlarının birbirlerinden derzlerle ayrılması 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 2.12'de minimum pas payı değerlerinin altına inilmemelidir.

Tablo 2.12. Zararlı Etki Karşısında Bulunan Betonarme Yapı Elemanlarında Minimum Pas Payı Değerleri

Beton Sınıfı	Minimum Pas Payı (cm)	Klorürler Söz Konusu Olduğunda
(160) BS 12	4,0	5,0
(225) BS 20	-	4,5
(300) BS 25	3,0	4,0
TS 500 Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları		

- Öngörülen beton yapılarda, donatıların korozyona uğramaları özel önlemler ile engellenmelidir.
- Beton yapılarda kullanılacak agrega temiz, sert ve yüksek dayanımlı kayalardan oluşmuş TS 706'da belirtilen uygun granülometride olmalı, bilhassa kalker kökenli olmamalıdır.
- Beton karışımı hazırlanırken geçirimsizliği azaltıcı ve işlenebilirlik özelliğini artırıcı katkı maddeleri kullanılmalıdır.
- Betonda priz hızını arttıran veya azaltan ve prizi etkileyen hiçbir katkı maddesi kullanılmamalıdır.
- Betonun mümkün olduğunca vibratörle sıkıştırılması tercih edilmelidir.
- Beton yapımında TS 1247 ve TS 1248 de belirtilen kurallara uyulmalıdır.

BÖLÜM 3. KENTSEL ATIKSULAR VE KARAKTERİZASYONLARI

Kentsel atıksu kanalizasyon sistemleri atıksuların kaynağından alınarak arıtma tesislerine iletilmesi amacıyla genelde çeşitli çaplarda beton borulardan oluşur. Atıksu iletiminin çevre sağlığına zarar vermeyecek, düşük işletme maliyetli ve verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için beton borulara giriş yapan atıksu kaynaklarını ve bu kaynaklardan gelen atıksuların kirlilik yüklerini bilmemiz gerekmektedir. Kirlilik yükleri çeşitli standartlarla sınırlandırılmış olup kentsel bazda denetim mekanizmaları tarafından atıksu deşarjları yapılan kontrollerle belirlenmekte ve deşarj limitlerine uymayan kurum ve kuruluşlara önleyici çeşitli yaptırımlar uygulanmaktadır. Doğal yollardan atıksu kanalizasyon sistemine giren kirletici maddelerin kaynakları araştırılmalı ve önlemler alınmalıdır. Aşağıda kentsel atıksu kanalizasyon sistemine giren ve atıksuyu oluşturan kaynaklar açıklanmıştır [1].

- Evsel Atıksular: İçmesuyu şebeke sistemi ile evlere verilen temiz su lavabo, banyo, tuvalet ve mutfaklarda kullanıldıktan sonra ayrı bir sistem ile toplanarak kullanılmış su kanal ağına verilir. Bu sular bol miktarda organik madde, sabun, deterjan ve yağ ihtiva ederler. Hastalık yapan mikroorganizmalara bu sulara oldukça sık rastlanır. Atıksu kanalizasyon sistemlerinde akış hızının düşük olduğu veya tıkanıklıktan kaynaklanan birikmeler olduğu zamanlarda evsel kaynaklı atıksularda çürümeler meydana gelir. Bu çürümeler neticesinde H_2S , NH_3 , CO_2 , CH_4 zehirli gazları oluşur.

- Endüstriyel Atıksular: Endüstriden gelen atıksuları özellik ve miktarı endüstrinin imalat türüne bağlıdır. Sanayiden gelen asitli, yüksek sıcaklıkta ve H_2S barındıran atıksular çimento ve metalden yapılan atıksu kanalizasyon borularına aşındırarak zarar verir. Petrol ürünleri ve bazı kimyasal maddeler kanalizasyon sisteminde patlamalara neden olabilirler.

- Yağış Suları: Yağış suları evlerin çatılarından sokaklarda mevcut yağmur suyu ızgaralarıyla toplanarak birleşik sistem varsa atıksu kanalizasyon sistemine, ayırık sistem varsa yağmur suyu kanal sistemine verilerek uzaklaştırılır. Yağmur suyunun miktarı yağışın süre-şiddet ve frekansına bağlıdır. Yağmur suları denize, göle, akarsuya verilir. Eğer yağmur suyu kirlenmişse kirliliğine göre arıtmadan geçirilerek alıcı ortama verilir. İlk yağış zamanında yüzeydeki kirlilikler yağmur suyuyla süpürüldüğü için ilk yağmur suyu kirlidir. Sonradan yağış devam ettikçe kirlilik azalır.

- Yeraltı Suları: Atıksu kanalizasyon sisteminin döşendiği yerdeki yer altı suyu miktarı fazla ise kanallara bir miktar yer altı suyu sızabilir. Bu miktar hesaplanarak atıksu altyapı sistemine boyut verilir. Yeraltı suyu genelde temizdir ve kanalda mevcut suyun seyrelmesine sebebiyet verir.

Tablo 3.1. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Atıksu Kanalizasyon Sistemine Deşarj Limitleri

PARAMETRELER	LİMİT DEĞERLER
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOI)	800 mg/l
Askıda Katı Madde (AKM)	350 mg/l
Toplam Azot (TN)	100 mg/l
Toplam Fosfor (P)	10 mg/l
Yağ-Gres	100 mg/l
Arsenik (As)	10 mg/l
Antimon (Sb)	3 mg/l
Kalay (Sn)	5 mg/l
Bor (Sn)	3 mg/l
Kadmiyum (Cd)	2 mg/l
Toplam Krom (Cr)	5 mg/l
Bakır (Cu)	5 mg/l
Kurşun (Pb)	3 mg/l
Nikel (Ni)	5 mg/l
Çinko (Zn)	10 mg/l
pH	6 - 10 mg/l
Civa (Hg)	0,2 mg/l
Gümüş (Ag)	5 mg/l
Toplam Siyanür (Cn)	10 mg/l
Fenol	10 mg/l
Toplam Sülfür	2
Sülfat (SO ₄)	1700

Tablo 3.2. Çevre ve Orman Bakanlığına Ait Çevre Mevzuatında Kentsel Atıksu Kanalizasyon Sistemine Deşarjlarda Öngörülen Standart Değerler

Parametre	Kanalizasyon sistemleri tam arıtma ile sonuçlanan atıksu altyapı tesislerinde	Kanalizasyon sistemleri derin deniz deşarjı ile sonuçlanan atıksu altyapı tesislerinde
Sıcaklık (°C)	40	40
PH	6,5-10,0	6,0-10,0
Askıda katı madde (mg/l)	500	350
Yağ ve gres (mg/l)	250	50
Katran ve petrol kökenli yağlar (mg/l)	50	10
Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) (mg/l)	4000	600
SO ₄ ⁻² (Sülfat) (mg/l)	1000	1000
Toplam sülfür (S) (mg/l)	2	2
Fenol (mg/l)	20	10
Serbest klor (mg/l)	5	5
Toplam azot (N) (mg/l)	- ^(a)	40
Toplam fosfor (P) (mg/l)	- ^(a)	10
Arsenik (As) (mg/l)	3	10
Toplam siyanür (Toplam CN ⁻) (mg/l)	10	10
Toplam kurşun (Pb) (mg/l)	3	3
Toplam kadmiyum (Cd) (mg/l)	2	2
Toplam krom (Cr) (mg/l)	5	5
Toplam civa (Hg) (mg/l)	0,2	0,2
Toplam bakır (Cu) (mg/l)	2	2
Toplam nikel (Ni) (mg/l)	5	5
Toplam çinko (Zn) (mg/l)	10	10
Toplam kalay (Sn) (mg/l)	5	5
Toplam gümüş (Ag) (mg/l)	5	5
Cl ⁻ (Klorür) (mg/l)	10000	-
Yüzey aktif maddeler	Biyolojik olarak parçalanması Türk Standartları Enstitüsü standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır.	

^(a) - Bu parametrelere atıksu değerlendirilmesinde bakılmayacaktır.

3.1. Kentsel Atıksuların İçeriğinde Mevcut Beton Borulara Zararlı Etki Yapan Maddeler ve Tesirleri

Zararlı kimyasal etki, beton veya donatılı betondan yapı elemanlarını kimyasal yönde etkileyerek bu elemanların başta dayanımı olmak üzere diğer özelliklerini, olumsuz yönde etkileyerek kalitesini düşüren ve hizmet süresini azaltan kimyasal etkilere dir.

Bileşimlerinde, sertleşmekte olan veya sertleşmiş betonu kimyasal olarak zararlı şekilde etkileyen maddeler bulunan suların, zeminlerin ve gazların tanınmasını, bu maddelerin zararlı etki gücünün, zararlılık derecelerinin tayin ve değerlendirilmesini ve bu gibi kimyasal etkiler karşısında kalacak olan betonların yapımında yeterli dayanıklılığın sağlanması için normal yapım kurallarına ek olarak uyulması gerekli yapım kuralları araştırılacaktır. Bileşimlerinde,

- Serbest asitler
- Amonyum tuzları
- Sülfürler
- Sülfatlar
- Bazı organik bileşikler
- Bazı magnezyum tuzları

bulunan su ve zeminler beton üzerinde zararlı etki yaparlar. Ayrıca sertlik dereceleri düşük sular da betonda zararlı etki oluştururlar. Bu etkenlerin haricinde deniz, nehir, dağ, kaynak ve bataklık sularında etkileri bulunmaktadır.

İçinde kükürtlü hidrojen (H_2S) ve kükürt dioksit (SO_2) bulunan gazlar, nemle birlikte bulunmaları halinde anılan zararlı etkiyi yapabilirler.

3.1.1. Asitli sular

Asitli sular pH değerlerinin 7'den küçük olması ile belirlenir. İçinde serbest asitler bulunan sular beton bünyesinde 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.

3.1.1.1. Serbest mineral asitleri

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 oluştururlar.

3.1.1.2. Kükürt dioksit (SO_2)

Genellikle yanma sonucu oluşan gazlarda bulunan kükürt dioksit, kuru olarak betonun içine işleyerek veya nemli beton yüzündeki su filminde çözünerek sülfüroz asit (H_2SO_3) ve sülfitleri oluşturabilir. Oksijenin yeterli olduğu ortamlarda ise sülfürik asit (H_2SO_4) ve sülfatları meydana getirerek zararlı etki yaparlar.

3.1.1.3. Hidrojen sülfür (H_2S)

Hidrojen sülfür zayıf bir asit olduğu için betonu daha az etkiler. Ancak gaz halinde, beton 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 nemi ile yükseltgenerek, sülfatları veya sülfürik asidi oluşturarak zararlı etki yapabilirler.

3.1.1.4. Serbest organik asitler

Asetik asit, (sirke asidi), laktik asit (süt asidi) vb. serbest organik asitler, kimyasal yapılarına uygun tuzlar oluşturarak, sertleşmiş çimento bileşimindeki kalsiyum çözünmesine neden olurlar.

Genellikle organik asitlerin etkisi, inorganik asitlerin etkisinden daha hafiftir. Hatta tartarik asit, oksalik asit vb. bazı organik asitlerin koruyucu bir film oluşturdukları bilinmektedir. Aminoasitler genellikle sertleşmiş beton için zararsızdırlar. Ancak bunlar bazı hallerde kendi hidrojen iyonlarını nötr tuzların katyonları ile değiştirerek asıl inorganik asitleri oluşturabilirler. Çok az bir miktarda olsa bile humus etkisi, taze betonda sertleşmeyi engelleyebilir.

3.1.1.5. Kireç çözücü karbonik asit

Kireç çözücü karbonik asit betonu diğer zayıf asitler gibi etkiler ve sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksitin çözülmesine neden olurlar. Karbondioksit gazının suda çözülmesi ile oluşan kireç çözücü karbonik asit konsantrasyonunu belirlemek için pH değeri tek başına yeterli değildir. Bu nedenle çeşitli deney yapılarak (Heyer mermer deneyi) kireç çözücü karbonik asit konsantrasyonu ayrıca tayin edilmelidir.

3.1.2. Amonyum tuzları

Amonyum karbonat, amonyum oksalat ve amonyum florür dışında kalan amonyum tuzları, sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksiti etkileyip çözerek ayırır. Bu arada serbest kalan amonyak suda çözünür ise de beton ve çimento üzerinde etkili olmaz. Amonyum sülfat söz konusu olduğunda, sülfat etkisi ayrıca göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek amonyum konsantrasyonu sadece kanalizasyon etkisi ile kirlenmiş sularda bulunur. Yani evsel atıksuların yoğun olduğu beton borularda miktarı fazladır.

3.1.3. Magnezyum tuzları

Magnezyum sülfat ($MgSO_4$) magnezyum klorür ($MgCl_2$) gibi magnezyum tuzları, sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksitle [$Ca(OH)_2$] reaksiyona girerek, yumuşak ve jelatinimsi bir madde olan magnezyum hidroksiti oluştururlar. Magnezyum sülfat söz konusu olduğunda, sülfat etkisi ayrıca göz önünde bulundurulmalıdır.

3.1.4. Sülfatlar

Sülfatlar, sertleşmiş çimentoda bulunan trikalsiyum alüminat ile birleşerek trikalsiyum sülfalüminat hidratı oluşturur. Bu bileşik, molekülünde 31 molekül hidrat suyu bulundurduğundan betonda şişmelere ve kabarmalara neden olur.

3.1.5. Sertlik derecesi düşük sular

Toplam sertlik derecesi 1,1 meq/l den daha düşük olacak derecede çözünmüş kalsiyum ve/veya magnezyum tuzları içeren sular sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksiti çözebilir. Ancak, betonun geçirimsizliği arttıkça bu etki ve oluşturacağı tehlike de azalır.

Tablo 3.3. Sertlik Ölçü Birimlerinin Dönüşüm Katsayıları

	1 meq/1 Toprak Alkali iyonu	Alman Sertlik Derecesi AS°	İngiliz Sertlik Derecesi İS°	Fransız Sertlik Derecesi FS°	ppm = mg/1 CaCO ₂
1 meq/1 Toprak alkali iyonu	1	2,80	3,51	5,00	50,0
Alman Sertlik Derecesi 1 AS°	0,357	1	1,25	1,79	17,90
İngiliz Sertlik Derecesi 1 İS°	0,285	0,798	1	1,43	14,30
Fransız Sertlik Derecesi 1 FS°	0,200	0,560	0,702	1	10,00
1 ppm CaCO ₃	0,0200	0,0560	0,0702	0,1000	1

Çizelgede «ppm CaCO₃» ile ilgili olarak belirtilen değerler 1 dm³ su 1 Kg kabul edilerek hesaplanmıştır.

3.1.6. Yağlar

Yağların beton ve sertleşmiş çimento üzerindeki etkileri, kimyasal bileşimlerine, fiziksel koşullara ve orijinlerine göre değişiklikler gösterir.

3.1.6.1. Madensel yağlar

Madensel yağlar, beraberlerinde serbest asitler ile bitkisel ve hayvansal yağların bulunmaması halinde betonu etkilemez

3.1.6.2. Maden kömürü katranı yağları

Orta ve ağır yağlar genellikle fenol (karbolik asit) ve homologlar içerirler. Bu nedenle, maden kömürü katranı kökenli yağlar betonu etkileyerek fenolatlar oluştururlar. Betonun geçirimliliği azaldıkça bu etki de önemini kaybeder.

3.1.6.3. Bitkisel ve hayvansal yağlar

Bitkisel ve hayvansal yağlar sertleşmiş beton bünyesinde bulunan kalsiyum hidroksiti etkileyerek yağ asidinin kalsiyum tuzlarını (kalsiyum sabunu) oluşturabilir. Bu gibi yağların etkisi, geçirimliliği azaldıkça önemini kaybeder.

3.1.7. Kentsel kanalizasyon atıksuları ve endüstriyel atıksular

Kanalizasyon suları zararlı madde olarak mineral asitleri, organik ve inorganik 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. Kimyasal endüstri 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 [17].

Şeker, kâğıt, boya, sirke ve konserve fabrikaları ile deri, bira ve süt mamülleri üreten tesisler, yem endüstrisi vb. endüstri dallarında oluşan atıklar ise genel olarak formik asit (karınca asidi), asetik asit (sirke asidi), laktik asit (süt asidi) gibi organik asitler içerir.

3.1.8. Yağış ve yeraltı suları

Yağış suları birleşik sistemin olduğu kentlerde atıksu kanalizasyon sistemine verildiğinden dolayı yağış zamanında atıksu kanalizasyon sistemindeki mevcut atıksuya karışarak kanaldaki debi miktarını arttırmaktadır. Debi artışı neticesinde, atıksu miktarına göre hesaplanıp döşenen beton borularda zamanla çatlama ve kırılma gibi fiziksel hasarlar meydana gelmektedir. Özellikle yağışın fazla olduğu bölgelerde beton boruların ömrü yüksek oranda azalmaktadır. Ayrıca yağış suları cadde ve sokaklarda bulunan yağ, deterjan gibi maddelerin sürüklenerek beton borulara girişini sağlamakta olup bu durumda beton borularda mevcut kirlilik yükünün artmasına sebep olmaktadır. Özellikle önlem alınmadığı takdirde benzin istasyonları ve oto sanayi siteleri gibi yağ, gres, benzin gibi çeşitli korozyonu hızlandırıcı ve yapışkan özellikte maddelerin kullanıldığı işletmelerden yağış ile sürüklenen maddeler beton borularda çok hızlı ve etkili hasarlara yol açmaktadır.

Yer altı suları ise genellikle beton boruların bağlantı kısımlarından yada çatlak kısımlardan sızarak atıksuya karışmakta ve atıksuyun seyrelmesini sağlamaktadır. Yeraltı suyunun yoğun olduğu bölgelerde beton borular su ile aşırı temas halinde fiziksel özelliklerini kaybederek veya su yatağında kayma yaparak kırılabilir. Beton boru döşeme işi mümkün olduğu kadar az yoğun yeraltı suyu bulunan bölgelerde yapılmalıdır veya döşeme esnasında kaynak veya yeraltı suyu damarına yaklaşıldığında döşeme istikameti değiştirilmelidir.

3.1.9. Deniz ve nehir suları

Deniz suyunda bulunan ve zararlı etkisi olan maddelerin başında magnezyum tuzları ve sülfatlar gelir. Kentsel atıksu kanalizasyon sisteminin deniz ortamına yakın ve deniz seviyesinden düşük olduğu ortamlarda beton boru bağlantı kısımlarından veya oluşan

çatlak ve kırıklardan deniz suyu beton borulardan sızarak atıksuya karışmaktadır. Bu durum beton borunun ömrünün hızlı bir şekilde azalmasına ve işletme maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Deniz ortamına yakın ve deniz seviyesinden düşük kısımlarda beton borulara çeşitli kauçuk ya da plastik türevi malzemelerle kaplama yaparak deniz suyu ile teması engellenmeli ya da bu kısımların olduğu bölgelerde plastik veya güçlendirilmiş çeşitleriyle (HDPE Boru) imal edilmiş boru döşenmelidir [17].

Nehir suları ise çok saf olabileceği gibi zararlı etkili maddelerde içerebilir. Ancak bu maddelerin oranı önemli ve zarar oluşturabilecek düzeyde değildir.

Nehir ve deniz suları türbülans halinde ve yüksek debide atıksu kanalizasyon sistemine karıştığında yüksek miktarda yatak kumu getirebilir. Bu durum beton boruların çabuk tıkanmasına, arıtma tesislerinin verimli çalışmamasına, tıkanma neticesinde oluşan taşmalarda çevre sağlığının olumsuz yönde etkilenmesine ve işletme maliyetinin artmasına neden olmaktadır.

3.1.10. Dağ, kaynak ve bataklık suları

Dağ ve kaynak suları genellikle zararlı maddeleri çok az içerirler. Bununla birlikte bazı halledede kireç çözücü karbonik asitte içerebilirler. Bataklık sularında ise zararlı madde olarak özellikle karbonik asit ve organik asitler ile sülfatlar ve sülfürler söz konusu olabilir [17].

3.2. Atıksu İçeriğinde Bulunan Zararlı Kirletici Maddelerin Fiziksel ve Kimyasal Analizleri

Atıksuyun beton borulara olan zararlı etkilerinin belirlenebilmesi için atıksu kaynaklarının tespitinin yanı sıra mevcut atıksu muhteviyatında bulunan ve zararlı etkileri olan maddelerin zararlılık derecelerinin tespiti amacıyla atıksu ile çeşitli fiziksel ve kimyasal analizlerin yapılması gerekmektedir. Bu analizler neticesinde çıkacak verilere göre kaynak üzerine yoğunlaşılmalı ve işletme stratejileri belirlenmelidir [17].

3.2.1. Atıksuda bulunan zararlı kirletici maddelerin fiziksel analizleri

Karakteristik koyu renk jips vb. kristallerin oluşup ayrışması, çürümeye has özel koku, gaz kabarcıklarının oluşması (CO₂ veya bataklık gazı), asidik karakter (mavi turnusol kâğıdını kırmızıya dönüştürme) gibi özellikler zararlı kirletici maddelerin önde gelen görünüş özellikleridir [17].

3.2.2. Atıksuda bulunan zararlı kirletici maddelerin kimyasal analizleri

Yerüstü ve yeraltı sularının beton borularda sızarak karıştığı atıksularda kirletici maddelerin karakterizasyonlarının ve miktarlarının belirlenebilmesinin bir diğer yolu kimyasal analizlerin yapılmasıdır. Fiziksel analizlerde kirleticiler hakkında fiziksel olarak yorum yapılmakta fakat kirleticilerin beton borulara etkisinin araştırılabilmesi ve kirletici kaynaklarının doğru tespit edilebilmesi için kimyasal analiz yapılabilmesi gerekmektedir. Atıksu muhteviyatında bulunan kirletici maddelerin tespiti, karakterizasyonları ve miktarları için yapılan başlıca kimyasal analizler aşağıda sıralanmıştır [17].

- pH Tayini Deneyi
- Toplam Oksitlenebilir Madde Miktarı Tayini Deneyi
- Sertlik Tayini Deneyi
- Magnezyum Tayini Deneyi
- Amonyum Tayini Deneyi
- Sülfat Miktarı Tayini Deneyi
- Klorür Miktarı Tayini Deneyi
- Kireç Çözücü Karbonik Asit Tayini Deneyi
- Sülfür Miktarı Tayini Deneyi

3.3. Atıksu İçeriğinde Bulunan Zararlı Kirletici Maddelerin Etkinlik Dereceleri

Atıksu içeriğinde bulunan zararlı kirletici maddelerin etkinlik dereceleri incelenen özellik ve madde bakımından Tablo 3.4.'de belirtilen sınır değerler göz önünde

bulundurularak tayin edilir. Bu değerler durgun veya yavaş akan, büyük miktarlarda bulunan ve beton ile doğrudan doğruya temas halinde bulunan sular için geçerlidir.

Tablo 3.4. Doğadaki Suların Zararlı Etkinlik Dereceleri İçin Sınır Değerler

Sıra No.	İncelenen zelik	Zararlı Etkinlik Derecesi		
		Zayıf	Kuvvetli	ok Kuvvetli
1	pH değeri	6,5 ~ 5,5	3,5 ~ 4,5	4,5 dan küçük
2	Kireç zc (CO_2 mg/l) (Heyer mermer deneyi ile)	15 ~ 30	30 ~ 60	60 dan büyük
3	Amonyum (NH_4^+) mg/1	15 ~ 30	30 ~ 60	60 dan büyük
4	Magnezyum (Mg^{2+}) mg/1	100 ~ 300	300 ~ 1500	1500 den büyük
5	Sülfat (SO_4^{2-})mg/1	200 ~ 600	600 ~ 3000	3000 den büyük

BÖLÜM 4. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Son yıllarda hızlı sanayileşme beraberinde birçok çevre sağlığı problemlerini de beraberinde getirmektedir. Çevreyi, insan sağlığını, vs. korumak amacıyla inşa edilen çevre sağlığı tesislerinde kullanılan malzemelerinde önemi oldukça fazladır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan malzemelerin başında beton gelmektedir. Beton hemen hemen bütün altyapı tesislerinde kullanılmaktadır. Bunların arasında kanalizasyon, arıtma tesisleri ve benzerleri sayılabilir. Altyapı tesisleri büyük yatırımlar sonucu gerçekleştirilen tesislerdir, bu tesislerin işletme süreleri maruz kalacakları etkiler ile sınırlanmıştır. Bu gibi büyük maliyetleri olan yatırımlar işletme sürelerini arttırmak için bu tesislerin yapımında kullanılan malzemelerin tesisin maruz kalacağı etkiler, araştırmacıları bu konuda incelemeye itmiştir.

Sahel N. ve diğerleri, (1994); yüksek konsantrasyonlu klor ve sülfat tuzlarıyla kirletilmiş toprak ve deniz ortamlarında hizmet dahilinde olan betonarme yapıları iki problemle karşı karşıyadırlar. Bu problemler betonarme korozyonu ve sülfat ile temas halinde kalmasıdır. Birçok sayıda değerli çalışma, saf klorür ortamlarında betonarmenin korozyonu üzerinde yürütülmesine rağmen, uygun sülfat iyonlarının klor içerikli betonarme korozyonu üzerindeki etkisi hakkında hiçbir veri bulunmamaktadır. Bu çalışmada, klor ve sülfat iyonlarının etkisi incelenmiştir. Betonarme korozyonu, periyodik aralıklardaki korozyon potansiyeli ve korozyon akım yoğunluğunu ölçerek değerlendirildi. Sülfat iyonlarının mevcudiyetinde klor içerikli betonarme korozyonunun mekanizması çözeltiyi analiz ederek çözülmüştür. Betonarme korozyonunun başlama zamanı, klor iyonlarının hareketi ve dağılmasıyla ilgili olduğu gözlenmiştir. Herhangi bir zaman da klor ve sülfat iyonları çelik-beton etkileşimine ulaşmaktadır, klor ve sülfat iyonlarının birlikte mevcudiyeti genellikle hem düz hemde karışıklı çimentoda çelik korozyon hızını arttırmaktadır. Silika tozu içeren çimento betonunda ki oldukça agresif kimyasal ortama rağmen korozyon akım yoğunluğu en düşük seviyede olup genellikle sınır seviyesinin altında daha

uzun korozyon başlangıç zamanı ve daha düşük korozyon akımı yoğunluğu silika tozlu çimento ile yapılan betonda görülmüştür.

Faisal F. ve diğerleri, (1994); hızlı bir şekilde deneysel inceleme, basınç dayanımı üzerinde yüksek sülfat konsantrasyonunun etkisi araştırılmış sülfatın serbest hale geçmesini beton basınç dayanımları üzerindeki etkisi %10'luk magnezyum sülfat çözeltisinde beton blokları (100 mm³) doldurarak değerlendirilmiştir. Çeşitli parametreleri, çimento tipi, karışım oranları, sertleşme periyodu ve sülfatın bırakma periyodudur. Test sonuçları tipli çimento ile yüksek bir W/C oranının kullanımının 15 aylık sülfata tabi tutuktan sonra %50'e yakın dayanım kaybıyla zayıf beton ürettiğini göstermiştir. V tipli çimento ile düşük W/C oranı zengin bir karışım kullanımı, sıcak nemli ortamlarda 15 aylık sülfat ile temasa tabi tutuktan sonra dayanım kayıplarının olmadığını gösteren geçirimsiz betonu üretmiştir.

Pavlik, V. (1994); Nitrik, hidroklorik, sülfürik, asetik ve formik asit çözeltilerinde betonun korozyon hızı karşılaştırılmış farklı konsantrasyonlara sahip asetik ve nitrik asit çözeltisinde meydana gelen korozyon daha detaylı bir düzeyde incelenmiştir. Sonuçlar, asit çözelti konsantrasyonlarının ve temas süresinin korozyon derinliği üzerindeki etkisini ifade eden ilişkileri elde etmediğini mümkün kılmıştır. İlk üç yıllık esnada nitrik asit çözeltilerinde ki korozyon oranı, konsantrasyona bağlı olarak asetik asit çözeltilerinde yaklaşık olarak 2 ile 4 katı kadardır [1].

Nele De Belie ve diğerleri, (1996); hayvan barınaklarındaki betonun çeşitli asitlere karşı korozyonunu araştırmışlardır. Bu araştırmada, hayvan ve temizlenme ile neden olan aşınma, laktik ile asetik asidin neden olduğu kimyasal girişim korozyon testleri kullanılarak incelenmiştir. Farklı çimento tipleri ile oluşan beton prizleri sabit su/çimento oranını karşı farklı pH değerlerindeki sıvılara konularak beton dayanımları araştırılmıştır. Alan başına düşen kütle kaybına göre hacim azalması pH değişikliği ve sıvıların kalsiyum içeriği dikkate alınarak ölçülmüştür. Çimento tipinin, çok yüksek düzeyde agresif olan sıvılar için beton dayanımı üzerinde önemli bir etkisi olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Michael, T.(1996); uçucu kül betonunun klorlu sulara karşı dayanımı ile ilgili bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Korozyon nedeniyle önemli bir kütle kaybı olmaması için müsaade edilebilecek maksimum klorür düzeyinin, uçucu kül içeriği ile değiştiği bulunmuştur. Uçucu kül içeriğinin artmasıyla sınır klorür seviyesi azalmıştır. Elde edilen değerler %50, %30, %15, %0, kül için sırasıyla %0,20, %0,50, %0,65, %0,70 klorür olmuştur. Daha düşük sınır değerlerine rağmen, uçucu kül betonunun iyon penetrasyonuna artan direnci nedeniyle bu şartlar altında çeliğe daha iyi koruma sağladığı bulunmuştur.

Kumar, S. (1986); sülfat içeren toprak ve yer altı sularının beton yapılan üzerinde ki etkisini araştırmıştır. Aynı zamanda deniz suyunun, endüstriyel atık suların ve asit yağmurlarının da beton yapılarının korozyonuna yol açtığı görülmüştür. Sülfat konsantrasyonlarını değiştirerek beton numunelerinde meydana gelen dayanım kaybını incelenmiş ve %15–20 arasında azalmasına yol açtığını görülmüştür.

Pavlik, V. (1996); asetik ve nitrik asitlerinde hidratlı beton numunelerinin korozyon oranını kontrol eden bir faktör olarak su/çimento oranının etkisini incelemiştir. Bu çalışmada birim hacimdeki numunelerde çimento içeriğinin artmasıyla korozyon oranının azaldığı görülmüştür [2].

Irossor, F.E. (1995); uçucu kül doğal puzolan ve cüruf içeren betonların sülfat direncini araştırmak için 5 yıllık süre zarfında bu betonu toprağa gömerek bir çalışma gerçekleştirmiştir. Mineral portland çimentosunun yerine kullanılmış ve sülfat bağlanması çeşitli metotlarla (dinamik modüller, kütle kaybı, mukavemet, X-ışın analizleri) değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları beton toprağa gömüldüğünde minerali karışımların sülfat direncini arttırdığını göstermiştir [3].

BÖLÜM 5. BETON NUMUNELER ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLERDE KULLANILAN MATERYALLER VE KARIŞIM ORANLARI

5.1. Deneylerde Kullanılan Betonun İçeriği

5.1.1. Çimento

Betonun imalatında en önemli madde çimentodur. Bölüm 2.1.1.'de üretilen ve yapı sektöründe en çok kullanılan çimento türleri belirtilmiştir. Kentsel atıksu kanalizasyon sistemlerini oluşturan beton boruların imalat sektöründe en sık tercih edilen çimento türü sülfata dayanıklı çimentodur. Sülfata dayanıklı çimentonun tercih edilmesinin en önemli sebebi atıksuya en dayanıklı çimento türü oluşudur. Ayrıca bu tip çimento ile yapılan beton boru imalatlarının kolay oluşu, imalat ve işletme maliyetini düşürmesi de tercih edilme sebeplerindedir. Sülfata dayanıklı çimento özellikleri Bölüm 2.1.1.5.'de belirtilmiştir. Deneylerde kullanılan Sülfata Dayanıklı Çimento Nuh Beton A.Ş. çimento fabrikasından temin edilmiş olup TSE standartlarına uygundur. Çimento fiziksel analizleri TS 196-1, 2, 3, 6, 21 standartlarında uygulanmıştır. Karışıma girecek çimento miktarı;

$$C=W/(W/C)$$

C =Karışıma girecek çimento kütlesi (kg)

W =Karışıma girecek su kütlesi (kg)

W/C =Su çimento oranı

bağıntısından bulunmaktadır.

5.1.2. Karma suyu

İçilebilir nitelikte olan ve TS 500 standardında beton yapımına izin verilen sular, beton boruların yapımında karışım suyu olarak kullanılabilir. Kullanılan suyun sülfat içeriği %1'den, klorür içeriği de %2'den fazla olmamalıdır. Laboratuvarlarda yapılan deneylerde karma suyu olarak pH'ı 7,05 olan İstanbul şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Karma suyu olarak kullanılmadan önce suyun dinlenmesi ve $21 \pm ^\circ\text{C}$ 'de olabilmesi için, tam bir gün laboratuvar ortamında bekletilmesi gerekmektedir. Beton borularda kullanılan karma suyu ise İstanbul şehir şebeke suyundan alınmıştır. Deneylerde kullanılan suyun kimyasal parametreleri Tablo 5.1.'de görülmektedir. Bu parametreler analizlerin yapıldığı tarihte kullanılan suyun karakterizasyonunu vermektedir [11].

Tablo 5.1. İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Tarafından Hazırlanan İstanbul Şehir Şebeke Suyu Analiz Sonuçları

İSTANBUL SU KALİTESİ RAPORU ŞUBAT (2007)

Parametre	TÜRK TANDARTLA TSE 266 Nisan 05	DÜNYA SAĞLIK TEŞKİLATI (WHO) 1999	ABD ÇEVRE KORUMA AJANSI (EPA) 2002	AVRUPA BİRLİĞİ (EC) 1998	TASFIYE TESİSİ ORTALAMA KALİTE DEĞERLERİ (GENEL ÇIKIŞ)							
					B.Çektirmece	K.İkizil	Kağıtlıane	Ömeril Emil (il)	Ömeril (Mür- Ormanye)	Ömeril (Osmanye)	Elmal	
Bulanıklık	1	5	1	1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,5	0,3	0,2	
BİRİNCİL STANDARTLAR (MİKROBİYOLOJİK), EMS/100 ml												
Koliform Bakteri	<1	0	<1	0	0	0	0	0	0	0	0	
BİRİNCİL STANDARTLAR (Dezenfeksiyon Yan Ürünleri), µg/l												
Toplam Trihalometanlar	--	460	80	100	42,1	19,7	30,8	23,8	15,7	13,1	26,3	
Bromat	--	25	10	10	-	-	-	-	-	-	-	
BİRİNCİL STANDARTLAR (İNORGANİK KİMYASALLAR), mg/l												
Alüminyum	0,20	0,20	0,20	0,20	0,031	0,040	0,028	0,000	0,105	0,035	0,018	
Arsenik	0,05	0,05	0,05	0,01	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Baryum	0,3	0,7	1	-	0,040	0,025	0,020	0,032	0,030	0,033	0,029	
Kadmilyum	0,005	0,005	0,01	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Krom (Toplam)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	
Florür	1,5	1,5	0,7 - 2,4	1,5	0,25	0,14	0,15	0,15	0,15	0,14	0,18	
Kurşun	0,05	0,05	0,05	0,01	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Çiva	0,001	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Nitrat (NO ₃ ⁻)	50	50	45	50	1,80	2,95	1,93	3,61	4,46	4,25	7,48	
Belenyum	0,01	0,01	0,01	0,01	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Gümüş	0,01	--	0,05	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Antimon	0,01	0,005	0,005	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Berilyum	--	--	0,004	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
BİRİNCİL STANDARTLAR (RADYOLOJİK), pCi/l												
Gross Alfa	1	2,7	15	-	-	-	-	-	-	-	-	
Gross Beta	10	27	50	-	-	-	-	-	-	-	-	
KİNCİL STANDARTLAR (ESTETİK), mg/l												
Klorür	600	250	250	250	58	28	34	31	18	15	40	
Renk (birim)	20	15	15	-	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	
Bakır	3	--	1	2	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	
Deterjanlar	0,2	--	0,5	-								
Demir	0,2	--	0,3	0,2	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	
Mangan	0,05	0,5	0,05	0,05	0,001	0,001	0,001	0,000	0,006	0,003	0,021	
Koku Yapan Maddeler	Geosmin MIB	- -	- -	- -								
pH	6,5 - 9,2	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 9,5	7,3	7,3	7,2	7,1	7,1	7	7	
Bülfat	250	250	250	250	69	40	36	12	28	35	57	
Toplam Çözünmüş Madde	1500	1000	500	-	245	163	145	195	168	179	171	
Çinko	5	--	5	-	0,000	0,001	0,002	0,003	0,001	0,001	0,002	
LAVE PARAMETRELER, mg/l												
Kalsiyum	200	--	--	-	48,5	45,8	44	65,4	55,4	51,5	48,2	
Bertlik (CaCO ₃ olarak)	--	500	--	-	174	131	143	208	174	189	147	
Magnezyum	50	--	--	-	13,6	5,8	3,2	6,8	6,3	6,5	8,8	
Potasyum	12	--	--	-	4,08	2,41	2,09	1,13	1,42	1,31	2,63	
Sodyum	175	200	--	200	36,7	14,8	14,1	7,4	7,1	8,6	22,5	
Serbest Klor (3)	0,5	5	--	-	1,1	1,5	1,2	1,2	1,3	1,4	1	
Amonyum	0,5	1,5	--	0,5	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	

1- Bulanıklık, pH, Klorür, Toplam Bertlik ve Baktye Klor değerleri Testis İşletme Laboratuvarlarının aylık ortalama değerleridir.

2- Diğer Parametreler Abkisu ve Su Kalite Laboratuvarlarında yapılan analizlerin aylık ortalamasıdır.

3- Burada gösterilen klor değeri testis çıkış değeri olup, serbest klor zamanla azalmaktadır. Bu değeri şebekenin en uç noktasında bile serbest klor kalacak şekilde seçilmekte olup, serbest klor değerleri şebekede genellikle 0,1-0,5 aralığında ölçülmektedir.

5.1.3. Agregas

Beton deneylerinde İstanbul İli Tuzla İlçesi Tepeören agregası kullanılmıştır. Mevcut yıkama eleme tesislerinde hazırlanmakta olan üç değişik agrega malzemesi mevcuttur. Bu agregalara ait granülometrik bileşimler, kil oranları, aşınma miktarları ve don kayıpları hesaplanarak tablolarda granülometrik bileşimleri verilmiştir.

Karışımında çimento, su ve havadan arta kalan hacim agrega ile doldurulacaktır.

Agrega hacmi hesabı aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$W_a/\delta_a = 1000 - (c/\delta_C + W + A)$$

$$W_a/\delta_a = \text{Agrega Hacmi}$$

δ_a 'nın karışım hazırlanırken agreganın ayrılacağı her tane sınıfı için ayrı ayrı belirlenmiş olması gerekir. Ancak agrega tane sınıflarına ayrıldığında yoğunlukları arasında hesapta etkili olacak düzeyde farklılık tespit edilmiyor ise aynı alınabilir. Bu nedenle meydana gelecek hata önemsizdir. Doygun kuru yüzey halde bulunan bazı agrega cinsleri için hesapta aşağıdaki yoğunluklar kullanılabilir [1].

İnce agrega (0/4)

Kuvars kumu : $\delta_a = 2,64 \text{ kg/dm}^3$

Yoğun kalker kumu : $\delta_a = 2,70 \text{ kg/dm}^3$

İri agrega (> 4)

Granit : $\delta_a = 2,62 \text{ kg/dm}^3$

Gnays : $\delta_a = 2,67 \text{ kg/dm}^3$

Kalker : $\delta_a = 2,70 \text{ kg/dm}^3$

Porfir, Diabaz : $\delta_a = 2,85 \text{ kg/dm}^3$

Diorit : $\delta_a = 2,90 \text{ kg/dm}^3$

1 Numaralı (İnce) agrega numunesi üzerinde yapılan deneylerin sonuçları Tablo 5.2.'da verilmiştir [9].

Tablo 5.2. 1 Numaralı Malzemeye Ait Granülometrik Bileşim

Elek Göz Açıklığı (mm)	Kümülatif Geçen (%)
4	100
2	93
1	65
0,50	23
0,25	9
Kap	0

Kil Miktarı (%)

$W_1 = 1218$ gr (İlk kuru ağırlık)

$W_2 = 1205$ gr (Son kuru ağırlık)

$Kil(\%) = [(1218-1205)/1218] \times 100 = \% 1,1$

2 Numaralı (Orta) agrega numunesi üzerinde yapılan deneylerin sonuçları Tablo 5.3.'de verilmiştir.

Tablo 5.3. 2 Numaralı Malzemeye Ait Granülometrik Bileşim

Elek göz açıklığı (mm)	Kümülatif geçen (%)
8	100
4	46
2	6
1	0

Kil Miktarı (%)

Bu agrega numunesinde kil tespit edilmemiştir. 3 Numaralı (orta) agrega numunesi üzerinde yapılan deneylerin sonuçları Tablo 5.4.'de verilmiştir.

Tablo 5.4. 3 Numaralı Malzemeye Ait Granülometrik Bileşim

Elek göz açıklığı (mm)	Kümülatif geçen (%)
16	100
8	23
4	0

Kil miktarı (%)

Bu agrega numunesinde kil tespit edilmemiştir.

Aşınma Kaybı (Los Angeles'e göre) (%)

$W_1 = 5000$ gr (ilk kuru ağırlık)

$W_2 = 4620$ gr (100 devir sonraki kuru ağırlık)

$W_3 = 4030$ gr (500 devir sonraki kuru ağırlık)

Aşınma Kaybı (100 devir) = $[(5000-4620)/5000] \times 100 = 7,6$

Aşınma Kaybı (500 devir) = $[(5000-4030)/5000] \times 100 = 19,4$

Don Kaybı (%)'si

$W_1 = 978$ gr (İlk kuru ağırlık)

$W_2 = 970$ gr (Son kuru ağırlık)

Don Kaybı (%) = $[(978-970)/978] \times 100 = 0,8$

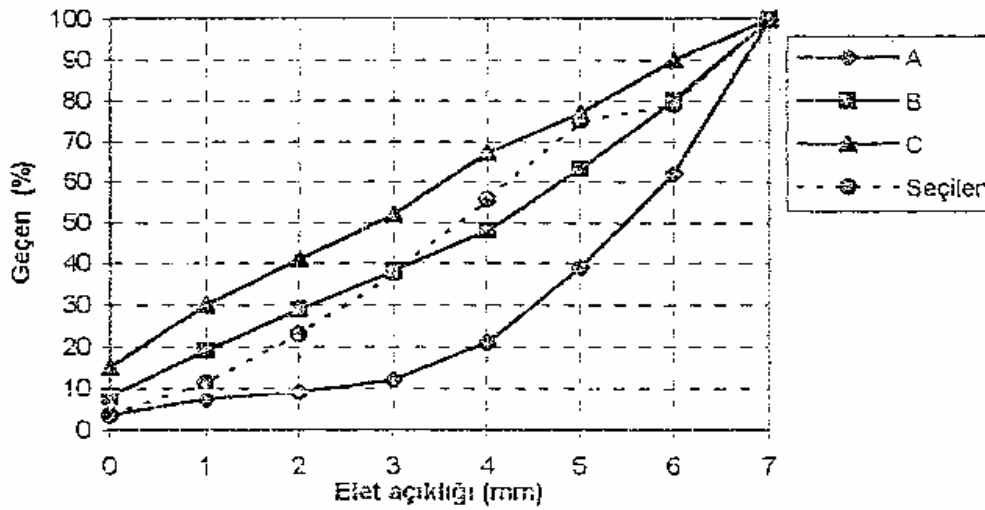
Mevcut agrega numunelerinde yoğunluk $\gamma = 2,70$ kg/dm³ dür.

Tepeören kumuna ait agreganın elek analiz sonuçları Tablo 5.5.'de verilmiştir.

Tablo 5.5. İstanbul-Tuzla Tepeören Agregası Elek Analiz Sonuçları

Elek Göz Açıklığı (mm)	Kalan (gr)	Kümülatif Ağırlık (gr)	Kalan (%)	Geçen (%)
31,5	---	---	---	100
16,0	210,75	210,75	21,07	78,93
8,0	40,00	250,75	25,07	74,93
4,0	193,30	444,05	44,41	55,59
2,0	181,40	625,45	62,55	37,45
1,0	145,00	770,45	77,05	22,95
0,5	117,00	881,45	88,70	11,25
0,25	77,55	965,00	96,50	3,50
Toplama Kabı	35,00	1000,0	100	---

Deneylerde kullanılan üç agreganın karışımından oluşan granülometri eğrisi Şekil 5.1 de verilmiştir.



Şekil 5.1. İstanbul – Tuzla Tepeören Agregası Granülometri Eğrisi

5.1.4. Kimyasal katkı maddesi

Kimyasal katkı maddeleri, kalıptan sökölme ve son dayanımı arttıran, üretim verimliliğini geliştiren akışkanlaştırıcılardır. Yüzeyler arasındaki sürtünme etkisini azaltması nedeni ile kimyasal katkı maddeleri yan yüzeylerin daha iyi sıkışmasını ve

ürünlerin kolayca kalıptan sökülmesini sağlar. Özellikle az vibrasyon ile keskin kenarların düzgün çıkmasına yardımcı olur.

Beton ve beton boru imalat sektöründe genellikle cam lifi veya mineral katkı maddeleri yerine daha ekonomik, imalat esnasında kolay karıştırılabilen, daha verimli ve kolay bulunabilen bir madde olduğundan dolayı kimyasal katkı maddeleri kullanılmaktadır. Kimyasal katkı maddeleri 1 kg çimento için 50 gr değerini geçmemelidir. 1 kg çimentoda 2 gramdan daha az miktarda kullanılan kimyasal katkıların kullanımına, karışım suyunun bir kısmının içerisine karıştırılması şartıyla izin verilir. Sıvı katkıların toplam miktarı 1m³ beton için 3 litreden daha fazla ise, betonun su/çimento oranının hesaplanmasında katkıda bulunan su miktarı dikkate alınır. Birden fazla katkının ayrı beton harmanında kullanılması durumunda, bu katkıların birbirleriyle uyumluluğu başlangıç deneyleriyle kontrol edilmelidir. Deneylerde BASF YKS Reofit 740 marka kimyasal katkı kullanılmıştır. Kullanılan kimyasal katkı maddesi TS 3452, TS 3456 veya TS 11746 standartlarına uygundur. 100 kg çimentoya 0,5 kg ilave edilerek uygulanmıştır. Karışım suyunun %80 ilavesi yapıldıktan sonra uygulamaya alınır. İstenilen kıvam ve işlenebilirlik elde edilebilmesi su miktarı ile ayarlanır.

Tablo 5.6. Kimyasal Katkı Maddesinin Teknik Özellikleri

Renk	Şeffaf
Yoğunluk	0,99 - 1,1 kg/litre
Klor İçeriği% (EN 480-10)	< 0,1
Alkali İçeriği % (EN 480-12)	< 3

5.2. Beton İçeriğinde Su/Çimento Oranı

Beton karışımlarda kullanılan su/çimento oranı W/C olarak ifade edilmiştir. W/C oranı en elverişli durumda karışım ve karıştırıcıyı çalıştırmak için 0,39 olarak alınmış, fakat beton borularda zararlı kimyasal maddelerin boru üzerine etkisi su/çimento oranıyla doğrudan alakalı olduğu için bu değer 0,49 olarak alınması uygun görülmüştür. W/C oranı TS 802 standardına uygun alınmıştır.

5.3. Beton İçeriğinin Karışım Oranı ve Hesabı

Karışımelerde çeşitli türden çimento, 1 numaralı, 2 numaralı, 3 numaralı agrega ve su kullanılmıştır. Bu karışımelerde, zararlı kimyasal maddeler ile beton numuneleri doğrudan temas halinde olacağından W/C oranı 0,39 ile 0,49 arasında tutulmuştur. Deneyleerde kullanılan malzeme oranları yüzde olarak Tablo 5.7.'de gösterilmiştir. Karışımeler TS 802 standardında belirtilen şekilde standarda uygun yapılmıştır [15].

Tablo 5.7. Beton Karışım Oranları

Malzemenin Adı	Karışımdeki Miktarı (%)
1 Numaralı Agrega	25,2
2 Numaralı Agrega	30,4
3 Numaralı Agrega	16,3
Çimento	18,9
Su	9,2

1 m³ sıkıştırılmış betonda bulunulacak karışım elemanlarının miktarı aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$C / \delta_c + W + W_a / \delta_a + A = 1000 \text{ dm}^3$$

C = Karışımaya girecek çimentonun kütlesi (kg)

δ_c = Çimentonun yoğunluğu (kg/dm³)

W = Karışımaya girecek suyun hacmi (dm³)

W_a = Karışımaya girecek agreganın yüzdesi (kg)

δ_a = Agreganın yoğunluğu (kg/dm³)

A = Betondaki toplam hava miktarı (dm³)

Beton deneyleri yapılabilmesi için kentsel atıksu kanalizasyon sisteminde kullanılan, beton boru imalat deneylerinde en çok tercih edilen ve en verimli kabul edilen C 30 beton standartları kullanılarak 15 cm çapında 30 cm boyunda TS 12390–3 standartlarına uygun silindir beton numuneleri hazırlanmıştır [20].

5.4. DeneYlerde Kullanılan ÇöZeltiYler

C 30 standardında hazırlanmış ve 28 gün kür uygulanmış beton numuneler, atıksu içinde bulunan ve Bölüm 3.1.'de belirtilen zararlı maddeler baz alınarak standartlarda ayrı ayrı hazırlanan ve 1,5 metre eninde 2,5 metre boyunda ve 0,5 metre yüksekliğinde haznelere doldurulan çöZeltiYlere batırılmış ve bir hafta süreyle bu çöZeltiYlerde bekletilerek beton deneylerine hazır hale getirilmiştir. ÇöZeltiYdeki oranlar TS 3440 standartları baz alınarak maksimum ve minimum değerlerde hazırlanmıştır. DeneYlerde kullanılan çöZeltiYlerin sınır değerleri Tablo 5.8.'de gösterilmiştir. Korozif etkilerin araştırılması için çeşitli kimyasal maddelerle hazırlanan çöZeltiYler aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir [17].

Tablo 5.8. ÇöZeltiYdeki En Düşük ve En Yüksek Konsantrasyon Değerleri

Korozif Etkenler	ÇöZeltiYdeki En Düşük Konsantrasyon	ÇöZeltiYdeki En Yüksek Konsantrasyon
Amonyum Tuzu (ppm)	500	1000
Magnezyum Tuzu (ppm)	100	1000
Sülfat (ppm) (SO ₄)	100	1000
Asidik Sular (pH) (H ₂ SO ₄)	3,5	6,5
Sertlik Derecesi Düşük Sular (meq/l) (Ca)	Sertlik derecesine göre hazırlanmıştır.	
	1,1	0,5

5.4.1. Amonyum tuzları

Amonyum tuzlarının beton üzerindeki korozif etkilerinin tespiti için Merc marka MgCl₂ kullanılarak 500 ve 1000 ppm NH₄⁺ olacak şekilde çöZeltiYler hazırlanmıştır.

5.4.2. Magnezyum tuzları

Magnezyum tuzlarının beton üzerindeki korozif etkilerinin tespiti için Merc marka MgCl₂ kullanılarak 100 ve 1000 ppm Mg⁺² olacak şekilde çöZeltiYler hazırlanmıştır.

5.4.3. Sülfatlar

Sülfatlı suların beton numuneleri üzerindeki korozif etkilerini tespit etmek için Merc marka N_2SO_4 kullanılarak 100 ve 1000 ppm SO_4 çözeltileri hazırlanmıştır.

5.4.4. Asidik sular

Asidik suların beton numuneleri üzerindeki korozif etkilerini görmek için pH=3,5 ve 6,5 olacak şekilde seyreltik sular hazırlanmıştır. Bu amaçla, Merc marka ve yoğunluğu $1,84 \text{ gr/cm}^3$ olan derişik H_2SO_4 kullanılmıştır.

5.4.5. Sertlik derecesi düşük sular

Toplam sertlik derecesi düşük olan sular çok az miktarda kalsiyum ve magnezyum içeren sulardır. Sertleşmiş çimentodaki kalsiyum $(OH)_2$ 'i çözebilir. Bunun tesirinin belirlenmesi için 1,1–0,5 meq/l sertlik dereceleri olan çözeltiler hazırlanmıştır.

BÖLÜM 6. BETON NUMUNELERİ ÜZERİNDE YAPILAN DENEYLER

6.1. Basınç Tesiri Altında Dayanım Deneyi

Betonların basınç mukavemetini tayin etmek için küp veya silindir şeklindeki numuneler kullanılır. Genel olarak yapıda imal edilen her 100 m³ beton için en az üç deney numunesi hazırlanarak bunların 7 veya 28 günlük basınç mukavemetleri tayin edilir. Beton basınç dayanım prensibinde numuneler, TS 12390-4'e uygun basınç deney makinesinde kırılıncaya kadar yüklenir ve numunenin taşıyabildiği en büyük yük belirlenerek beton basınç dayanımı hesaplanır. TS 12390-3 standardına göre sabit yükleme hızı 0,2 MPa/s (N/mm².s) ile 1,0 MPa /s (N/mm².s) arasında seçilmesi gerektiğinden dolayı basınç dayanım deneyinde bu değer maksimum alınmıştır [20].

Betonun mukavemeti;

- Çimento hamurunun mukavemetine
- Agrega tanelerinin mukavemetine
- Agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki yapışmanın gücüne (aderans) bağlıdır.

Basın deneylerinde bulunan neticelerin birbiri ile mukayese edilebilmesi ve mümkün olduğu kadar gerçeğe yakın değerlerin elde edilebilmesi bazı şartların gerçekleştirilmesi gerekir. Bunların en önemlisi betonun yüzeyi ile aletin tablası arasında iyi bir intibakın sağlanmasıdır. Bu bakımdan silindir şeklindeki numunelerin hazırlanmasında çelik veya metal kalıplar kullanılmalıdır. Bu kalıplara dökülen betonların yan yüzeyleri, düzgün olarak kalıp yüzeyi ile temasta olmasının ve kimyasal katkı maddesinin etkilerinin bir sonucu olarak, son derece düzgündür.

Deney esnasında kuvvet bu yan yüzeylere dik doğrultuda uygulanmak sureti ile yapılır. Bu durumda gayet düzgün olan yan yüzeyler aletin tablasına iyi bir şekilde intibak eder veya beton yüzeyinin her noktasında tabla ile temas halinde bulunur. Deney esnasında bir gerilme yığılması meydana gelmeden kullanılması uygun değildir. Bu kalıpların kullanılması halinde beton yüzeylerinde düzgünlük sağlanmadığından mukavemetin düşmesine yol açar. Üretilen betonların basınç dayanımları bütün çimento tipleri için W/C oranının azalması ve beton yaşının ilerlemesiyle değişik oranlarda artış göstermişlerdir.

Basınç kuvvetleri altında betonun davranışını açığa vuran bir karakteristik de gerilme-deformasyon diyagramıdır. Kısa süren yükleme sonunda elde edilen bu diyagram deney tekniği bakımından iki değişik tekniğe göre elde edilir. Metotlardan biri deneyin gerilmenin sabit bir hızla arttırılarak yapılması, diğersinin ise deformasyon hızı sabit tutulmasını sağlayacak şekilde kuvvetin arttırılarak deneyin yürütülmesidir. Sabit gerilme hızıyla yapılması halinde yani belirli bir sürede gerilmenin hep aynı miktarda arttırılması halinde kırılma durumuna yaklaştıkça boyuna ve enine deformasyon artış hızları artmaktadır. Başka bir deyişle bu yöntem ile yürütülen deneyde mukavemet değerlerine yaklaştıkça betonun içyapısının değişme hızı büyümekte ve bunun sonunda da ani bir kırılma meydana gelmektedir. Deformasyon hızına sabit bir değer vererek yapılan deneylerde kırılmaya yakın durumlarda gerilmedeki artış azalmakta olduğundan ani kırılmalar önlenmekte ve böylelikle daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.

6.1.1. Deney yöntemi

Basınç dayanım deneyi için hazırlanan betonların karışım oranları TS 3114 esasına göre hazırlanmıştır. TS 3114 esasına göre hazırlanan taze beton 15 cm çapında silindirik kalıplara dıştan vibrasyon uygulanarak ve sarsma tablasına yerleştirilerek sıkıştırılmıştır. Laboratuarda SDC 32,5 çimento ile hazırlanan beton deney numuneleri, deney anına kadar yaklaşık 23 ± 2 °C sıcaklıkta ve doymuş rutubette kür odasında muhafaza edilmiştir. Burada bir tam gün bekletildikten sonra 23 ± 2 °C' de değişmez sıcaklıktaki su tankına konulmuştur. Beton numuneleri 28 gün bekletildikten sonra çıkarılmış ve 2 gün oda şartlarında kurutulduktan sonra baz

alınacak bir numune hariç diğerleri hazırlanmış kimyasal çözeltilerde birer hafta temasta bırakılmıştır. Bu temas süresi sonucunda beton numuneleri çözeltilere batırıldıkları haznelere çıkartılarak basınç dayanım deneyine tabi tutulmuştur.

Basınç dayanım deneyinde kullanılan basınç deney makinesi TS 12390–4 standartlarına uygun seçilmiştir. TS 12390–3 standartlarına göre numune, deney makinesine yerleştirilmeden önce, yüzeyindeki fazla su kurulanır. Deney makinesi yükleme başlıklarının yüzeyleri silinerek temizlenir ve numunenin başlıklarla temas edecek yüzeylerinde bulunan herhangi gevşek çıkıntı veya tane alınır. Deney numunesi ve deney makinesinin yükleme başlığı arasında, aralık ayarlama blokları (TS 12390–4) ve ilâve plâkalardan başka yerleştirme parçası kullanılmamalıdır. Silindir numune, belirtilmiş çapının $\pm \%1$ 'i doğrulukla merkeze yerleştirilmelidir. İlâve yükleme plâkaları kullanılıyorsa bunlar, numunenin alt ve üst yüzeylerine göre ayarlanmalıdır. Kullanılan deney makinesi iki kolonlu ise, küp numuneler, mastarlanmış yüzeyi kolona bakacak şekilde yerleştirilmelidir. Yerleştirme işlemi tamamlandıktan sonra numuneler, TS 12390-4'e uygun basınç deney makinesinde kırılıncaya kadar maksimum değer $1,0 \text{ N/mm}^2$.s yükleme hızında yüklenir. Yük, numuneye darbe tesiri olmaksızın, seçilen hızdan sapma, $\pm \%10$ 'u geçmeyecek şekilde, en büyük yüke ulaşıncaya kadar sabit hızda uygulanır. Beton numunede kırılma meydana geldiğinde makine göstergesinde okunan en büyük basınç yükü değeri kaydedilerek deney sonuçlandırılır [20].

6.1.2. Deney sonuçları

Basınç dayanım deneyi çözeltilere batırılmış ve batırılmamış beton numunelerinin hepsine uygulanmıştır. Beton numunelerin basınç dayanımları deneyler sonucunda çıkan değerlerle aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanır.

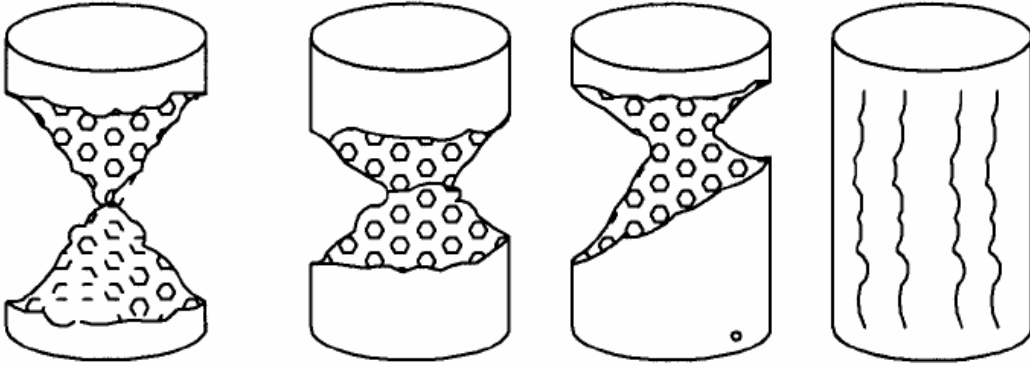
$$F_c = F/A_c$$

$$F_c = \text{Basınç dayanımı, MPa (N/mm}^2\text{)}$$

$$F = \text{Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N}$$

A_c = Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, mm^2 . Bu alan, numunenin belirtilen ölçüleri kullanılarak (TS 12390-1) veya numune üzerinde ölçülen gerçek boyutlar kullanılarak hesaplanır.

Basınç dayanımı, en yakın 0,5 MPa (N/mm^2)'ye yuvarlatılarak gösterilmelidir. Deneyin tatmin edici doğrulukta yapıldığının göstergesi numune kırılma tipidir. Numune kırılma tipleri Şekil 6.1.'de gösterilmektedir. Beton numuneleri ile yapılan bütün basınç dayanım deneyleri gözlemlerinde numunelerin kırılma şekillerinin TS 12390-3 standardına uygun tatmin edici olduğu görülmüştür [20].



Şekil 6.1. Silindir Numunelerin Tatmin Edici Kırılma Şekilleri

Basınç dayanım deneylerinde kullanılan beton silindir numuneler beton boru imalat sektöründe standart beton boru analizlerinde kullanılan C 30 standardında imal edilmiştir. Numunelerin C 30 standardında imal edilmesinden dolayı basınç dayanımı değeri TS 206 standardında C 30 betonuna göre alınmıştır. Tablo 6.1.'de TS 206 standartlarına göre silindir beton numunelerine ait basınç dayanımı standart değerleri görülmektedir.

Tablo 6.1. TS 206 Standartlarına Göre Silindir ve Küp Beton Numunelerine Ait Basınç Dayanımı Standart Değerleri

Basınç dayanımı sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı	En düşük karakteristik küp dayanımı
	$f_{ck,sil}$ N/mm ²	$f_{ck,küp}$ 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

Çözeltiye batırılmayan tek beton numunesi üzerinde yapılan basınç dayanım deneyi imal ettiğimiz betonun dayanımını göstermekte olup deney sonucunda ortaya çıkan değer çözelti içinde bırakılan numunelere ait basınç dayanım değerlerine göre baz alınacaktır. Böylelikle atıksu içinde bulunan korozif maddelerin betonun basınç dayanımını ne ölçüde düşürdüğünün tespiti yapılacaktır. Tablo 6.2. ve Tablo 6.3.'de beton numuneler ile yapılan basınç dayanım deneyleri sonuçları kıyaslanmıştır.

Tablo 6.2. En Yüksek (Kuvvetli) Konsantrasyonlardaki Basınç Dayanım Deney Sonuçları ve Basınç Dayanım Kayıpları Oranları

Korozif Etkenler	En Yüksek (Kuvvetli) Konsantrasyondaki Numune Dayanımı	Standart Numune	TS 206 Standardı (C 30)	Verim (%)
Amonyum tuzu	49,96	53,6	30	- 6,8
Magnezyum tuzu	51,35	53,6	30	- 4,2
Sülfat	44,64	53,6	30	- 16,7
Asidik sular	43,47	53,6	30	- 18,9
Sertlik derecesi düşük sular	51,78	53,6	30	- 3,4

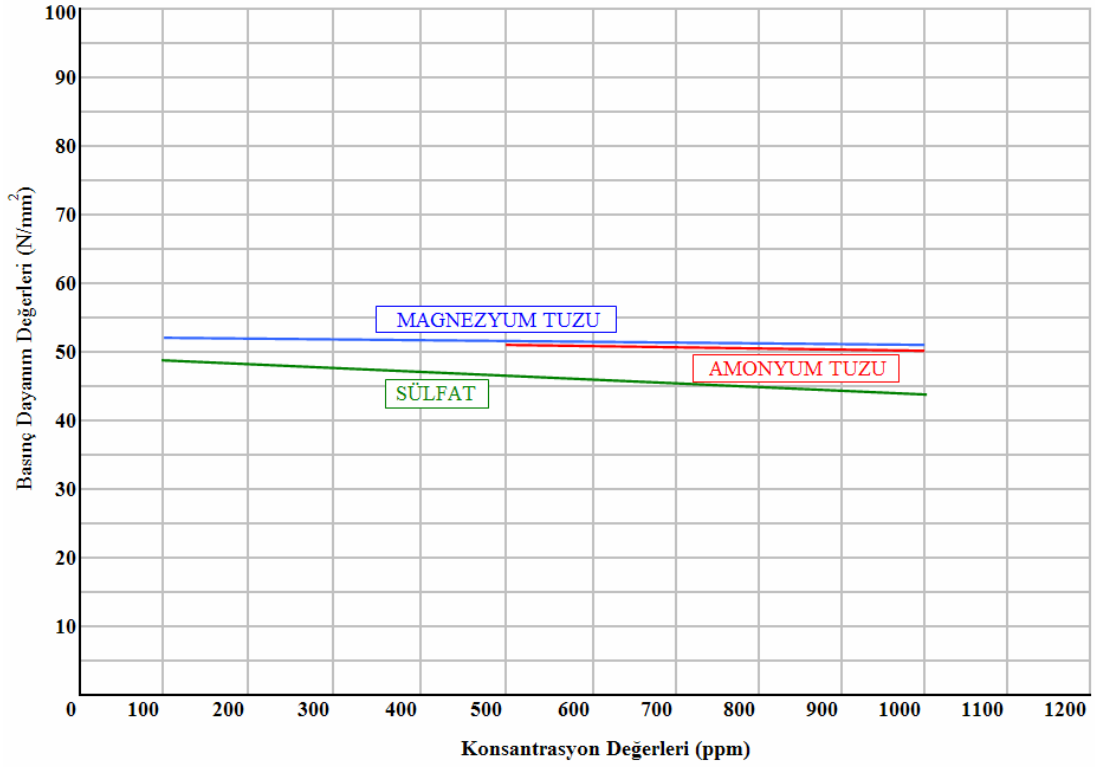
Tablo 6.3. En Düşük (Zayıf) Konsantrasyonlardaki Basınç Dayanım Deney Sonuçları ve Basınç Dayanım Kayıpları Oranları

Korozif Etkenler	En Düşük (Zayıf) Konsantrasyondaki Numune Dayanımı	Standart Numune	TS 206 Standardı (C 30)	Verim (%)
Amonyum tuzu	52,04	53,6	30	-2,9
Magnezyum tuzu	52,51	53,6	30	-2,0
Sülfat	49,47	53,6	30	-7,7
Asidik sular	48,67	53,6	30	-9,2
Sertlik derecesi düşük sular	52,80	53,6	30	-1,5

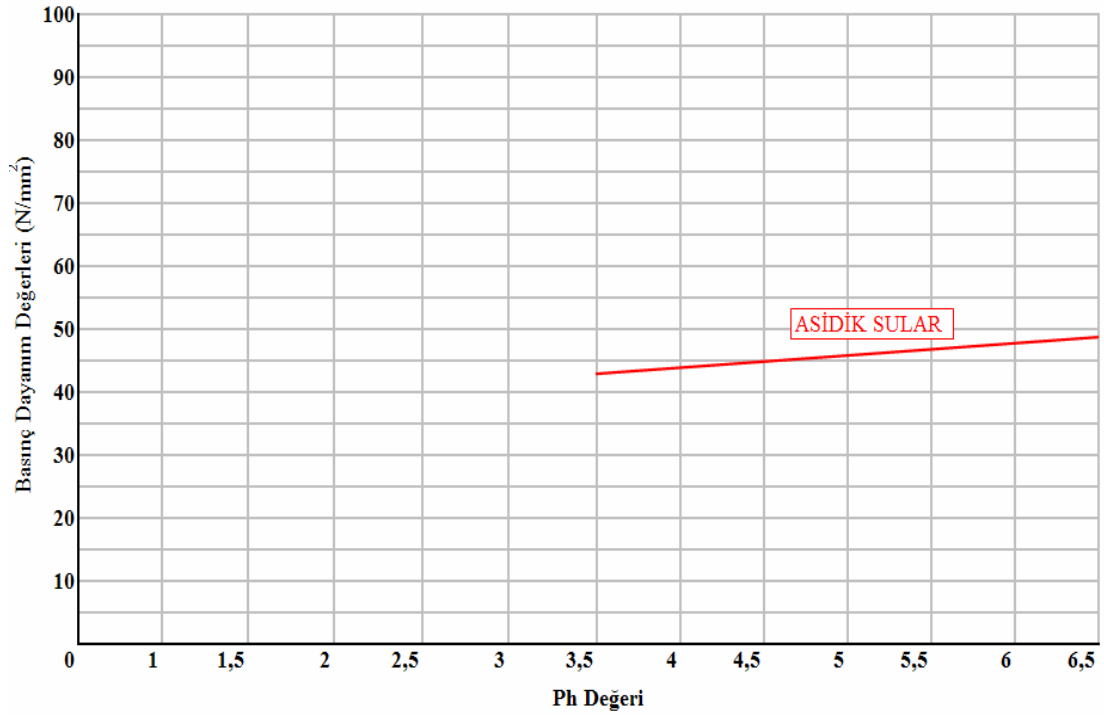
Tablo 6.4. En Düşük (Zayıf) ve En Yüksek (Kuvvetli) Konsantrasyonlara Maruz Bırakılan Numunelerin Basınç Dayanımı Farkları

Korozif Etkenler	En Düşük (Zayıf) Konsantrasyondaki Numune Dayanımı	En Yüksek (Kuvvetli) Konsantrasyondaki Numune Dayanımı	Dayanım Farkı
Amonyum Tuzu	52,04	49,96	- 2,08
Magnezyum Tuzu	52,51	51,35	-1,16
Sülfat	49,47	44,64	-4,83
Asidik Sular	48,67	43,47	-5,2
Sertlik Derecesi Düşük Sular	52,80	51,78	1,02

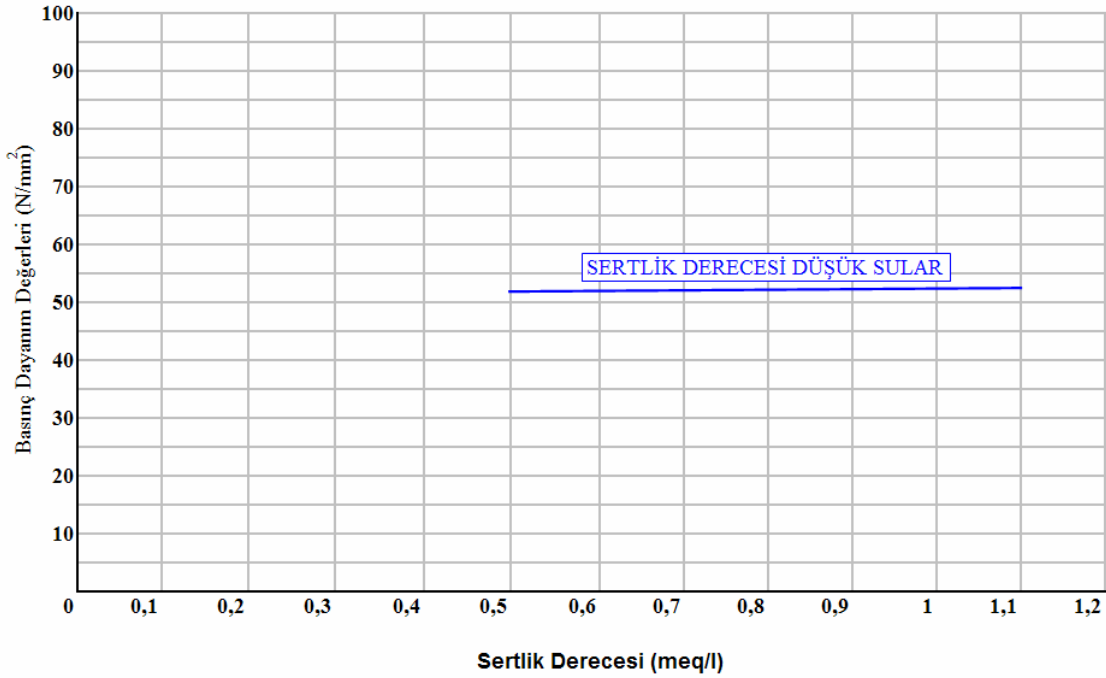
Tablo 6.2.'de beton numunelerin korozif özelliği yüksek konsantrasyonlarda bekletilmesiyle oluşan basınç dayanımı kayıpları gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Amonyum Tuzu, Magnezyum Tuzu ve Sülfat Konsantrasyonlarının Bulunduğu Çözeltilere Batırılan Beton Numunelerinde Meydana Gelen Basınç Dayanımı Değişimi Grafiği



Şekil 6.3. Asidik Ortamın Bulunduğu Çözeltilere Batırılan Beton Numunelerinde Meydana Gelen Basınç Dayanımı Değişimi Grafiği



Şekil 6.4. Sertlik Derecesi Düşük Çözeltilere Batırılan Beton Numunelerinde Meydana Gelen Basınç Dayanımı Değişimi Grafiği

6.2. Su İşleme Derinliğinin Bulunması Deneyi

Betonun zararlı kimyasal etkilere dayanıklılığı, zararlı 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 sınırlandırılması gerekmektedir. Bu sınırlandırma TS 3440 standardında belirtilmiş olup zararlı kimyasal etkiler karşısında kalacak bir betonda, geçirimsizlik için sınır değerler beklenen etkinin derecesine göre Tablo 6.5.'de gösterilmiştir. Betonun dayanıklılığa erişebilmesi için su/çimento oranının da Tablo 6.5.'de belirtilen değerlerden büyük olmaması sağlanmalıdır. Betonun su emmesi kütlece %6'dan fazla olmamalıdır. Aksi takdirde Bölüm 2.9.2.'de belirtilen yalıtım yöntemleri uygulanmalıdır [17].

6.2.1. Deney yöntemi

Deney, belirli basınç kademelerinde ve belirli süreler ile beton numunesine uygulanan basınçlı suyun betonun içine işleme derinliğinin ölçülmesi şeklinde yapılır. Su işleme derinliğinin bulunması deneyi için hazırlanan betonların karışım oranları TS 3114 esasına göre hazırlanmıştır. TS 3114 esasına göre hazırlanan taze beton 15 cm çapında silindir kalıplara dıştan vibrasyon uygulanarak ve sarsma tablasına yerleştirilerek sıkıştırılmıştır. Laboratuarda hazırlanan beton deney numuneleri, deney anına kadar yaklaşık $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ve doymuş rutubette kür odasında muhafaza edilmiştir. Burada bir tam gün bekletildikten sonra, beton numunelerin basınçlı su uygulanacak yüzleri bir tel fırça kullanılarak pürüzlendirilerek $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ de değişmez sıcaklıktaki su tankına konulmuştur. Beton numuneleri 28 gün bekletildikten sonra çıkarılmış ve 2 gün oda şartlarında kurutulduktan sonra baz alınacak bir numune hariç diğerleri hazırlanmış kimyasal çözeltilerde birer hafta temasta bırakılmıştır. Bu temas süresi sonucunda beton numuneleri çözeltilere batırıldıkları haznelere çıkartılarak su işleme derinliğinin bulunması deneyine tabi tutulmuştur [17].

Beton numunelerin tel fırça ile pürüzlendirilen yüzeylerinin çapı TS 3440 standardına göre en büyük agrega çapı ve beton numune boyutlarına göre 100 mm alınmıştır. Beton numunelerin basınç uygulanacak yüzünde basınçlı suyun temas edeceği 100 mm çaplı alanın dışında kalan kısımlar, ağırlıkça bir kısmı su ve iki buçuk kısmı çimento ile yapılmış çimento hamuru ile 2–3 mm kalınlıktaki bir tabaka halinde sıvanır. Bu şekilde sıvanmış numune rutubetli kür odasında 48 saat tutulduktan sonra basınçlı su uygulama aletine bağlanır. Bu deney aletine bağlanan numunede belirlenen 100 mm çaplı uygulama alanına önce 43 saat süre ile $1,0 \text{ kgf/cm}^2$ (0,1 MPa) sonra 24 saat süre ile $3,0 \text{ kgf/cm}^2$ (0,3 MPa) sonra da 24 saat süre ile $7,0 \text{ kgf/cm}^2$ (0,7 MPa)'lik basınç uygulanır. Suyun deney numunesi kalınlığını geçmesi halinde, önce nemlenme sonra da sırası ile damla oluşumu, damlanın düşmesi, devamlı damlama ve suyun serbestçe akması gözlenerek kaydedilir. Deney süresi tamamlandığında deney plakası ortasından kırılıp ikiye bölünerek suyun eriştiği derinlik su işleme derinliği olarak kaydedilir.

6.2.2. Deney sonuçları

Deney neticesinde bulunan su işleme derinliği Tablo 6.5.'de belirtilen en büyük su işleme derinlik değerleri ile karşılaştırılarak, betonun zararlı etki derecesi açısından yeterli geçirimsizlikte olup olmadığına bakılır.

Tablo 6.5. Zararlı Etki Derecesine Göre İzin Verilebilecek En Büyük Su/Çimento Oranı ve Su İşleme Derinliği Oranları

Beklenen Zararlı Etkinin Derecesi	Su İşleme Derinliği (cm)	Su/Çimento Oranı
Zayıf	5	0,60
Kuvvetli	3	0,50
Çok Kuvvetli	Betonu Koruyucu Özel Önlemler Gerekir	

Su işleme derinliğinin bulunması deneylerinde kullanılan beton silindir numuneler beton boru imalat sektöründe standart beton boru analizlerinde kullanılan C 30 standardında imal edilmiştir. C 30 standardındaki beton numunelerin ortalama su emme kapasiteleri kütlece %3 ile %4 arasında değişmektedir.

Çözeltiye batırılmayan tek beton numunesi üzerinde yapılan su işleme derinliği deneyi imal ettiğimiz betonun su işleme kapasitesini göstermekte olup deney sonucunda ortaya çıkan değer çözelti içinde bırakılan numunelere ait su işleme kapasitesi değerlerine baz alınacaktır. Böylelikle atıksu içinde bulunan korozif maddelerin betonun geçirimsizliğini ne ölçüde düşürdüğünün tespiti yapılacaktır. Tablo 6.6. ve Tablo 6.7.'de beton numuneler ile yapılan su işleme derinliğinin bulunması deneylerinin sonuçları kıyaslanmıştır [17].

Tablo 6.6. En Yüksek Konsantrasyonlardaki Su İşleme Derinliğinin Bulunması Deneyi Sonuçları

Korozif Etkenler	En Yüksek (Kuvvetli) Konsantrasyondaki Numune	Standart Numune (C 30)	TS 3440 Standardı	Değişim (%)
Amonyum tuzu	2,3	2	3	+15
Magnezyum tuzu	2,1	2	3	+5
Sülfat	2,7	2	3	+35
Asidik sular	2,8	2	3	+40
Sertlik derecesi düşük sular	2,1	2	3	+15

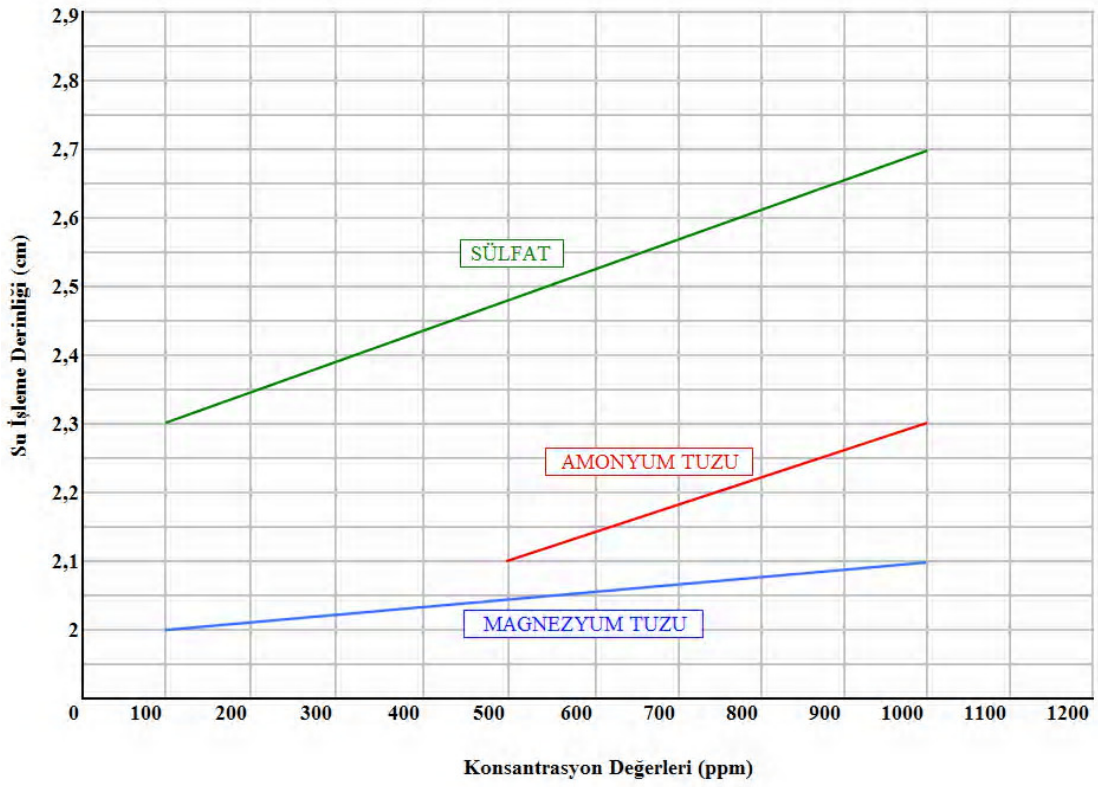
Tablo 6.7. En Düşük Konsantrasyonlardaki Su İşleme Derinliğinin Bulunması Deneyi Sonuçları

Korozif Etkenler	En Düşük (Zayıf) Konsantrasyondaki Numune	Standart Numune (C 30)	TS 3440 Standardı (C 30)	Değişim (%)
Amonyum tuzu	2,1	2	5	+5
Magnezyum tuzu	2,0	2	5	0
Sülfat	2,3	2	5	+15
Asidik sular	2,4	2	5	+20
Sertlik derecesi düşük sular	2,0	2	5	0

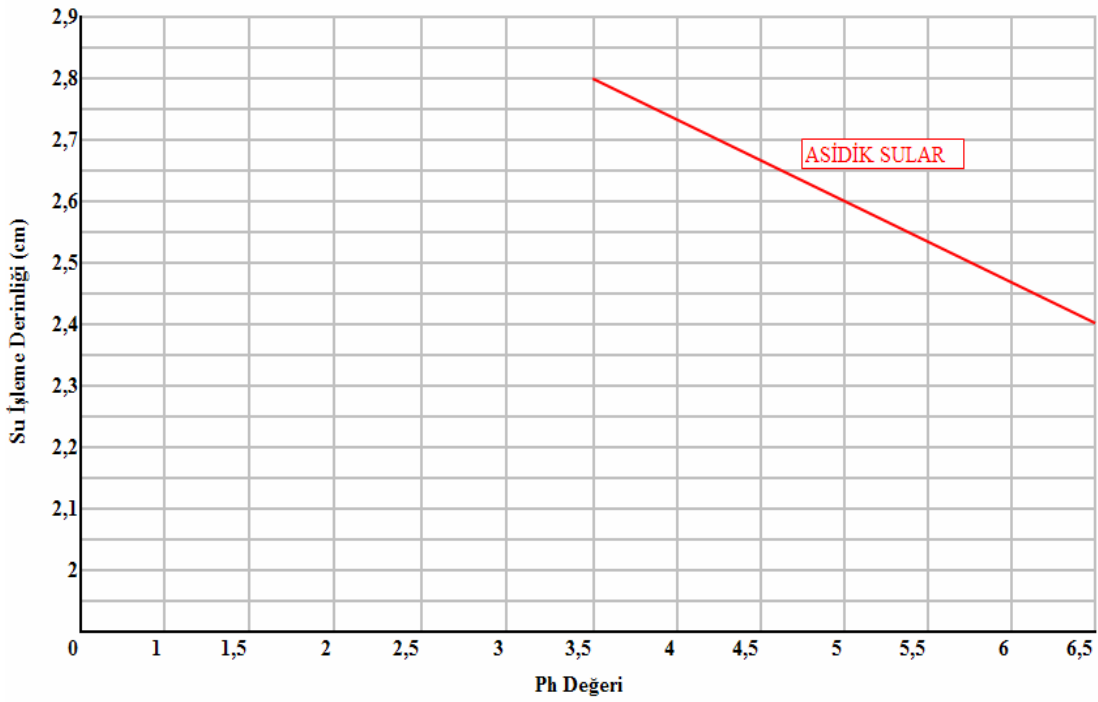
Tablo 6.8. En Düşük ve En Yüksek Konsantrasyonlara Maruz Bırakılan Numunelerin Su İşleme Derinlik Farkları

Korozif Etkenler	En Düşük (Zayıf) Konsantrasyondaki Numune	En Yüksek (Kuvvetli) Konsantrasyondaki Numune	Su İşleme Derinlik Artış Miktarı (cm)
Amonyum Tuzu	2,1	2,3	0,2
Magnezyum Tuzu	2,0	2,1	0,1
Sülfat	2,3	2,7	0,4
Asidik Sular	2,4	2,8	0,4
Sertlik Derecesi Düşük Sular	2,0	2,1	0,1

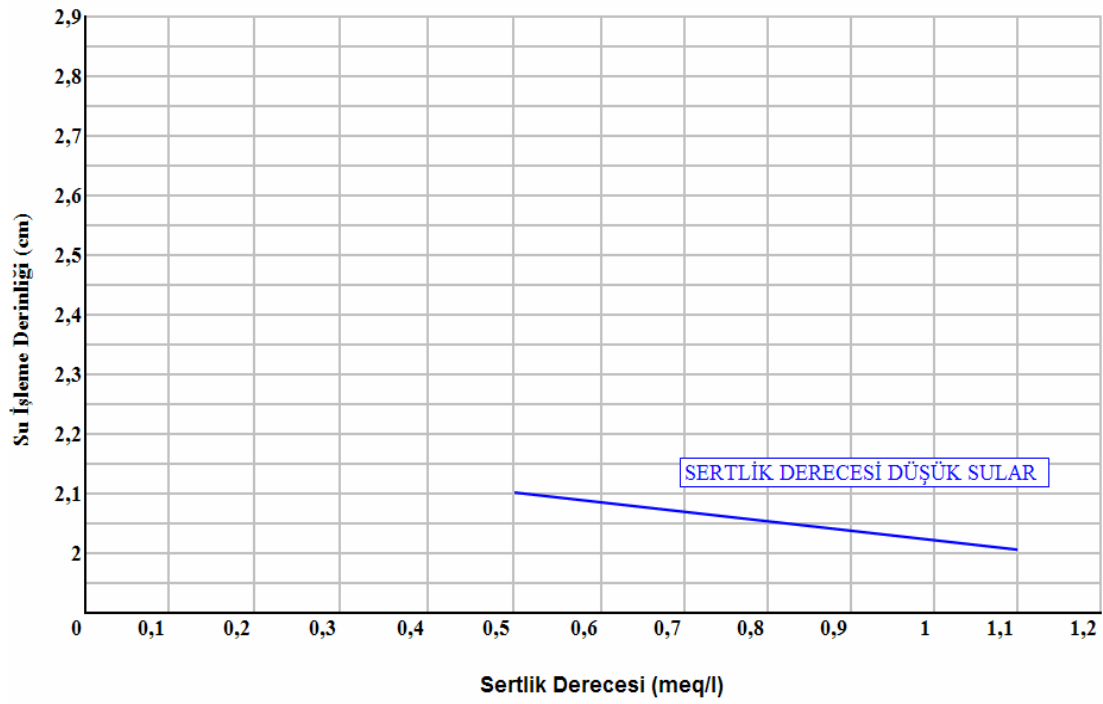
Tablo 6.8.'da beton numunelerin korozif kuvvetli konsantrasyonlarda bekletilmesiyle oluşan su işleme derinlikleri gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Amonyum Tuzu, Magnezyum Tuzu ve Sülfat Konsantrasyonlarının Bulunduğu Çözeltilere Batırılan Beton Numunelerinde Meydana Gelen Su İşleme Derinlik Değişimi Grafiği



Şekil 6.6. Asidik Ortamın Bulunduğu Çözeltilere Batırılan Beton Numunelerinde Meydana Gelen Su İşleme Derinlik Değişimi Grafiği



Şekil 6.7. Sertlik Derecesi Düşük Çözeltilere Batırılan Beton Numunelerinde Meydana Gelen Su İşleme Derinlik Değişimi Grafiği

BÖLÜM 7. KENTSEL ATIKSU KANALİZASYON SİSTEMLERİNDE İDEAL BORU SEÇİMİ VE UYULMASI GEREKEN BAKIM KURALLARI

Basınç dayanımı ve su işleme derinliği deneyleri atıksular içinde bulunan ve en çok korozyon etkiye sahip konsantrasyonların etkilerini bulmak amacıyla yapılmış olup tam netice elde edilebilmesi için yapılması gereken en ideal deneylerdir. Bu deneylerin haricinde beton numuneler üzerinde TSE standartları ile belirlenmiş birçok deney yapılabilmektedir. Bu deneyler aşağıda sıralanmıştır.

- Eksenel Çekme Deneyi
- Donma ve Çözünme Tesirleri Altında Davranış Deneyi
- Eğilmede Çekme Dayanımı Deneyi
- Tepe Yüğü Deneyi
- Sürtünme Yolu ile Aşınma Deneyi
- Oksijen Geçirgenliği Deneyi

Beton boru imalat sektörü, kentsel atıksu kanalizasyon sistemi işletme görevi bulunan kamu kurum ve kuruluşlarıyla, yapı denetim laboratuvarlarıyla ve atıksu kanalizasyon sistemi inşaatı yapan birçok firmayla yapılan görüşmeler neticesinde mevcut sorunlar ve ideal beton borular hakkında bilgi alınmıştır. Yapılan görüşmelerde atıksu içerisinde bulunan sülfat ve asitli konsantrasyonların özellikle sanayi bölgelerinde daha yoğun olarak görüldüğü belirtilmiş olup beton boruların bu bölgelerde daha hızlı bir şekilde ömürlerini tamamladıkları gerçeği üzerine durulmuştur. Beton boru imalat sektörünün tamamına yakınında sülfata dayanıklı çimento kullanılmakta, W/C oranları ise imalatta 5 değerine yakın alınmaktadır. Çapı 600 mm'ye kadar olan borular beton boru, çapı 600 mm üzerinde olan borular ise betonarme boru olarak adlandırılmaktadır. Betonarme borularda imalat esnasına

çapın yüksek oluşu dolayısıyla basınç mukavemetini arttırmak amacıyla betonun içine çelik donatı yerleştirilmektedir. Beton borularda gerek duyulmadığından dolayı çelik donatı kullanılmamaktadır [16].

Kentsel atıksu kanalizasyon sistemlerinde genelde atıksular kaynağından 300 mm çaplı beton borularla alınarak toplayıcı sistem (kollektör) olarak anılan çapı 300 mm'den fazla olan betonarme borulara iletilmektedir. Toplayıcı sistemler ise atıksuyu ana toplayıcı sisteme aktarmakta burada da atıksu arıtma tesislerine giriş yapmaktadır. Kentlerde bulunan ve belediyelere bağlı olarak çalışan su ve kanalizasyon idareleri atıksu kanalizasyon borularının döşenmesi, işletilmesi, yenilenmesi ve atıksu deşarjlarının denetimlerle sınır değerlere çekilerek kontrol altına alınması görevini yürütmektedir. Atıksu kanalizasyon sisteminin verimli ve az işletme maliyetinde işletilebilmesi için birçok faktörün göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu maddeler aşağıda sıralanmıştır.

- Döşenecek olan beton ve betonarme boruların TSE standartlarına uygun olup olmadıklarının araştırılarak borularda belirli kalite kriterleri ve belgeleri aranması
- Döşeyecek yetki firma veya kurumların teknik çalışmalarının incelenmesi ve döşeme şartnamelerinin belirlenerek işin kontrol edilmesi
- Beton ve betonarme boruların verimli ve uzun ömürlü çalışabilmesi amacıyla atıksu kanalizasyon sistemine giren atıksuyun karakterizasyonunun belirlenmesi ve deşarj limitleri konularak düzenli denetimler yapılması, deşarj limitlerine uymayan kişi kurum veya kuruluşlara caydırıcı yaptırımlar uygulanması
- Atıksu kanalizasyon sisteminin projelendirilerek bilgisayar ortamına aktarılması gerekirse otomasyon sistemiyle kontrolünün yapılması
- Atıksu kanalizasyon sistemi arızaları için ekip yeterli sayıda ekip kurulması ve ekiplerin sürekli olarak eğitilmesi

- Atıksu kanalizasyon sistemi arızalarının onarımında zaman kazanmak ve işletme maliyetini düşürmek amacıyla teknolojik sistemler uygulanması

Çevre sağlığı açısından düşünüldüğünde atıksu kanalizasyon sistemlerini oluşturan beton borularda zamanla atıksu içeriğinde bulunan korozif maddeler yüzünden oluşabilecek kırılmalar ve çökmeler neticesinde cadde, sokakla veya kot farkının düşük olduğu bina bodrum katlarına atıksular sızabilmekte ve septik bir ortam meydana getirebilmektedirler. Septik ortamın oluşması neticesinde çevre sağlığını olumsuz yönde etkilenebilmekte ve çeşitli hastalıkların yayılması ihtimali doğmaktadır. Atıksu ile bulaşan ve ölümlü sonuçlanabilen bir çok hastalık bulunmaktadır. Atıksu kanalizasyon sisteminde beton boruların çökmesi ile tıkanıklıklar oluşmakta türbülanslı halden statik hale geçen ve biriken atıksuda anaerobik faaliyet başlamakta ve neticesinde H₂S gazı açığa çıkmaktadır. H₂S gazı kötü kokusu ile çevreye rahatsızlık vermekte ve en önemlisi zehirli gaz olduğundan dolayı uzun süreli solumalarda akut veya kronik zehirlenmelere hatta neticesinde ölümlere yol açabilmektedir. Atıksu kanalizasyon sisteminde oluşan beton boru kırılması, çökmesi gibi arızaların ve yenilenebilmesi amacıyla beton boru yaşının tespit edilebilmesi için son zamanlarda atıksu kanalizasyon sistemleri hareketli kamera sistemleriyle görüntülenmekte ve yenilenecek kısımlar kazı yapılmadan kısa zamanda kanal kaplama robotlarıyla rehabilite edilerek sisteme alınmaktadır. Atıksu kanalizasyon sisteminin hareketli kameralar ile görüntülemesi beton borunun durumunu tespit etmekte ve beton boru korozyona uğramış ise korozyonun kaynağının fiziksel olarak bilinmesini, neticesinde kalıcı önlemler alınmasını sağlamaktadır. Böylece hem zaman kazanılmakta hem de işletme maliyetleri düşmektedir. Ayrıca görüntüleme sistemiyle altyapı durum haritası çıkarılmaktadır. Aşağıda İstanbul ili Kadıköy ilçesi sınırları içerisinde bulunan çeşitli sokak ve caddelerde mevcut atıksu kanalizasyon sistemlerinden alınan görüntü fotoğrafları gösterilmiştir. [16].



Beton Boruda Oluşan Yağ Sarkıtı



Beton Boruda Oluşan Çatlaklar



Beton Boru Kırılması



Beton Boru Tıkanması

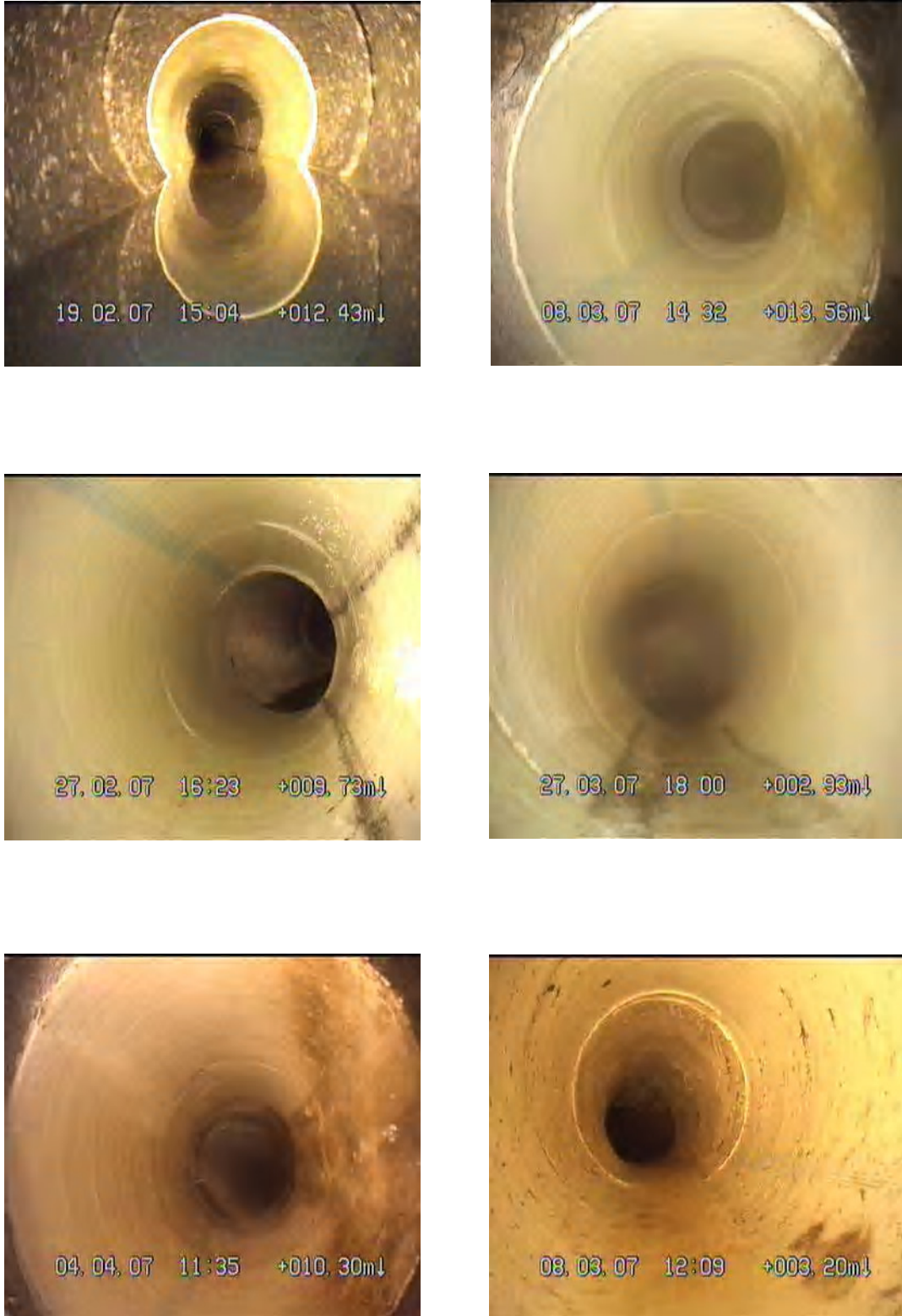


Beton Boru Kopması



Beton Boru Çökmesi

Şekil 7.1.İstanbul İli Kadıköy İlçesinde Çeşitli Bölgelere Ait Problemlili \varnothing 300 mm Çaplı Muflu Beton Boru Kanal Görüntüleme Resimleri [26].



Şekil 7.2. İstanbul İli Kadıköy İlçesinde Çeşitli Bölgelere Ait Atıksu Kanalizasyon Sisteminde Robotla Kaplama Yöntemiyle Yenilenen \varnothing 300 mm Çaplı Muflu Beton Boru Kanal Görüntüleme Resimleri [26].

Atıksu kanalizasyon sisteminde ideal boru seçiminde öncelikli olarak borunun çapı, borunun cinsi ve büyük projelerde uygulama maliyetinin belirlenmesi gerekmektedir.

Boru çapı; atıksu kanalizasyon hattı döşenecek bölgedeki nüfusun yoğunluğuna bağlıdır. Atıksu kanalizasyon sisteminin hizmet vereceği sokak veya caddedeki nüfus yoğunluğu ile döşenecek boru çapı doğru orantılıdır. Nüfus yoğunluğu arttığında debide artacağından dolayı boru çapı ideal seçilmelidir. Boru çapı seçiminde birleşik sistem varsa yağmur suyuda dikkate alınmalıdır. Boru çapı ideal boyutundan büyük seçilirse imalat ve döşeme maliyeti kaybı olur. Boru çapı ideal boyutundan küçük seçilirse debinin fazla gelmesiyle hasar görme riski artar ve taşmalara, tıkanmalara sebebiyet verebilir. Boru uzunlukları pek dikkate alınmayan bir özelliktir. Üretimde standartta beton borularda uzunluk 1,25 metre veya 1,5 metre olup, betonarme borularda ise 2 metre veya 3,5 metre değerlerinde olmaktadır [16].

Borunun cinsi; bulunduğu zeminin özelliklerine ve içinden geçecek olan atıksu karakteristiğine göre belirlenir. Borunun içinden geçecek olan atıksu karakteristiği yetkili kurumlar tarafından deşarj limitleriyle belirlenip kontrol edildiğinden dolayı istisnai durumlar haricinde dikkate alınmayabilir. Borunun döşenecek zemini aşırı sulu ise boru hareket edebilir ve bağlantı noktalarından kopabilir, ayrıca içine dış ortamdaki sıvı sızması olabilir. Sıvı sızmaları debileri yüksek olmadığı ve zararlı etkenler içermediği müddetçe göz ardı edilebilir ama suyun yatak yaparak boruyu kaydırması büyük sorunlar oluşturabilir. Bu durumda ilk yok zemini sıkılaştırmaya gitmek ya da destek yatakları kullanmaktır. Ama bu önlemlerde işe yaramasa HDPE cinsi boru kullanarak bu sorun kalıcı olarak giderilebilir. HDPE boruda elektro füzyon kaynak ile bağlantılar yapıldığından dolayı aşırı sulu zeminde kayma anında kopmalar meydana gelmez. Sağlıklı ve verimli bir boru çeşidi olmasına rağmen maliyeti yüksektir. Lokal olarak kullanılabilir ama büyük projelerde maliyetinden dolayı istisnai bir durum olmadığı müddetçe genelde kullanılmaz. Bu tip zeminlerde çok nadir cam takviyeli boru (CTB) kullanıldığı da görülmektedir. Cam takviyeli borunun maliyeti HDPE boruya göre biraz daha düşüktür. Deniz suyuna yakın ve deniz seviyesinden daha düşük kotta olan bölgelerde beton boru izolasyon yapılmak şartıyla kullanılabilir. İzolasyonsuz beton boru kullanılırsa deniz suyu sızmalarından dolayı tuzlu su beton boruyu çok hızlı bir şekilde korozyona uğratarak su

geçirimsizliği zamanla arttırabilir. Bu durumda hem beton borunun ömrü hızla azalır hemde atıksu içine yoğun miktarda tuzlu su karıştığından dolayı bağlantısının olduğu diğer hatlarında hasar görmesine neden olur. Beton borulara izolasyon uygulaması sadece deniz suyu için değil ayrıca zemin toprak yapısında korozif maddelerin olduğu yerlerde, zirai ilaçların kullanıldığı tarımsal faaliyetlerin yapıldığı yerlerde, petrol rafinerilerinin, maden ocaklarının yoğun olduğu yerlerde de yapılmalıdır. Toprak kaymalarının çok yoğun olduğu ve 1. dereceden deprem bölgesi olan yerlerde atıksu kanalizasyon sisteminin HDPE borudan yapılması daha uygundur. Çünkü herhangi bir zemin hareketinde 100 metre uzunluğunda bir HDPE boru hattı elektro füzyon ve alın kaynağı ile bağlantılarının yapılması sebebi ile 2 mt esneyebilmektedir. Bu durumda boruların hasar görmemesine neden olmaktadır. Araç trafiğinin yoğun olduğu yerler, tren yolları gibi tepe yükü basıncının yoğun olduğu yerlerde genelde HDPE boru tercih edilmekte olup nadiren çelik boru veya çelik donatı ile kaplama yapılmış veya çelik hasır ile desteklenmiş borular kullanılmaktadır. Aksi takdirde galeri sistemi yapılarak borunun içinden geçirilmesi gerekmektedir. Çünkü bu tip yerler borunun kırılmaya eğilimini arttırmaktadır. Limit üstü tepe yükü basıncı engellenmelidir.

Uygulama maliyetleri açısından değerlendirildiğinde yapı sektöründe imalatı ve döşemesi en ucuz olan ve en sık kullanılan boru çeşidi beton ve betonarme borulardır. Diğer boru sistemlerinde olduğu gibi beton borularda da çap ne kadar büyürse boru imalat ve döşeme maliyetide o kadar artmaktadır. PE, HDPE gibi borular döşenmesi kolay, daha uzun ömürlü fakat büyük projelerde maliyetleri büyük olmaktadır. PVC borular ise maliyetleri beton borulara yakın olmasına rağmen kırılma özelliği yani basınç dayanımları çok düşüktür. Genellikle bina dâhili tesisatlarında, kırsal alanda bulunan nüfus yoğunluğu düşük köy ve kasabalarda kullanılmaktadırlar. Atıksu kanalizasyon sisteminde kullanılan ve üretimi yapılan borular aşağıda sıralanmıştır.

- Beton borular
- Betonarme borular
- Cam takviyeli beton borular (CTB)
- Öngerilmeli beton borular

- Entegre contalı beton ve betonarme borular
- Polietilen iç kaplamalı beton borular
- Polietilen iç kaplamalı betonarme borular
- PVC borular
- PP borular
- PE borular
- HDPE borular
- FKS borular
- Tripleks borular

Bu borular içinde en çok kullanılan borular sırası ile beton ve betonarme borular, cam takviyeli beton borular, HDPE borular, PVC borulardır. Sıralanan diğer boru çeşitlerinin ise özel uygulamalar haricinde fazla kullanımları olmamaktadır. Cam takviyeli beton borular daha çok aşırı kaygan olmayan ve korozif etkilerin az olduğu yerlerde kullanılır. Maliyetleri beton boru maliyetinden biraz fazladır. Öngerilmeli beton borular ise çapların büyük, tepe yükü basınçlarının fazla olduğu yerlerde kullanılır. Entegre contalı beton borular contanın, beton ve betonarme boru muf iç kısmına üretim esnasında yerleştirilmesi suretiyle imal edilen borular olup Ø200 mm-Ø1200 mm arası çaplarda üretilmektedirler beton borular ile aynı özellikte olup conta boru ile bütün halde olduğundan dolayı döşemede zaman kazandırır. Betona zarar verecek kimyasallar içeren atık sular için polietilen iç kapalı betonarme borular kullanılmaktadır. Maliyetleri beton borulara oranla yüksek olup aşırı ve sürekli, engellenemeyen korozif etkiyi önlemek için lokal olarak uygulanmaktadırlar. Kazı gerektirmeyen atık su hatlarında kullanılmak için imal edilmiştir. Ø1000 mm-Ø2200 mm arasındaki çaplar için üretilmektedir. Çok yaygın bir kullanımı bulunmamaktadır. Atıksu kanalizasyon sistemlerinde beton boruların haricinde çeşitli bağlantı parçaları ve yardımcı elemanlar bulunmaktadır. Bu elemanlar sistemin işleyişini hatlara yön vermeyi ve işletme esnasında kolay müdahale edebilmeyi sağlamaktadırlar [16].

Atıksu Kanalizasyon Sistemi Kontrol Bacası Elemanları

- Ankastre (entegre) merdiven basamaklı baca elemanları
- Izgara yükseltme halkası
- Prekast baca taban elemanı altı
- Prekast baca taban elemanı tekli/ikili/üçlü/dörtlü

Atıksu Kanalizasyon Sistemi Boru Bağlantı Elemanları

- 200/300–600 C parçası (Genelde parsel bacası bağlantılarında kullanılmaktadır.)

Contalar

Boru birleşim yerlerinde kullanılan bütün contalar, EPDM kauçuktan TS 681-1'e göre çeşitli çaplarda üretilmekte olup boruyla bütün veya ayrı olabilmektedirler.

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada atıksu içinde bulunan ve TSE standartlarına göre beton boruları en çok korozyona uğratan zararlı kirleticilerin etkinlik derecelerinin saptanması ve uygun ürün geliştirilebilmesi amacıyla beton borulara en çok uygulanan basınç dayanım deneyi ve su işleme derinliğinin bulunması deneyleri ile belirli karışım oranlarında hazırlanan beton numuneleri üzerinde testler yapılmıştır.

Basınç dayanım deneyi ile atıksu içerisinde bulunan zararlı kimyasal maddelerin etkisinde kalan beton boruların dayanım oranlarındaki değişim saptanmıştır.. C 30 standardında hazırlanan ve çözeltilere batırılmayan baz beton numunesi üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonucu $53,6 \text{ N/mm}^2$ bulunmuş olup çözeltilere batırılan diğer numunelere ait basınç dayanımı deneyi sonuçları ile kıyaslanarak atıksu içerisinde bulunan korozif etkenlerin % olarak meydana getirdikleri dayanım azalması kıyaslaması yapılmıştır. Tablo 6.2.'de kuvvetli yani yüksek konsantrasyonlarda sülfat ve asidik sular ile temas ettirilen beton numunelerinin basınç dayanımlarının %15 ile %20 arasında azaldığı görülmüş olup amonyum tuzu magnezyum tuzu ve sertlik derecesi düşük sularda basınç dayanımlarının %10'un üzerinde azalmadığı, Tablo 6.3.'de ise zayıf konsantrasyonlarda ise sülfat ve asidik sular ile temas ettirilen beton numunelerinin basınç dayanımlarının %10'a yakın değerlerde azaldığı görülmüş olup amonyum tuzu magnezyum tuzu ve sertlik derecesi düşük sularda basınç dayanımlarının %3'ün altında azaldığı görülmüştür [21].

Deneyde baz olarak kullanmış olduğumuz beton numunenin basınç dayanımının TS 206 standartlarında C 30 sınıfı beton basınç dayanımından %78 daha fazla olduğu görülmüştür. Yapılan araştırmalara göre kuvvetli konsantrasyonlardaki çözeltilerin beton numunelerde TSE'de standardı bulunmamasına rağmen yaklaşık olarak %25 ile %40 arasında basınç dayanımı kaybettirdiği tespit edilmiş olup spesifik olarak

hazırlanmış beton numuneler üzerinde yapılan deneylerde basınç dayanımlarının %20'den az olduğu sonucuna varılmıştır. Deneyler için spesifik olarak hazırlanan beton numunelerinin ve çözeltilere batırılmayan beton numunesinin basınç dayanımları yüksek çıkmış olup değer ve uygulama bazında TSE standartlarına uygun ve verimli olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmadan beton borularda en çok ve en hızlı korozyona neden olan kirleticilerin sülfat ve asidik ortamın olduğu atıksular olduğu görülmüş olup düşük konsantrasyonlarda olsalar bile beton boruları birçok kirleticilere göre daha hızlı ve etkili korozyona uğrattıkları tespit edilmiştir.

Su işleme derinliğinin bulunması deneyi ile atıksu içerisinde bulunan ve TSE standartlarında belirtilen zararlı kirleticilerin beton borular ile temas halindeyken beton borunun su emme kapasitesi ve derinliğinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Su emme derinliğindeki artış atıksu içerisinde bulunan zararlı kirleticilerin tesirlerinin artmasıyla doğru orantılıdır. Su emme derinliği azalır ise beton borudaki dayanıklılıkta artmaktadır.

C 30 standardında hazırlanan ve çözeltilere batırılmayan baz beton numunesi üzerinde yapılan su işleme derinliği deneyi sonucu 2 cm bulunmuş olup çözeltilere batırılan diğer numunelere ait su işleme derinliği deneyi sonuçları ile kıyaslanarak atıksu içerisinde bulunan korozif etkenlerin cm olarak meydana getirdikleri su işleme derinlik azalması kıyaslaması yapılmıştır. Tablo 6.6.'da yüksek yani kuvvetli konsantrasyonlarda sülfat ve asidik sular ile temas ettirilen beton numunelerinin su işleme derinliklerinin %35 ile %40 arttığı, amonyum tuzu, magnezyum tuzu ve sertlik derecesi düşük sulara ise su işleme derinliğinin %20'nin altında arttığı görülmüştür. Tablo 6.7.'de ise düşük yani zayıf konsantrasyonlarda sülfat ve asidik sular ile temas ettirilen beton numunelerinin su işleme derinliklerinin %15 ve %20 arttığı, amonyum tuzunda %5, magnezyum tuzu ve sertlik derecesi düşük sulara ise artmadığı görülmüştür.

Deneyde baz olarak kullanmış olduğumuz beton numunenin, kuvvetli konsantrasyonlarda basınç dayanımının TS 3440 standartlarında C 30 sınıfı beton su

işleme derinliğinden %34 zayıf çözeltilerde ise %60 daha az olduğu görülmüştür. TS 3440 standardına göre su işleme derinlikleri cm olarak karşılaştırıldığında 5 cm ve 6 cm olan sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür. Sülfat ve asidik çözeltilerin beton su işleme derinliklerini daha hızlı ve etkili bir şekilde arttırdıkları, amonyum tuzları, magnezyum tuzları ve sertlik derecesi düşük suların ise fazla etkili olmadıkları hatta zayıf konsantrasyonlarda magnezyum tuzlarının ve sertlik derecesi düşük suların hiçbir etkisinin olmadığı tespiti yapılmıştır. Su işleme derinliğinin cm olarak tespitinin dışında kütle bazında da tespiti yapılmış olup TS 3440 standardına göre kütlece en fazla %6 olması gereken su miktarı standardın altında çıkarak cm olarak standartlara uyan değerlerin kütlece de uyduğu sonucuna varılmıştır [1].

Yapılan bu çalışmadan beton borularda en çok ve en hızlı korozyona ve su geçirimsizliğini arttırarak parçalanmalarına neden olan kirleticilerin sülfat ve asidik ortamın olduğu atıksular olduğu görülmüş olup düşük konsantrasyonlarda olsalar bile beton boruları birçok kirleticilere göre daha hızlı ve tesirli korozyona uğrattıkları ve tespit edilmiştir.

Deneylerde elde edilen sonuçlar ile olması gereken değerler ve beton boru imalat sektöründe mevcut değerler kıyaslandığında ürün geliştirme amacıyla imal edilen beton numunelerinin basınç dayanımlarının daha yüksek, su işleme derinliklerinin ise daha düşük çıktığı görülmüştür.

Çalışmalar için imal edilen beton ile beton boru yapılması uygun olup yapılacak beton borunun mevcut beton borulara oranla daha dayanıklı ve daha uzun ömürlü olacağı deneylerle ispatlanmıştır.

Çalışmaların beton borular ile yapılmasının amacı kentsel atıksu kanalizasyon sistemleri için sektörde en çok kullanılan ve tercih edilen boru çeşidi olmasıdır. Sektörde en çok tercih edilen ve kullanılan boru olmasının sebepleri ise, ekonomik oluşu, işletme ve imalat maliyetlerinin düşük oluşu, elde edilebilirliğinin kolay oluşudur.

İdeal bir beton borunun imal edilebilmesi için aşağıda sıralanan maddelere dikkat edilmesi gerekmektedir.

- Su/Çimento oranı.
- Agreganın cinsi, dayanımı ve tane boyutu.
- Çimento cinsi ve dayanımı.
- Karışım suyunun pH değeri ve kullanılabilir nitelikte olması.
- Kimyasal katkı maddelerinin uygun özellikte seçilmesi.

Çalışmada elde edilen sonuçlara göre beton borularda dayanımın artması su/çimento oranı TSE standartlarında belirtilen minimum miktara kadar azaldıkça, agreganın cinsinin ve tane boyutunun doğru belirlenmesi ve kaliteli oluşuyla, çimento cinsinin sülfata dayanıklı çimento (SDÇ 32,5) olarak seçilmesiyle doğru orantılı olduğu görülmüştür.

İdeal boru seçiminde öncelikle nüfus hesabı yapılarak boru çapı, döşenecek güzergâhlar belirlenmeli ve sonra döşenecek yerin zemin özelliklerine, atıksuyun karakterizasyonuna, boru temin ve işletme maliyetine, döşeme ve işletme kolaylığına dikkat edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] DSİ, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi “Beton ve Beton Deneyleri”, (1994) Yayın No: Mlz 878 Ankara
- [2] GREENBERG, A.E., “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, (1989), APHA 17th Edition, Washington
- [3] ÇEVRE BAKANLIĞI, “Numune Alma ve Analiz Metodları”, (1990), Ankara
- [4] MUSLU, Y., “Su ve Atıksu Teknolojisi”, (1992), İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul
- [5] PAVLİK, V., “Corrosion of Hardened Cement Paste by Acetic and Nitric Acids”, (1994), Cement and Concrete Research Vol: 2, No:3, Pp: 551-562
- [6] IROSSOR, E.F., “Sulphate Attack on Concrete with Mineral Admixtures”, (1995), Cement and Concrete Research Vol: 26, No:1, Pp:113-123
- [7] LAM, L., “Effect of Fly Ash and Silica Fume on Compressive and Fracture Behaviors of Concrete”, (1997) The Hong Kong Polytechnic University
- [8] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 130 Agregası Karışım Elek Analizi Deneyi İçin Metod”, (1978), Ankara
- [9] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 706 Beton Agregaları”, (1980), Ankara
- [10] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 3830 Beton Boru Yapım Kuralları”, (1983), Ankara
- [11] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 500 Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları”, (1983), Ankara
- [12] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 3114 Beton Basınç Mukavemeti Tayini”, (1990), Ankara
- [13] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 809 Çimento, Süper Sülfat Çimentosu”, (1994), Ankara

- [14] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 23 Çimento Numune Alma Metodları”, (1986), Ankara
- [15] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 802 Beton Karışımı Hesap Esasları”, (1985), Ankara
- [16] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 821 Borular ve Birleşim Özel Parçaları-Beton, Betonarme ve Çelik Lif Takviyeli”, (1998), Ankara
- [17] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 3440 Kimyasal Etkileri Olan Su, Zemin ve Gazların Etkisinde Kalacak Betonlar İçin Yapım Kuralları” (1982), Ankara
- [18] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 10157 Sülfata Dayanıklı Çimentolar”, (1992), Ankara
- [19] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS EN 197-1 Genel Çimentolar- Bileşim Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, (2002), Ankara
- [20] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS EN 12390-3 Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini”, (2003), Ankara
- [21] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS EN 206-1 Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk”, (2002), Ankara
- [22] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 20 Çimento-Yüksek Fırınlı Cüruf Çimentoları”, (1992), Ankara
- [23] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 26 Çimento-Traslı Çimentolar”, (1992), Ankara
- [24] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 640 Çimento- Uçucu Küllü Çimento”, (1992), Ankara
- [25] UNCIK, S., “The Rate of Corrosion of Hardened Cement Pastes and Mortars with Additive of Silica Fume in Acids”, (1997), Slovak University of Technology
- [26] İSTANBUL SU VE KANALİZASYON İDARESİ “Kadıköy İlçesi Atıksu Kanalizasyon Sistemi Görüntüleme Verileri”, (2007), İstanbul
- [27] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 3223 Beton Basınç Dayanım Deney Numunelerinin Hazırlanması, Hızlandırılmış Kürü ve Basınç Dayanım Deneyi”, (1979), Ankara
- [28] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 3526 Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini”, (1980), Ankara

- [29] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 19 Çimento-Portland Çimentoları”, (1992), Ankara
- [30] TÜRK STANDARTLARI ENSTİTÜSÜ, “TS 10156 Çimento-Katkılı Çimento”, (1992), Ankara
- [31] Wafa, F.F., “Accelerated sulfate Attack on Concrete in a Climate”, (1994), Vol:16, No:1, Pp: 31-35, Cement and Concrete Aggregates
- [32] İLLER BANKASI, “Atıksu Arıtma Tesisleri Proses İşletme Bakım El Kitabı”, (1989), Tur/86/01/14, Ankara
- [33] KARPUZCU, M., “Su Temini ve Çevre Sağlığı” , (1985), İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul
- [34] KUMAR, S., “Sulfate Attack on Concrete in Simulated Cast Insitu and Precast Stations”, (1994), Harcourt Butler Technological Institute
- [35] KUMAR, S., “Strength Loss in Concrete Due to Varying Sulfate Exposures”, (1994), Harcourt Butler Technological Institute
- [36] MEHTO, P., “Concrete, Structure, Properties and Materials Prentice Hall”, (1986), New Jersey
- [37] MUSLU, Y., “Su Temini ve Çevre Sağlığı III”, (1992), İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul
- [38] THOMAS, M., “Chloride Thresholds in Marine Concrete”, (1996), Vol:26, No:4, Pp: 513-519, Cement and Concrete Research
- [39] GÜNAY, Y., TABUMAN, C., ÇÖTERT, F., “İçmesuyu ve Pis Sularda Rutin Analiz Yöntemleri Klavuzu”, (1977), İller Bankası Yayını, Ankara
- [40] ERSOY, U., “Betonarme”, (1985), ODDÜ, Ankara
- [41] DIN 4281, “Kanalizasyon Elemanlarında Kullanılan Beton”, (1977), İller Bankası Yayını, Ankara
- [42] BELİE, D. N., “Influence of the Cement Type on the Resistance of Concrete to Feed Acids”, (1996), Vol:26, No:11, Pp: 1717-1725, Cement and Concrete Research
- [43] BAJZA, A., “National Council for Cement and Building Materials”, (1992), Proc 9th Intl. Cong. Chem. Cement, New Delhi
- [44] BARADAN, B., “Yapı Malzemesi I-II”, (1992), Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

- [45] AMOUNDI, A., "Influence of Sulphate Ions on Chloride Induced Reinforcement Corrosion in Portland and Blended Cement Concretes", (1994), Vol:16, No:1, Pp: 3-11, Cement, Concrete and Aggregates
- [46] ARYA, C., "Effect of Cement Type on Chloride Binding and Corrosion of Steel in Concrete", (1994), South Bank University

ÖZGEÇMİŞ

Yavuz BÜLBÜL, 22.09.1980 yılında İstanbul' da doğmuş olup ilkokulu İstanbul İli Fatih İlçesi Sancaktar Hayrettin İlköğretim Okulunda, ortaokul ve lise eğitimini ise İstanbul İli Fatih İlçesi Kocamustafapaşa Lisesinde tamamlamıştır. 1997 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlamış, 2001 yılında eğitimini tamamlamıştır. 2001 yılında İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresine ait Tuzla Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisinde çevre mühendisi (proses ve işletme sorumlusu) olarak göreve başlamış olup 2003 yılında tesisin özelleştirilmesi neticesinde görev yeri nakli yapılarak aynı kuruma ait Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı, Havza Koruma Müdürlüğünde çevre mühendisi (kontrol mühendisi) olarak 2004 yılına kadar çalışmıştır. 12 Nisan 2004 tarihinde Bursa İlinde Kısa Dönem Piyade er olarak Vatani görevine başlamış olup 19 Eylül 2004 tarihinde tamamlamıştır. 22 Ekim 2004 tarihinde İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresine ait Kadıköy Şube Müdürlüğünde çevre mühendisi (atıksu ve içmesuyu altyapı bölge kontrol mühendisi) olarak göreve başlamış olup aynı birimde görevini sürdürmektedir.