

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

**DENİZ SUYUNUN FARKLI TİP VE DOZAJDAKİ MİNERAL
KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARIN
MEKANİK VE DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Yüksek Lisans Tezi

Elif GÜRSES

(101115107)

Ana Bilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Yapı

Danışman: Yrd. Dr. Mehmet KARATAŞ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 31.05.2013

MAYIS-2013

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

**DENİZ SUYUNUN FARKLI TİP VE DOZAJDAKİ MİNERAL
KATKILI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARIN
MEKANİK VE DURABİLİTE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Müh. Elif GÜRSES

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ
MAYIS-2013**

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

**DENİZ SUYUNUN FARKLI TİP VE DOZAJDAKİ MİNERAL KATKILI
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARIN MEKANİK VE DURABİLİTE
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Elif GÜRSES
(101115107)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 31.05.2013

Tezin Savunulduğu Tarih: 17.06.2013

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Zülfü Çınar ULUCAN

Doç. Dr. Servet YILDIZ

MAYIS – 2013

ÖNSÖZ

Tezle birlikte yürüttüğümüz FÜBAP (Proje No: MF.12.22) projesinde, tez konusunun belirlenmesinde ve tezin her aşamasında bilgilerinden istifade ettiğim, deneylerin yürütülmesinde birlikte çalıştığımız, benden yardımlarını esirgemeyen ve bana hep destek olan danışman hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Mehmet KARATAŞ'a teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tecrübeleriyle ve yardımlarıyla bu çalışmaya katkıda bulunan laboratuvar teknisyeni Sn. Seyfettin ÇİÇEK'e,

Deniz suyu analizi yapımında bana çok büyük kolaylık sağlayan ve analizleri gerçekleştiren Elazığ İl Özel İdaresi Toprak ve Su Analiz Laboratuvarı kimyagerlerinden Sn.Dr. Ebru PİRİNÇÇİ'ye,

Bu çalışmayı finanse eden Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) Birimine (Proje No:MF.12.22),

Süper akışkanlaştırıcı temininde bilimsel çalışmaları sürekli destekleyen Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.'den Sn. Yavuz ŞAHİN'e,

Uçucu kül temininde desteğini esirgemeyen Soma Linyit Termik Santrali A.Ş.'den Sn. Duygu YÖNDAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sürecim boyunca her türlü laboratuvar çalışmalarında benden yardımını esirgemeyen manevi olarak her zaman yanımda olan meslektaşım, can dostum Gamze ÖZTOP'a sonsuz teşekkürler ederim.

Ayrıca çalışma sürecinde, destek ve sabırla her zaman yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Elif GÜRSES
ELAZIĞ-2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	X
KISALTMALAR LİSTESİ	XI
SİMGELER LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ	1
2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON/HARÇ	3
2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Avantajları	3
2.2. Kendiliğinden Yerleşen Taze Betonun Davranışı	4
2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kullanılan Malzemeler	5
2.3.1. Çimento Seçimi	6
2.3.2. Agrega Seçimi	8
2.3.3. Mineral Katkılar	9
2.3.4. Mineral Dolgu Malzemeleri	9
2.3.4.1. Uçucu Kül	9
2.3.4.1. Silis Dumanı	11
2.3.4. Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Seçimi	13
2.3.6. Viskozite Arttırıcı Kimyasal Katkı (VAK) Seçimi	15
2.3.7. Karışım Suyu	15
2.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Karışım Tasarımı	15
2.5. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Deney Yöntemleri	16
2.5.1. Çökme-Yayılma ve T ₅₀₀ Deneyi	17
2.5.2. V-Hunisi Deneyi	19
2.5.3. L-Kutusu Deneyi	19
2.5.4. J-Halkası Deneyi	20
2.5.5. Elek Ayırışma Direnci Testi	21

3.	BETONDA SÜLFAT ETKİSİ.....	22
3.1.	Sülfat etkisi.....	22
3.1.1.	İç Kaynaklı Sülfat Etkisi.....	23
3.1.2.	Dış Kaynaklı Sülfat Etkisi	23
3.1.2.1.	Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) Etkisi.....	24
3.1.2.2.	Magnezyum Sülfat (MgSO_4) Etkisi.....	25
3.1.2.3.	Betonda Sodyum Sülfat ve Magnezyum Sülfat Etkisinin Karşılaştırılması	28
3.1.2.4.	Gecikmiş Etrenjit Oluşumu (DEF)	28
3.2.	Sülfat Saldırısını Azaltıcı Önlemler	30
3.3.	Önceki Çalışmalar	30
4.	BETONDA DENİZ SUYU ETKİSİ	33
4.1.	Deniz Suyunun Genel Bileşimi	33
4.2.	Deniz Suyu Etkisi	34
4.3.	Deniz Suyu Etkisini Azaltıcı Önlemler	37
4.4.	Önceki Çalışmalar	37
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	40
5.1.	Deney Programı	40
5.2.	Malzeme Özellikleri	40
5.2.1.	Portland Çimentosu	41
5.2.2.	Agrega Tipi.....	41
5.2.3.	Kimyasal Katkı	42
5.2.4.	Şehir Şebeke Suyu	42
5.2.5.	Magnezyum Sülfat (MgSO_4) Çözeltisi.....	43
5.2.6.	Deniz Suyunun Özellikleri	43
5.2.4.	Uçucu Külün Özellikleri.....	43
5.2.5.	Silis Dumanının Özellikleri	44
5.3.	Numune Boyutları	45
5.4.	Numunelerin Kür Edilmesi.....	45
5.5.	KYH’da Karışım Hesabı.....	46
5.6.	Deney Metotları	48
5.6.1.	Mini Çökme-Yayılma Deneyi	48
5.6.2.	Mini V-Hunisi Deneyi	49
5.6.3.	Viskozitenin Belirlenmesi	50

5.6.4.	Üç Noktalı Eğilme ve Basınç Değerleri	51
5.6.5.	Kapiler Su Emme Deneyi	54
6.	DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	57
6.1.	Mini Çökme-Yayılma ve Mini V-Hunisi Deney Sonuçları.....	57
6.2.	Viskozite Deneyi Sonuçları	60
6.4.	Eğilmede Çekme ve Basınç Dayanımı Deney Sonuçları	62
6.5.	Kapiler Su Emme Katsayısı, Toplam Su Emme Kapasitesi ve Porozite....	68
7.	SONUÇLAR.....	73
8.	KAYNAKLAR	77
	EKLER	83
	ÖZGEÇMİŞ	88

ÖZET

Gerçekleştirilen deneysel çalışmada mineral katkı olarak uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) ile üretilen harçların deniz suyu ve sülfat ortamlarındaki performansları araştırılmıştır. Bu kapsamda %10, %20 ve %30 UK ikameli; %6, %9, %12 ve %15 SD ikameli ve %10UK+%6SD, %10UK+%9SD, %10UK+%12SD, %10UK+%15SD, %20UK+%6SD, %20UK+%9SD ikameli ikili karışımlar olmak üzere kontrol harcıyla birlikte 14 seri harç numuneleri üretilmiştir. Toplam 182 adet 40×40×160 mm harç numuneleri hazırlanmış ve farklı kür sürelerinde sırasıyla şehir şebeke suyu, %10 magnezyum sülfat ve Akdeniz'den temin edilen deniz suyunda bekletilmiştir. Tüm kür türleri için harç numunelerinin farklı kür sürelerinde eğilmede çekme dayanımları ve basınç dayanımları ölçülmüş ve aynı zamanda numunelerde meydana gelen yüzeysel bozulmalar periyodik olarak gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda standart küre maruz harçlarda en yüksek dayanıma %10 UK içeren harç numunesinin sahip olduğu belirlenmiştir. Magnezyum sülfat atağına maruz harçlarda yüzey yumuşamasıyla birlikte çatlak oluşumu türünde bozulmalara rastlanmıştır. Magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen harçların eğilmede çekme dayanımlarının arttığı, basınç dayanımlarının belirgin şekilde değişmediği görülmüştür. Deniz suyuna maruz harçlarda tüm numunelerin eğilmede çekme dayanımları artmış ve basınç dayanımı sonucuna göre en iyi direnci UK içeren harçların, özellikle de %10 UK içeren numunenin gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, Silis dumanı, Magnezyum sülfat atağı, Deniz suyu etkisi, dayanım, dayanıklılık

SUMMARY

EFFECTS OF SEA WATER TO MECHANICAL AND DURABILITY FEATURES OF DIFFERENT TYPE AND DOSAGE SELF-COMPACTING MINERAL ADDITIVE GROUTS

In performed experimental study, performances of trouts produced with fly ash (UK) and silica fume (SD) used as mineral additives at sea water and sulfate environments were investigated. In this context, substituted with 10%, 20% and 30% UK; substituted with 6%, 9%, 12% and 15% SD and substituted with 10%UK+6%SD, 10%UK+9%SD, 10%UK+12%SD, 10%UK+15%SD, 20%UK+6%SD, 20%UK+9%SD binary mixtures and with control trout, total of 14 series trout samples were produced. A total of 182 pieces of $40 \times 40 \times 160$ mm trout specimens prepared and with different curing periods allowed to stand in city water, %10 magnesium sulfate and sea water obtained from Mediterranean, respectively. For all cure specimens, flexural strength and compressive strength of trout samples at different curing periods were measured and surface distortions occurred on samples in time also observed. As a result of study, substituted with %10 UK samples determined as has highest strength to standard curing procedures within all trout samples. In trout samples cured with magnesium sulfate attack, deteriorations like surface softening and formation of cracks were found. In trout samples kept in magnesium sulfate solutions, increased flexural strength observed but compressive strength was not changed significantly. In all of samples exposed to sea water, increased flexural strength was observed and as a result of compressive strength results, trout substituted with UK, especially substituted with 10% UK determined as has the best resistance.

Keywords: Fly Ash, Silica Fume, Magnesium Sulfate Attack, Effects of Sea Water, Strength, Endurance.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Beton bileşenlerinin reolojik özelliklere etkisi	4
Şekil 2.2. Normal betonla KYB'nin karşılaştırılması	5
Şekil 2.3. Eğilme dayanımı yükleme düzeneği	7
Şekil 2.4. Basınç dayanımı yükleme düzeneği.....	8
Şekil 2.5. Kimyasal katkı tipinin akışkanlık arttırıcı etkisi	14
Şekil 2.6. (a) Yayılma deneyi hunisi; (b) Yayılma tablasının boyutları.....	18
Şekil 2.7. KYB için V-hunisi	19
Şekil 2.8. L-kutusu genel görünümü	20
Şekil 2.9. Tipik L-kutusunun boyutları	20
Şekil 3.1. Sülfat etkisiyle betonun bozulması	22
Şekil 3.2. Yüksek oranda alçıtaşı (kalsiyum sülfat) içeren harç örneklerinin havada ve su içinde bekletilmeleri halinde 84 gün sonundaki durumları. Soldaki ağır hasarlı örnek su içinde, sağdaki örnek ise havada bekletilmiştir	26
Şekil 3.3. DEF görünüm.....	28
Şekil 3.4. J. Naubauer'e göre etrenjit kristalinin yapısı	29
Şekil 4.1. Deniz suyundaki elementlerin doğadaki dolaşimleri	34
Şekil 4.2. Deniz ortamında bulunan yapıların maruz kalacağı yıpratıcı etkiler	35
Şekil 4.3. Liman duvar basamaklarının genel görünümü.....	39
Şekil 5.1. Kuma ait analiz grafiği.....	42
Şekil 5.2. 40×40×160 mm'lik prizmatik numuneler	45
Şekil 5.3. Kür ortamından çıkarılan numuneler	46
Şekil 5.4. KYH için mini çökme-yayılma aparatı	48
Şekil 5.5. Mini çökme-yayılma deneyi	49
Şekil 5.6. KYH için mini V-hunisi deneyi	50
Şekil 5.7. Brookfield DV-E model viskozimetre aleti	51
Şekil 5.8. (a)Üç noktalı eğilme deneyi;(b)Eğilme deneyinde numunenin kırılması	52
Şekil 5.9. (a) Basınç deneyi; (b) MgSO ₄ çözeltisindeki numunenin basınç kırılması	53
Şekil 5.10. Kapiler su emme düzeneği	54
Şekil 5.11. (a) Etüvde bekletilmiş numuneler; (b) İzole edilmiş numuneler	55
Şekil 5.12. (a) Numunelerin su emmesi; (b) 24 saat sonunda su emmiş numunelerin görünümü	56

Şekil 6.1. Bağlı çökme-yayılma grafiği	58
Şekil 6.2. Bağlı V-hunisi hızı grafiği	59
Şekil 6.3. UK'li ve UK+SD içeren harçların viskozite grafiği	61
Şekil 6.4. SD'li ve UK+SD içeren harçların viskozite grafiği	61
Şekil 6.5. Şehir şebeke suyu eğilmede çekme dayanımı grafiği	63
Şekil 6.6. Şehir şebeke suyu basınç dayanımı grafiği	63
Şekil 6.7. $MgSO_4$ çözeltisi eğilmede çekme dayanımı grafiği.....	65
Şekil 6.8. $MgSO_4$ çözeltisi basınç dayanımı grafiği.....	65
Şekil 6.9. Deniz suyu eğilmede çekme dayanımı grafiği	67
Şekil 6.10. Deniz suyu basınç dayanımı grafiği.....	67
Şekil 6.11. Kapiler su emme katsayıları grafiği	68
Şekil 6.12. Boşluk oranlarının değişimi	71
Şekil 6.13. Toplam su emme kapasitesi değişimleri	72

TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Mineral katkıların suyla reaksiyonlarına göre sınıflandırılması.....	9
Tablo 2.2. ASTM C 618'e göre uçucu kül sınıfları	10
Tablo 2.3. Değişik termik santral uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları	11
Tablo 2.4. Uçucu külün beton özellikleri üzerine etkileri	11
Tablo 2.5. Silis dumanı pozolanik aktivite ve su ihtiyacının uçucu kül ve doğal pozolan ile karşılaştırılması	12
Tablo 2.6. Silis dumanının kimyasal kompozisyonları.....	13
Tablo 2.7. Silis dumanın beton özellikleri üzerine etkileri	13
Tablo 2.8. KYB deney metotları ve ölçtükleri değerler.....	17
Tablo 3.1. TS 3340'a göre sülfat iyonlarının zararlı etkinlik dereceleri.....	27
Tablo 4.1. Deniz sularındaki iyonlar, g/lt	35
Tablo 4.2. Deniz sularındaki tuzlar, g/lt	35
Tablo 4.3. Ülkemiz denizlerinin tuzluluk oranları ve iyon konsantrasyonları	36
Tablo 5.1. CEM I 42,5 N çimentosunun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri.....	41
Tablo 5.2. Kuma ait elek analiz sonuçları.....	41
Tablo 5.3. Kimyasal katkının özellikleri	42
Tablo 5.4. Deniz suyunun kimyasal analizi	43
Tablo 5.5. C sınıfı uçucu külün kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri.....	44
Tablo 5.6. Silis dumanının kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri.....	44
Tablo 5.7. Karışım oranları.....	47
Tablo 6.1. Uçucu küllü ve silis dumanlı ikili harçların mini çökme - yayılma değerleri ...	57
Tablo 6.2. UK+SD içeren üçlü harçların mini çökme - yayılma değerleri.....	57
Tablo 6.3. Uçucu küllü ve silis dumanlı ikili harçların mini V-hunisi değerleri	58
Tablo 6.4. UK+SD içeren üçlü harçların mini V-hunisi değerleri.....	58
Tablo 6.5. Farklı açısız hız değerleri için viskozite ölçümleri.....	60
Tablo 6.6. Şehir şebeke suyu küründeki harç numunelerinin eğilme ve basınç değerleri	62
Tablo 6.7. MgSO ₄ çözeltisi küründeki harç numunelerinin eğilme ve basınç değerleri	64
Tablo 6.8. Deniz suyu küründeki harç numunelerinin eğilme ve basınç değerleri.....	66
Tablo 6.9. Numunelerin etüv kurusu, doygun kuru yüzey ve su içindeki ağırlıkları	69
Tablo 6.10. 50 mm'lik küp numunelerin yoğunlukları.....	70
Tablo 6.11. 50 mm'lik küp numunelerin toplam su emme kapasitesi ve porozite	71

KISALTMALAR LİSTESİ

KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
KYH	: Kendiliğinden Yerleşen Harç
UK	: Uçucu Kül
SD	: Silis Dumanı
TS EN	: Türk Standartları Enstitüsü
ASTM	: Amerikan Test ve Materyalleri Toğluluğu
EFNARC	: European Federation of National Trade Associations
MgSO₄	: Magnezyum Sülfat
NaSO₄	: Sodyum Sülfat
C₃A	: Trikalسيوم alüminat (3CaOAl ₂ O ₃)
C₆A₃H₃₂	: Etrenjit (6CaO.Al ₂ O ₃ .3SO ₃ .32H ₂ O)
C$\bar{S}$H₂	: Alçıtaşı (CaSO ₄ .2H ₂ O)
CH	: Kalsiyum Hidroksit (Ca(OH) ₂)
C-S-H (C₃S₂H₃)	: Kalsiyum Silika Hidrat Jel (xCaOSiO ₂ .yH ₂ O)
MH	: Brusit (Mg(OH) ₂)
M-S-H	: Magnezyum Silika Hidrat (xMgO.SiO ₂ .yH ₂ O)
C-A-H	: Kalsiyum Alüminat Hidrat
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat
SiO₂	: Silisyum dioksit
Ca(OH)₂	: Kalsiyum Hidroksit
CaO	: Kalsiyum Oksit
gr	: Gram
lt	: Litre
kg	: Kilogram
N	: Newton

SİMGELER LİSTESİ

τ	: Eşik kayma direnci
η	: Viskozite
γ	: Deformasyon hızı
SR	: Elek ayrışma direnci (%)
R_f	: Eğilme dayanımı
b	: Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu
F_f	: Prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanan kuvvet
I	: Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık
R_c	: Basınç dayanımı
F_c	: Kırılmadaki en büyük yük
A	: Kesit alanı
$\mathcal{C}$	: 1 m ³ betondaki çimento miktarı
W	: 1 m ³ betondaki su miktarı
K	: 1 m ³ betondaki kimyasal katkı miktarı
S	: 1 m ³ betondaki silis dumanı miktarı
U	: 1 m ³ betondaki uçucu kül miktarı
H	: 1 m ³ betondaki hava miktarı
$\delta_{\mathcal{C}}$	: Çimentonun özgül ağırlığı
δ_s	: Silis dumanının özgül ağırlığı
δ_u	: Uçucu külün özgül ağırlığı
δ_k	: Kimyasal katkının özgül ağırlığı
δ_{kum}	: Karışımda kullanılan kumun özgül ağırlığı
K	: Kapilarite katsayısı
A	: Su ile temas eden alan
t	: Geçen zaman
Q	: Emilen su miktarı
W_1	: Etüv kurusu ağırlık
W_2	: Su içindeki ağırlık
W_3	: Doygun kuru yüzey ağırlık

1. GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), kendi ağırlığı ile sık donatılı, dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç ve dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliğini sağlarken ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayarak kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür [1]. Klasik beton tasarımından farklı olarak KYB’da; kimyasal katkıları, akışkanlaştırıcılar ve puzolanik mineral katkıların tümünün veya bir kısmının kullanılması ihtiyacı doğmaktadır. Bu malzemelerin seçimi ve beton tasarımına uygun olarak kullanılmasına yönelik yeni deney yöntemleri ve dolayısıyla standartlar geliştirilmektedir. Günümüzde KYB’ların üretiminde kullanılan EFNARC (2005) standardıdır [2].

KYB’nin iki temel özelliği vardır. Bunlar kalıpları doldurma yeteneği ve yüksek ayrışma direncidir. Kalıpları doldurma yeteneği, süper akışkanlaştırıcılar ile sağlanır. Yüksek ayrışma direnci ise, ince malzeme (uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, taş tozu, tuğla tozu vb.) miktarının yüksek tutulması ve viskozite düzenleyici bir katkıyla sağlanabilir [3]. UK ve SD birer mineral katkı maddesidir. Bunlar, genellikle harç ve beton üretiminde çimentonun ağırlık yüzdesi oranında çimentonun bir kısmı yerine veya ilave olarak çimentoya önceden karıştırılarak katkılı çimento şeklinde kullanılır. Bu tür mineral katkıları kullanmaktaki başlıca amaç; maliyeti yüksek olan portland çimentosundan tasarruf sağlayıp beton dayanımını ve durabilitesini arttırmaktır.

Yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini servis ömürleri boyunca bozulmadan yerine getirmelerine durabilite, dayanıklılık veya kalıcılık denir. Günümüzde, bazı durabilite sorunlarının mekanizması tam olarak açığa kavuşmamakla birlikte, bu konuda gün geçtikçe ciddi ilerlemeler kaydedilmektedir. Örneğin beton üzerinde sülfatın zararlı etkisi 1877 yılından beri bilinmekte olup ilk araştırmalar 19. yüzyılın sonunda Candlot ve Michaelis tarafından yapılmıştır [4]. Sülfat etkisi, çimentodan kalsiyum alüminat hidrat ve kalsiyum hidroksit ile sülfat iyonları arasında betonda genleşme yaratan ürünler meydana getirmesiyle sonuçlanan reaksiyondur. Bu ürünler etrenjit ve jips olup betonda genleşme, çatlak oluşumu ve yüzeyin pul pul dökülmesi şeklinde hasara, dolayısıyla dayanım kaybına sebep olmaktadır. Betonda sülfat etkisiyle dayanım kaybına sadece genleşme oluşumu yol açmamaktadır. Aynı zamanda sülfat etkisiyle hidrate portland çimentosunda başlıca fazlar olan kalsiyum hidroksit ve kalsiyum silikat hidratının bozulması da yapıdaki adezyon

kuvvetlerinin zayıflamasına ve buna bağı olarak dayanım kaybına neden olmaktadır. Deniz suyunda bulunan sülfat iyonları da çimento harçlarında ve betonda genleşme yaratarak çatlak, dökülme vb. hasarlar oluşturur. Deniz suyunda bulunan kimyasal maddeler (klorür, kalsiyum, sodyum, magnezyum ve sülfat iyonları) nedeniyle betonda dayanıklılık büyük ölçüde yitirilebilmektedir. Betonda sülfat etkisini tespit edebilmek için kullanılan yöntemlerden biri basınç dayanımındaki değişimi gözlemlemektir. Sülfat etkisiyle beton basınç dayanımında, erken yaşlar hariç artış olmamaktadır [5].

KYB tasarım yöntemleri genellikle, hamur veya harç üzerinde ön çalışma gerektirmektedir. KYB' da harç deneylerinin üstünlükleri, KYB' da harç karakteristiklerinin baskın olması, harcın tasarımın temelini oluşturması ve harçta deney yapmanın daha kolay olmasıdır. Bu nedenle, bu çalışmada kendiliğinden yerleşen harç (KYH) içinde çimento yerine ikame yöntemiyle C sınıfı uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) mineral katkı olarak kullanılmıştır. Kullanılan bu mineral katkılarla üretilen harç numunelerinin farklı kür (şehir şebeke suyu kürü, magnezyum sülfat ($MgSO_4$) çözeltili kür ve deniz suyu kürü) ortamlarındaki dayanımları incelenmiştir. Öncelikler karışım oranlarını belirlemek için işlenebilirlik ve kıvam deneylerinden yararlanılmıştır. Bununla birlikte harç karışımlarıyla hazırlanan $40 \times 40 \times 160$ mm numuneler üzerinde eğilmede çekme ve basınç dayanımları; 50 mm küp numuneler üzerinde de kapiler su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON/HARÇ

Bileşenleri itibari ile önceleri sadece su, çimento ve agregadan oluşan beton, bünyesine kimyasal ve mineral katkıların girmesiyle pek çok olumlu özellik kazanmıştır. Kimyasal ve mineral katkıların kullanımıyla birlikte üretim ve uygulama safhasındaki pek çok sorun çözülebilmektedir. Kendiliğinden yerleşen betonların (KYB) kullanılmasında öncü ülke Japonya'dır. KYB, 1980'li yılların sonuna doğru su altı beton uygulamalarında kullanılmak için Japonya'da geliştirilmiştir.

KYB, kendi ağırlığı ile sık donatılı, dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç ve dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliğini sağlarken ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmayarak kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür [1].

Klasik beton tasarımından farklı olarak KYB'de; kimyasal katkılar, akışkanlaştırıcılar ve puzolanik mineral katkıların tümünün veya bir kısmının kullanılması ihtiyacı doğmaktadır. Bu malzemelerin seçimi ve beton tasarımına uygun olarak kullanılmasına yönelik yeni deney yöntemleri ve dolayısıyla standartlar geliştirilmektedir. Günümüzde kullanılan standart, EFNARC (European Federation of National Trade Associations) [6] tarafından yayınlanmıştır. EFNARC KYB'nin işlenebilirliğiyle ilgili olarak dört özellik vermektedir. Bunlar bulunduğu hacmi boşluksuz doldurma yeteneği, akma oranıyla belirlenen uygun viskozite, dar kesitlerden geçme kabiliyeti ve ayrışma direncidir. KYB'de işlenebilirlik geleneksel betondaki deney metotlarıyla belirlenemez, bu yüzden KYB'nin işlenebilirliğini belirlemek için EFNARC tarafından bazı deney metotları önerilmiştir: Çökme-yayılma, J-halkası, V-hunisi, L-kutusu, U-kutusu ve Elek ayrışma deneyleri.

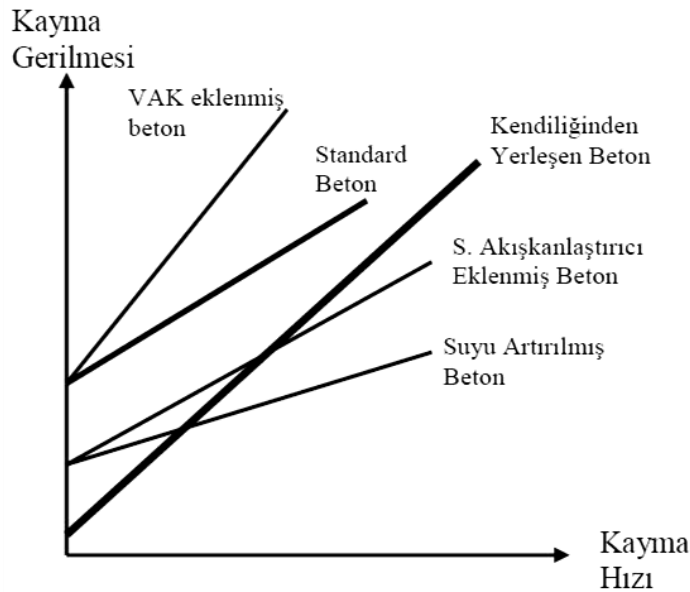
2.1. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Avantajları

KYB'nin yerleştirilmesi için vibrasyon uygulanmamaktadır. Bu nedenle beton dökümü sırasında çalışanların etkisinde kaldıkları gürültü ve titreşim miktarı düşmektedir. Prefabrik imalat yapan tesislerde üretimi kolaylaştırır. Yoğun ve sık donatılar arasında kolaylıkla akar ve boşluksuz olarak yerleşir. Betonun demir donatıyı çok iyi sarması ve boşluksuz bir yapı oluşturması dayanıklılığını artırır. Özellikle depremde zarar görmüş

binaların güçlendirilmesinde, tek bir noktadan döküm yapıldığında kalıp içerisinde, kendiliğinden yerleşmesi ve yükselmesi güçlendirme projeleri için çok iyi bir çözüm yöntemidir. Yerleştirme sırasında işçilikten kaynaklanan uygulama hatalarını ortadan kaldırır. Klasik betonlara göre daha geçirimsiz olduğundan, dayanıklılık açısından yapıların çok daha avantajlı bir duruma gelmesini sağlamaktadır. Betona şantiyede işlenebilirliği arttırmak için su katılması bir risktir ve KYB bu riskin oluşmasını engeller. Ayırışmayı önler. Hava kabarcıksız ve düzgün yüzeyli homojen beton elde edilir. Zamandan ve paradan büyük tasarruf ve iyi bir çalışma ortamı sağlar. Bir yapıda, döşeme ve düşey elemanların üretimi geleneksel betonla üretime göre, KYB ile 1/5 oranında daha kısa sürede gerçekleşmektedir [7].

2.2. Kendiliğinden Yerleşen Taze Betonun Davranışı

Geleneksel betonda akışkanlık su ile sağlanmaya çalışıldığında sadece kayma eşiği düşmemekte, aynı zamanda viskozite de azalmaktadır (Şekil 2.1.). Viskozitenin düşmesi ise ayırışmaya yol açmaktadır. Süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı geleneksel betonda viskoziteyi değiştirmeden kayma eşiğini azaltmaktadır. Silis dumanı kayma eşiğini artırırken (viskoziteyi etkilemeden) hava sürüklemeye kayma eşiğini düşürmektedir. Diğer mineral katkıların etkisi ise kayma eşiğini azaltırken viskoziteyi artırıcı ya da azaltıcı yönde olabilmektedir.



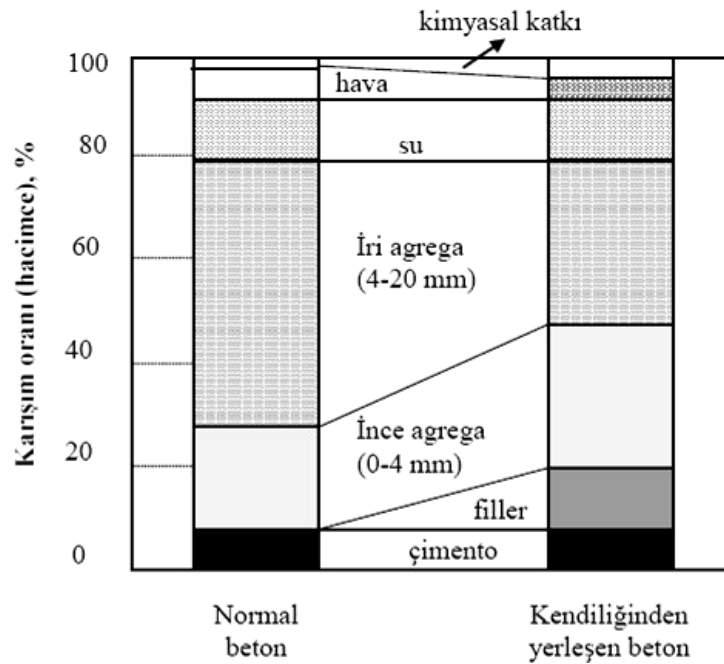
Şekil 2.1. Beton bileşenlerinin reolojik özelliklere etkisi

KYB kendi ağırlığı altında ve vibrasyon gerektirmeden kalıplara boşluksuz bir şekilde doldurulabilmesi için yüksek akıcılığa sahip olması gerekir. Betona akıcılık özelliğini süper akışkanlaştırıcı sağlamaktadır. Ancak yüksek akıcılığı sağlarken ayrışmaya izin verilmemelidir.

KYB'nin sadece doldurma özelliğine (doldurma yeteneği) sahip olması yetmemekte aynı zamanda yoğun donatılar arasından kolayca geçebilir özellikte (geçiş yeteneği) olması ve tüm taşıma ve uygulama aşamalarında homojenliğini koruması (ayrışma direnci) da aranmalıdır [8].

2.3. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kullanılan Malzemeler

KYB'nin birleşimi, etkin bir süper akışkanlaştırıcı yanında toplam ince malzeme miktarı, viskozite artırıcı katkı, su/bağlayıcı oranı, en büyük agrega boyutu, kum-toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi parametreler açısından geleneksel betondan farklılıklar gösterir. KYB'nin bileşenler açısından normal betondan en büyük farkı, 0.125 mm elek altındaki ince malzemedir. Bu ince malzemeler genel olarak betonda kullanımı kanıtlanmış olan silis dumanı, uçucu kül, taş tozu, tuğla tozu ve mermer tozu gibi atık malzemelerdir [9,10]. Bunun yanında, KYB'deki iri agrega miktarı da normal betondakine göre daha az olup iri agreganın yerini genellikle ince agregalar almaktadır (Şekil 2.2.).



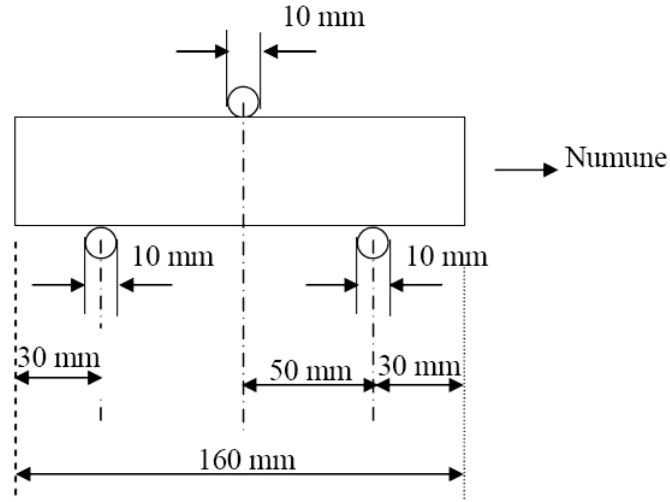
Şekil 2.2. Normal betonla KYB'nin karşılaştırılması [1].

2.3.1. Çimento Seçimi

Geleneksel betonda kullanılan çimentolar KYB’de de kullanılmaktadır. KYB ile ilgili literatürde CEM I 42,5 tipi çimento öngörülmektedir [1].

Ayrıca çimento tipi açısından dayanım ve dayanıklılık kriterleri dikkate alınarak seçim yapılmalıdır. Özellikle çimentonun C_3A oranı % 10’un üzerindeyse, kullanılmaması EFNARC Komitesi (2002) tarafından tavsiye edilmektedir [6]. Yüksek C_3A oranı, hızlı etrenjit oluşumu ve hidrasyon ısı artışından kaynaklanan su buharlaşması nedenleriyle işlenebilirlik kaybına sebep olacağından, taşıma ve yerleştirme sırasında betonun kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerini hızla kaybetmesine sebep olur. Kimyasal etkiler, özellikle sülfat saldırısı açısından da C_3A ’sı fazla çimento kullanmak sakıncalıdır [6]. C_3A ’sı düşük çimentolar kullanarak akışkanlaştırıcıdan alınacak verim artırılabilir. Ancak diğer yandan C_3A oranı yüksek çimento kullanımının az da olsa erken dayanımı artırıcı etki gösterdiği de unutulmamalıdır. Çimento miktarı arttıkça plastik viskozite ve eşik kayma gerilmesi artacağından yüksek çimento dozajlarında akışkanlaştırıcı katkı ihtiyacı artar [1]. Ayrıca çevreyi korumak ve endüstri atıklarını değerlendirmek açısından da mümkün olan en düşük çimento dozajı yanında en fazla miktarda taş tozu, silis dumanı, yüksek fırın cürufu vb. toz malzemeyi kullanmak gerekmektedir.

Üretilen çimentolar kullanılmadan önce istenilen özelliklere sahip olup olmadıklarının araştırılması gerekir. Ülkemizde çimento ve harç deneyleri TS EN 196-1 (2002)’e göre yapılmaktadır [11]. Çimento üzerinde yapılacak deneyler fiziksel, kimyasal ve mekanik deneylerdir. Çimento basınç ve eğilme dayanımlarının belirlenmesi için malzeme üzerinde mekanik deneyler yapılmaktadır. 40×40×160 mm’lik hazırlanan üç prizmatik numune önce eğilme deneyine tabi tutulur. Eğilme deneyi için kullanılan cihaz, birbirinden uzaklığı $(100 \pm 0,5)$ mm olan, $(10 \pm 0,5)$ mm çapında iki adet çelik mesnet silindiri ile her ikisi arasına merkezi olarak yerleştirilen, aynı çaptaki bir üçüncü çelik yükleme silindirin oluşturduğu eğilme düzeneğinden ibarettir. Düzenek Şekil 2.3.’te verilmiştir.



Şekil 2.3. Eğilme dayanımı yükleme düzeneği

Eğilme dayanımı R_f aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times I}{b^3} \quad (2.1)$$

Burada;

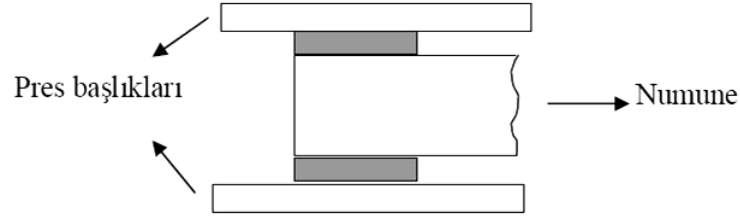
R_f : Eğilme dayanımı (N/mm^2)

b : Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu (mm)

F_f : Prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanan kuvvet (Newton)

I : Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık (mm)

Üç numune için bulunan sonuçların ortalaması alınarak eğilme dayanımı hesaplanır. İki parçaya bölünmüş olan yarım prizmalar basınç dayanımı deneyine tabi tutulur. Yarım prizmalar 40×40 mm'lik metal kırma başlığı ile kırma presinde kırılır. Kırma başlıkları arasındaki yarım prizma, 40 mm'lik bir küp numune görevi görmektedir. Yükleme düzeneği Şekil 2.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Basınç dayanımı yükleme düzeneği

Basınç dayanımı R_c , aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$R_c = \frac{F_c}{A} \quad (2.2)$$

Burada;

R_c : Basınç dayanımı (N/mm^2)

F_c : Kırılmadaki en büyük yük (N)

A : Kesit alanı (1600 mm^2)

2.3.2. Agregat Seçimi

Geleneksel betonda kullanılan ince ve iri agregalar KYB’de de kullanılabilir. Ancak en büyük agregat boyutu geleneksel betondakinden daha küçüktür ve genellikle 20 mm’nin altındadır. Tane boyutları uygulama yapılacak yere göre değişmektedir. Ayrıca geleneksel betondan farklı olarak kum oranı artmış, buna karşılık iri agregat miktarı azalmıştır. KYB’de kullanılacak agregaların özellikleri, agregat standartlarına (TS EN 12620) uygun olmalıdır. Agregat içinde bulunan ve tane boyutu 0,125 mm’nin altında olan malzemeler tasarımda ince malzeme miktarına katılmalıdır [12].

KYB’de kullanılacak agregat gradasyonu mümkün olduğunca ince seçilmelidir. EFNARC Komitesi’ ne göre, kesikli gradasyon iç sürtünmeyi azaltıp, akışı kolaylaştırdığından sürekli gradasyona tercih edilmelidir [2].

2.3.3. Mineral Katkılar

KYB'nin taze haldeki şartları nedeniyle, puzolanik olmayan ve puzolanik / hidrolik mineral katkıları ayrışma ve kohezyon direnci sağlamak ve arttırmak için yaygın olarak kullanılır. Bu ilave mineral katkı hidrasyon ısısını ve termal büzülmesini azaltmak için çimento miktarını da düzenler. Mineral katkıları suyla reaksiyon kapasitelerine göre sınıflandırılır (Tablo 2.1.) [13].

Tablo 2.1. Mineral katkıların suyla reaksiyonlarına göre sınıflandırılması

Tip I	Puzolanik olmayan ya da yarı puzolanik	• Mineral filler (kireç taşı, dolomit vs) • Pigmentler
Tip II	Puzolanik	• Uçucu kül • Silis dumanı
	Hidrolik	• Yüksek fırın cürufu

2.3.4. Mineral Dolgu Malzemeleri

Mineral dolgu malzemelerinin tane büyüklüğü dağılımı, şekli ve su emmesi KYB'nin üretiminde su ihtiyacı/hassasiyetini ve sonuçta kullanım için uygunluğunu etkileyebilir. Kalsiyum karbonat bazlı mineral dolgu malzemeleri yaygın olarak kullanılan, mükemmel reoloji özellikleri veren ve iyi bir yüzey bitişi sağlayan malzemelerdir. Bu malzemelerde kullanılan uygun tane boyutu 0,125 mm'den küçük olan kısımdır ve genelde bunların %70'in üzerinde 0,063 mm elekten geçmesi istenir [13].

2.3.4.1. Uçucu Kül

Uçucu külün KYB'nin kohezyonunu arttıran ve su miktarı değişikliğine hassasiyetini azaltmaya etkisi olan bir katkıdır. Ancak yüksek miktardaki uçucu kül akışa karşı dirençli çok kohezif bir hamur oranı oluşturabilir [13].

TS EN 450 [14]'ye göre uçucu küller, pulverize kömürün yakılmasından elde edilen, puzolanik özelliklere sahip olan ve esas olarak SiO_2 ve Al_2O_3 'den meydana gelen, reaktif SiO_2 muhtevası kütleye en az %25 olan, başlıca küresel ve camsı taneciklerin ince

tozudur. Yine TS EN 450'ye göre uçucu kül, pulverize edilmiş antrasit, linyit ve bitümlü kömürün yakıldığı fırınların baca gazlarındaki toz benzeri taneciklerin elektrostatik veya mekanik çöktürülmesiyle elde edilir [14]. Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup bunların miktarı uçucu külün tipini belirlemektedir. Uçucu küller ASTM C 618 standardına göre F ve C sınıflarına ayrılırlar. F sınıfı küller bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küllerdir. Aynı zamanda bu küllerde CaO miktarı %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller ise linyit veya yarı bitümlü kömürlerden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı %50'den fazla olan küllerdir. C sınıfı uçucu küllerde CaO yüzdesi %10'dan fazla olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak adlandırılır [15]. Uçucu külün özgül ağırlığı 1,97 ile 3,02 gr/cm^3 arasında değişmekle birlikte beton teknolojisinde kullanılan uçucu küllerin özgül ağırlıkları 2,2 ile 2,8 gr/cm^3 arasındadır. Özgül ağırlığı etkileyen faktörler uçucu küldeki demirli bileşen ve karbon miktarlarıdır. Demirli bileşen miktarları fazla olan uçucu küllerin özgül ağırlığı daha yüksektir. Karbon miktarı fazla olan uçucu küllerin özgül ağırlığı daha düşüktür [16].

Tablo 2.2. ASTM C 618'e göre uçucu kül sınıfları [17].

Sınıf	Tanım
F	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \%70$; antrasit veya bitümlü kömürlerden (taş kömürlerden) elde edilmekte; sadece puzolanik özelliğe sahip
C	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \%70$; linyit veya düşük bitümlü kömürlerden elde edilmekte; CaO muhtevası %10'dan fazla olduğundan puzolanik özelliğin yanısıra kendiliğinden de bir miktar bağlayıcı özelliğe sahip

Uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları, yanan kömürün tipine ve yanma işlemine göre değişiklik gösterir. Tablo 2.3.'de değişik termik santrallerden alınan F ve C sınıfı uçucu küllerin kimyasal bileşenlerinin yüzdelерinin hangi sınırlar civarında olabileceği gösterilmektedir. Tablo 2.3. uçucu külün %85'inden fazlasının SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 'den oluştuğu göstermektedir. Bu oksitlere ilaveten az miktarda MgO , SO_3 , alkali ve karbonda yer almaktadır. Bunların oranının yüksek olması istenmemektedir. Uçucu küllerde çok az miktarda nem de bulunabilmektedir. Nem miktarı fazla olan uçucu küller,

kullanıcının işini birazcık zorlaştırmaktadır. ASTM C 618'e göre uçucu kül nem miktarı %3'ten fazla olmamalıdır.

Tablo 2.3. Değişik termik santral uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları [17].

Kimyasal Özellik	F sınıfı CaO < %10	C sınıfı CaO > %10
SiO₂	43,6 - 64,4	23,1 - 50,5
Al₂O₃	19,6 - 30,1	13,3 - 21,3
Fe₂O₃	3,8 - 23,9	3,7 - 22,5
CaO	0,7 - 6,7	11,5 - 29,0
MgO	0,9 - 1,7	1,5 - 7,5
Na₂O	0 - 2,8	0,4 - 1,9
Kızdırma Kaybı	0,4 - 7,2	0,3 - 1,9

Uçucu külün beton karışımlarında kullanılması taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Bu etkiler Tablo 2.4.'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Uçucu külün beton özellikleri üzerine etkileri [17].

Olumlu Etkiler	İstenmeyen Potansiyel Etkiler
-Taze betondaki işlenmeyi artırır. -Taze betondaki terlemeyi azaltır. -Hidratasyon ısısını azaltır. -Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltır. - Sülfatlara ve diğer kimyasallara karşı dayanıklılığı artırır. -Ekonomiklik sağlar.	-Betonun prizini birazcık geciktirir; bu durum soğuk havalarda sorun olabilir. -İlk günlerdeki dayanım kazanma hızını azaltır. -Betonun daha uzun süreyle kür edilmesini gerektirir. -Betonda belirli miktarda sürüklenmiş hava elde edebilmek için daha çok miktarda hava sürükleyici katkı maddesinin kullanılmasını gerektirir.

2.3.4.1. Silis Dumanı

Silis dumanının yüksek seviyedeki inceliği ve küresel şekli iyi kohezyon ve gelişmiş ayrışma direnci sağlar. Fakat silis dumanı terlemeyi azaltma veya ortadan kaldırmada da çok etkilidir ve bu hızlı yüzey setleşme problemlerinin artmasına sebep olur [13].

Silis dumanı; silisyum metali veya ferro silisyum alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli tozdur. Fırınların düşük sıcaklıktaki üst bölümlerinde SiO gazı hava ile temas ederek hızla okside olur ve amorf SiO₂ olarak yoğunlaşarak silis dumanı bileşiminin hemen hemen tamamını oluşturur. Bu malzeme silis tozu, mikrosilis ve silika fume gibi isimlerle de anılmaktadır. Silis dumanı amorf yapıya sahip olduğundan ve yüksek miktarda SiO₂ içerdiğinden, mükemmel bir pozolanik malzemedir [18].

Silis dumanı genellikle camsı, düzgün yüzeyli küresel taneciklerden oluşur. Çok ince taneli ve hafif olduğundan özgül yüzey bazında inceliği blaine metoduyla tayin edilememektedir. Çok ince taneli cisimlerde özgül yüzey Azot Adsorpsiyon metodu ile tayin edilir. Silis dumanı tane boyu 1µ'dan küçük olup ortalama 0,1 µ civarındadır. Silis dumanının inceliği çimentodan ortalama 100 kere daha incedir [18]. İnceliğin aşırı olması nedeniyle silis dumanının su ihtiyacı oldukça fazladır. Bu su ihtiyacı, uçucu kül ve doğal pozolanlar için verilen üst sınırların çok üzerindedir. Tablo 2.5.'de bu sınırlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 2.5. Silis dumanı pozolanik aktivite ve su ihtiyacının uçucu kül ve doğal pozolan ile karşılaştırılması[17].

	ASTM C 618'in Sınırları			Silis dumanından elde edilen sonuçlar
	Doğal pozolan	F sınıfı uçucu kül	C sınıfı uçucu kül	
28 günlük dayanım aktivite indisi kontrolün %min	75	75	75	110
Su ihtiyacı kontrolün %max	115	105	105	134

Beton için katkı olarak kullanılan silis dumanındaki SiO₂ içeriği %85'in üzerindedir. SiO₂'den başka, çok az miktarda bazı maddeler de bulunabilmektedir. Tablo 2.6.'da ABD'de, Norveç'te ve Türkiye'de üretilen silis dumanlarının kimyasal kompozisyonları verilmiştir.

Tablo 2.6. Silis dumanının kimyasal kompozisyonları [17].

Bileşen	ABD	Norveç	Türkiye
SiO ₂	90,0 - 93,0	90,0 - 96,0	93,0 - 95,0
C	1,3 - 2,6	0,5 - 1,4	0,8 - 1,0
Al ₂ O ₃	0,5 - 1,6	0,5 - 3,0	0,4 - 1,4
Fe ₂ O ₃	0,4 - 0,7	0,2 - 0,8	0,4 - 1,0
CaO	0,5 - 0,8	0,1 - 0,5	0,6 - 1,0
MgO	0,3 - 0,5	0,5 - 1,5	1,0 - 1,5
Na ₂ O	0,1 - 0,3	0,2 - 0,7	0,1 - 0,4
K ₂ O	1,0 - 1,2	0,4 - 1,0	0,5 - 1,0
S	0,1 - 0,2	0,1 - 0,4	0,1 - 0,3
Kızdırma Kaybı	1,4 - 2,8	0,7 - 2,5	0,5 - 1,0

Silis dumanındaki SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ bileşenlerinin toplam miktarının yüksek olması, pozolanik aktivitenin de daha iyi olmasına neden olmaktadır. Magnezyum, kükürt ve alkalilerin silis dumanı içerisindeki miktarı oldukça düşüktür. Bu oksitlerin yüksek olması sertleşmiş betonda genleşmeye yol açmaktadır.

Silis dumanının beton karışımlarında kullanılması taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Bu etkiler Tablo 2.7.'te verilmiştir.

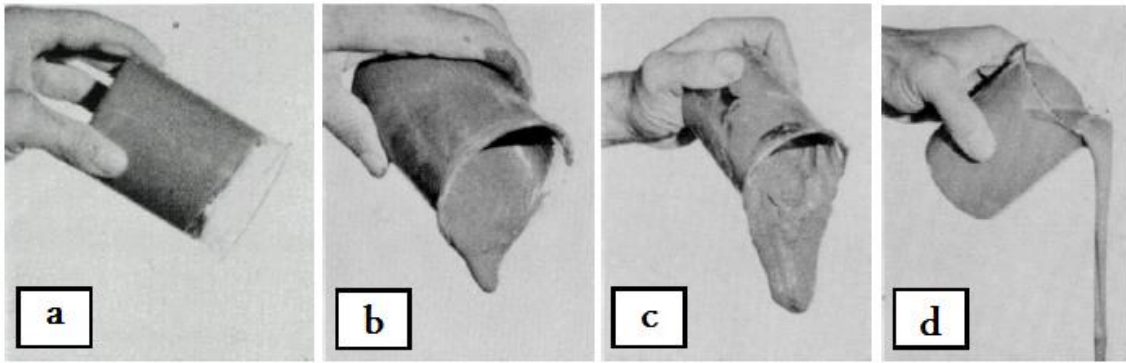
Tablo 2.7. Silis dumanın beton özellikleri üzerine etkileri [17].

Olumlu Etkiler	İstenmeyen Potansiyel Etkiler
-Basınç mukavemetini artırır. - Ayırışmayı ve terlemeyi azaltır. -Aşınma direncini artırır. -Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltır. -Alkali-agrega reaksiyonunun azaltır. -Sülfatlara ve diğer kimyasallara karşı dayanıklılığı artırır. -Hidratasyon ısını azaltır.	-Su ihtiyacını artırarak su azaltıcı katkılara ihtiyaç duyulur. -Terlemeyi azalttığından beton yüzeyinin perdahlanması zordur. -Plastik rötre ve çatlaklarına karşı çok hassastır. -Oldukça koyu renkli beton elde edilmesine neden olmaktadır.

2.3.4. Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Seçimi

Betonun kolayca şekil değiştirebilmesi için kayma eşiğinin küçük olması gerekir. Bu özelliğin su miktarını artırarak sağlanması durumunda betonun kararlılığı bozulmakta, yani ayrışma eğilimi ortaya çıkmaktadır. KYB'lerde yüksek akıcılık, üstün akışkanlaştırıcı

özelliğine sahip olan kimyasal katkılar (süper akışkanlaştırıcılar) yardımıyla sağlanır. KYB üretiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkılar polikarboksilat bazlı katkılardır. KYB üretiminde kimyasal katkı olarak naftalin sülfanat formaldehit, melamin sülfanat formaldehit polikondanseleri, vinil kopolimerler ve polikarboksilik bazlı katkılar da kullanılır [19]. Ancak polikarboksilik bazlı katkılara göre diğer katkıların kullanıldığı taze betonun su gereksiniminin göreceli olarak fazla olması, bu tip betonlar için istenilen akıcılıkta beton üretilmemesine yol açmaktadır. Bu nedenle polikarboksilik bazlı kimyasal katkılar tercih edilmelidir [20].



Şekil 2.5. Kimyasal katkı tipinin akışkanlık artırıcı etkisi

Şekil 2.5. a, b, c ve d’de görülen çimento hamuru karışımlarının tümünün S/Ç oranları eşittir. a: Sadece su ve çimento, b: Hamura %0,4 lignosülfonat ilavesi yapıldığında görülen akışkanlık, c: %0,8 melamin formaldehit bazlı katkı ilavesiyle görülen akışkanlık, d: %0,8 polikarboksilat bazlı katkı ilavesiyle görülen akışkanlık fotoğraflanmıştır [1].

KYB üretiminde yüksek oranda su azaltma yeteneği olan yeni nesil katkılar tercih edilmelidir. % 20’den fazla su azaltan katkıların kullanılması EFNARC Komitesi (2002) tarafından tavsiye edilmektedir [6].

KYB tasarımında akışkanlaştırıcılardan beklenenler üç grupta toplanabilir [21]:

1. Su kesmede ve akışkanlık sağlamada etkinlik.
2. Diğer kimyasal katkılarla uyumluluk, priz ayarlayıcı özellikleri sağlama.
3. İşlenebilirlik ihtiyacını sağlama (İstenen sürede akışkanlığını koruma).

2.3.6. Viskozite Arttırıcı Kimyasal Katkı (VAK) Seçimi

Durgun halde taze beton içerisinde KYB 'yi oluşturan malzemelerden, yoğunluğu büyük olanlar çökmeye, küçük olanlar da karışım içerisinde yükselmeye başlar. Yani taze betonda su ve iri agrega hareket halindedir. Hamur stabilitesinin korunması için viskozite arttırıcı katkı kullanılması gerekebilir. Bu katkı homojenliği arttırmaya yardım ederken segregasyon eğilimini azaltır [2].

2.3.7. Karışım Suyu

EFNARC'ın karışım suyu için önerdiği standart TS EN1008'dir [22]. Betonda kullanılabilecek en iyi karışım suyu içme suyu olup kullanılacak karışım suyunda klor, sülfat, alkali içeriği, toplam katı madde miktarı ve pH düzeyi sınırlandırılmıştır. Karışım suyunda [23]:

1. $pH \geq 7$ olmalıdır.
2. Sülfatlar en fazla 200mg/lit (sülfat konsantrasyonu % 2'yi geçmemeli) ve alkali-silika reaksiyonuna karşı önlem alınmadıkça alkali miktarı 1500mg/lit'yi geçmemelidir.
3. Şeker, fosfat, kurşun ve çinko miktarı 100, nitrat miktarı 500mg/lit ile sınırlandırılmıştır. Bunların varlığında priz süresine etkileri belirlenmelidir.
4. Klorür içeriği donatılı betonlarda 1000 ve donatısız betonlarda 4500mg/lit ile sınırlandırılmıştır.
5. Organik madde miktarı, NaOH eklendiğinde ortaya çıkan renk ile tayin edilir. Belirlenen renk sarıya dönük kahverengi veya daha açık olmalıdır.
6. Askıdaki madde miktarı (kil gibi) 4ml'den az olmalıdır.

2.4. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Karışım Tasarımı

KYB tasarım yöntemleri genellikle hamur ve harç üzerinde ön çalışma gerektirmektedir. Bunun en önemli nedeni KYB'nin hamur fazının geleneksel betona göre daha fazla olması ve betonun karakteristik özelliklerinin oluşumunda önemli rol oynamasıdır. KYB'de en çok kullanılan karışım yöntemi Okamura (2003) tarafından

geliştirilmiştir [24]. Buna göre KYB için karışım tasarımı aşağıdaki adımlarla daha homojen bir şekilde yapılabilir:

- a. KYB’de istenen hava miktarının seçilmesi
- b. İri agregata hacminin belirlenmesi
- c. Kum içeriğinin belirlenmesi
- d. Pasta bileşenlerinin belirlenmesi
- e. Harçtaki optimum su/toz oranı ve kimyasal katkı miktarının belirlenmesi
- f. Standart test yöntemleriyle beton özelliklerinin belirlenmesi

KYB’de hava miktarı olarak % 2 oranında olması uygun görülürse de donma-çözülme etkisi altında olan betonlar için hava miktarı daha yüksek oranlar seçilebilir.

Agregata hacmi birim hacim ağırlık yöntemiyle belirlenir. Genellikle iri agregata hacmi toplam agregata hacminin (> 4 mm) % 50 ile % 60 oranları arasında seçilmelidir. Genellikle 0,125 mm ile 4 mm arası parçacık boyutu aralığındaki agregataya ince agregata veya kum denilmektedir. KYB harcı içerisinde kum içeriği % 40 ile % 50 arasında olmalıdır. Kum miktarları toplam agregata hacminin % 50’sinden fazla olmalıdır. Aksi takdirde taze KYB’nin su gereksinimi ve bağlayıcı içeriği artacaktır.

2.5. Kendiliğinden Yerleşen Betonda Deney Yöntemleri

Taze halde iken KYB’nin doldurma yeteneği ve stabilitesi, dört karakteristik unsurla tanımlanabilir. Her karakteristik unsur da bir veya daha fazla test metoduyla belirlenebilir [2].

- Doldurma yeteneği: Betonun kendi ağırlığı ile kalıptaki bütün boşluklara akabilme yeteneğidir [25].
- Ayırışma direnci: Karıştırma, taşıma ve döküm işlemleri sırasında betonun homojenliğini koruyarak ince taneli askıda madde (süspansiyon) olarak kalabilme yeteneğidir. L-kutusu bu özelliği ölçmek için de kullanılabilir [25].
- Engellerin arasından geçme yeteneği: Betonun, kalıpta sık donatılar vb. dar kesitlerin oluşturduğu engeller arasından, agregata tanelerinin tıkanma yapmaksızın geçebilme yeteneğidir. Bu özellik, V hunisi, U ve L şekilli deney aletleri kullanılarak ölçülebilir [25].
- Viskozite ve kayma eşiği: bu gibi reolojik özellikler Bingham modeli kullanılarak çimento hamuru, harç ve betonda viskozimetre aleti ile ölçülebilir.

Bu yöntemde farklı dönme hızlarında (γ) oluşan kayma dirençleri (τ) dönme momentleriyle ölçülmekte ve kayma direnci ile dönme hızı arasında elde edilen doğrusal ilişkiden kayma eşiği (τ_0) ve viskozite (η) parametreleri hesaplanmaktadır (Denklem 2.3) [25].

$$\tau = \tau_0 + \eta \times \gamma \quad (2.3)$$

EFNARC (2005)'de, KYB'nin taze özelliklerini ölçmek amacıyla önerilen bütün deney yöntemlerinin listesi aşağıda verilmiştir (Tablo 2.8.) [2].

Tablo 2.8. KYB deney metotları ve ölçtükleri değerler

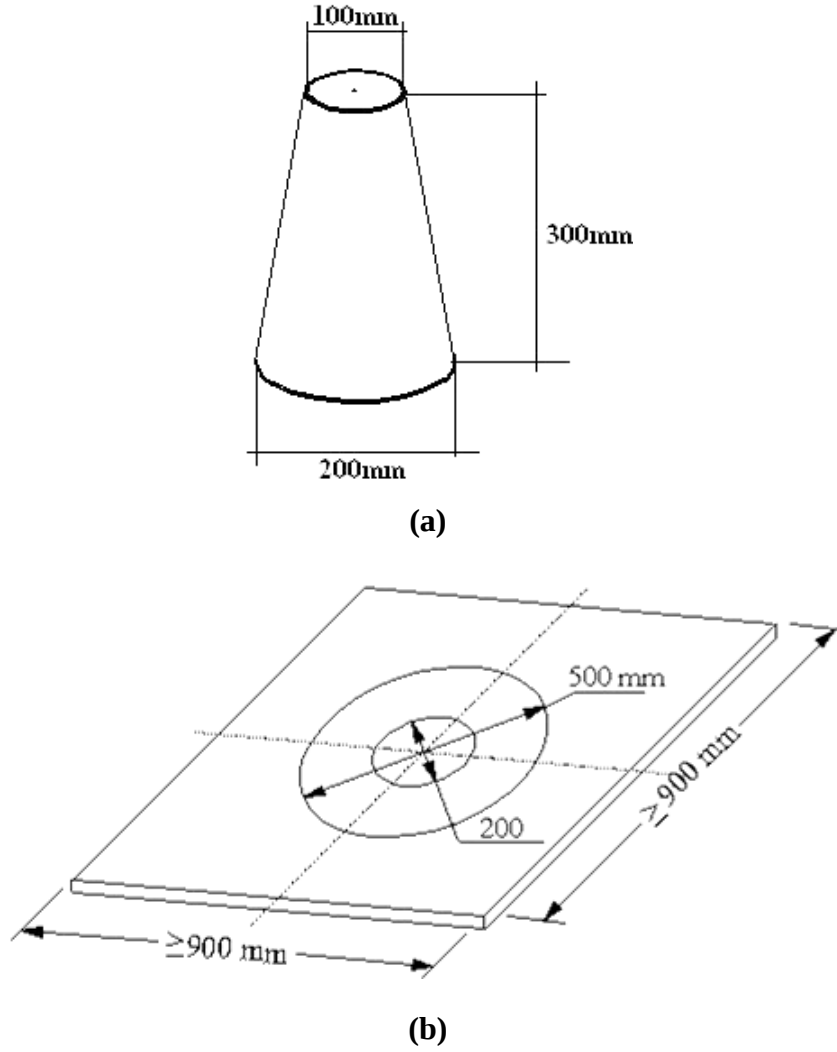
Karakteristik	Test Metodu	Ölçülen Değer
Doldurma yeteneği	Çökme-yayılma	Toplam yayılım
	Kajima kutusu	Görsel doldurma
Viskozite/yayılma	T ₅₀₀	Akma zamanı
	V-hunisi	Akma zamanı
	O-funnel	Akma zamanı
	Orimet	Akma zamanı
Geçiş yeteneği	L-kutusu	Geçiş oranı
	U-kutusu	Yükseklik farkı
	J-halkası	Yükseklik adımı, toplam akma
	Kajima kutusu	Görsel geçiş yeteneği
Ayrışma direnci	Penetrasyon	Derinlik
	Elek Ayrışma	Ayrışma Oranı
	Kolona Yerleştirme	Ayrışma oranı

Aşağıda bu deneylerden en çok kullanılanlar açıklanacaktır.

2.5.1. Çökme-Yayılma ve T₅₀₀ Deneyi

Çökme-yayılma deneyi, taze haldeki KYB'nin, yayılma yeteneğini ve yayılım oranını belirler. Sonuçlar KYB'nin doldurma yeteneğiyle ilgili bilgi verir. T₅₀₀ deneyi ise akma hızını ölçer ve taze harcın viskozitesiyle ilgili bilgi verir. Bu testlerin kullanımı

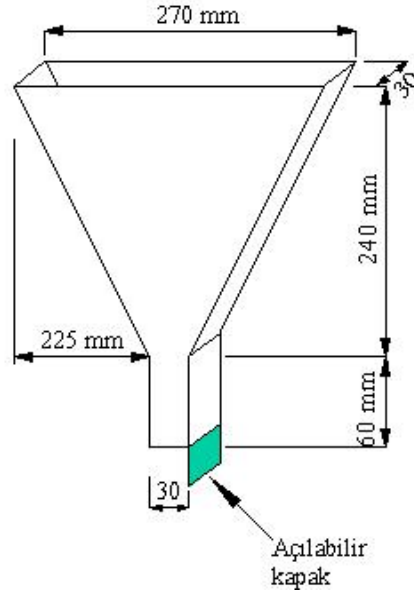
maksimum agrega çapı 40 mm'yi geçtiğinde uygun değildir [2]. Şekil 2.6.'da çökme-yayılma deneyinde kullanılan aparatlar görülmektedir. Kendiliğinden yerleşen harçlar (KYH) için ise mini çökme-yayılma hunisi kullanılır.



Şekil 2.6. (a) Yayılma deneyi hunisi; (b) Yayılma tablasının boyutları

Betonun kendiliğinden yayılma özelliğini yani “doldurma kabiliyetini” ölçmek için yapılır. Yayılma tablası üzerine konulan slump hunisi içerisine, şişleme yapılmadan beton doldurulduktan sonra, slump hunisi yukarıya çekilerek herhangi bir sarsma yapmadan betonun, kendi ağırlığı ile yayılması beklenir. İki farklı noktalardan yayılma çapı ölçülerek kaydedilir ve deney tamamlanır. Bu çaplar arasındaki fark 5 cm'den fazla ise deney tekrarlanmalıdır [26]. Yayılma çapının 500mm'ye ulaştığı an T_{500} anıdır.

2.5.2. V-Hunisi Deneyi



Şekil 2.7. KYB için V-hunisi

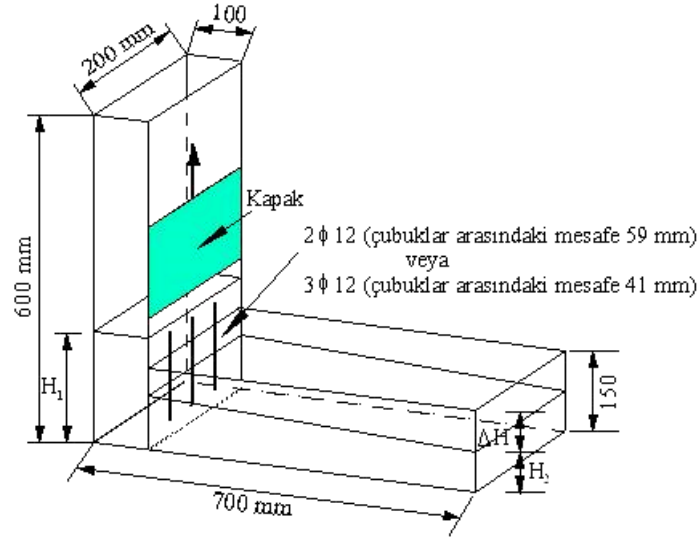
Viskoziteyi ve doldurma yeteneğini ölçmek için kullanılır. Bu deney, betonun huni içerisinden aktığı sürenin belirlenmesi ile yapılır (Şekil 2.7.). Deneyin yapılışı sırasında beton akıyorsa yani tıkanma varsa, bunun iki nedeni olabilir; eşik kayma gerilmesi betonun ağırlığının yarattığı gerilmeden büyüktür. Bir başka tıkanma sebebi de betonun yeterli stabiliteye sahip olmaması durumunda ortaya çıkan ayrışma ile agrega tanelerinin çıkış ağzında birikerek kenetlenme yarattığı tıkanmadır. Bu yüzden V hunisi deneyi ayrışma ile ilgili gözlemsel sonuçlar elde edilebilecek bir deneydir [27].

2.5.3. L-Kutusu Deneyi

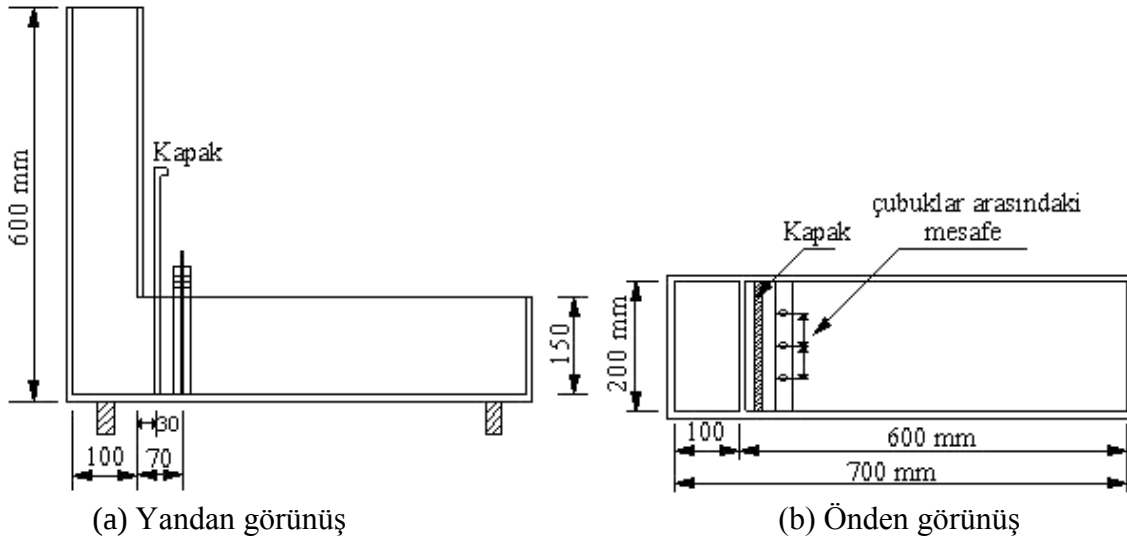
Betonun kalıpta donatılar arasından veya dar kesitlerden geçmede etkili olup olmayacağını belirleyen, bir başka deyişle betonun geçiş yeteneğini ölçen deneydir (Şekil 2.8.).

Yatay ve düşey prizmalar arasındaki geçiş kesitinde belirli aralıklarda düşey çelik çubuklar mevcuttur. Düşey kısım hareketli bir ayırıcı yardımıyla kapatılmışken taze betonla doldurulur. Ayırıcı kaldırılır ve beton, donatılar arasından geçerek yatay prizmayı doldurmaya başlar. Hareket durduğunda donatıların başında ve yatay kalıp ucundaki beton yükseklikleri ölçülür. Bu yükseklikler arası oran ($PA=H_2/H_1$) hesaplanır. Bu değer L-

kutusu oranı (bloklanma oranı) olarak adlandırılır. L-kutusu oranı su gibi çok akışkan bir malzemede 1'e eşit olur [1].



Şekil 2.8. L-kutusu genel görünümü



Şekil 2.9. Tipik L-kutusunun boyutları

2.5.4. J-Halkası Deneyi

Aparat 30 cm çaplı halkaya sabit aralıkta dikey çelik çubuklar bağlanmasıyla yapılmıştır. Bu çubuklar donatıları temsil etmektedir. Çubuklar arası açıklık, kullanılacak betonun maksimum agrega çapının 3 katından az olmamalıdır. Akma sonrası merkez ve

halkanın hemen dışındaki beton yükseklikleri ölçülür ve bu yükseklik farkına göre geçiş yeteneği belirlenir [27].

2.5.5. Elek Ayırışma Direnci Testi

KYB'nin ayırışmaya karşı direncini belirlemek amacıyla yapılır. Elek ayırışma direnci deneyi, KYB'nin ayırışmaya karşı direncini belirlemek için yapılır. Numune haznesine ($10 \pm 0,5$) litre beton yerleştirilir ve kapağı kapatılır. Düz bir pozisyonda ($15 \pm 0,5$) dakika sarsılmadan kalması sağlanır. Terazı sıfırlanır ve ibrenin hareket etmediği görülür. Eleğin üzerine yerleştirileceği kova teraziye yerleştirilir ve kütlesi (W_p) gram olarak kaydedilir. Sonra elek bu kova üzerine yerleştirilir ve tekrar kütle kaydedilir. Elek 5 mm kare delikli, 300 mm çapında ve 40 mm yüksekliğinde standarda uygun bir elek olmalıdır. 15 dakikalık periyodun sonunda numune haznesinin kapağı açılır ve betonun yüzeyi üzerinde su sızıntısı olup olmadığı kontrol edilir. Elek ve yerleştirildiği kova terazinin üstünde olduğu halde, elekten numune haznesinin arasında (500 ± 50) mm mesafe kalacak şekilde ($4,8 \pm 0,2$) kg'lık beton -herhangi sızan su da içerecek şekilde- aniden eleğin ortasına dökülür. Betonun elekte (120 ± 5) s kalması sağlanır ve bu sürenin sonunda elek sarsılmadan kaldırılır. Eleğin üzerinde kalan mevcut beton kütlesi (W_c) gram olarak kaydedilir. Eleğin altındaki kova, içindeki betonla birlikte tartılır ve (W_{ps}) gram olarak kaydedilir. Terazı, elek ve üstüne oturduğu kovayı alabilen, düz bir platforma sahip ve 20 gram hassasiyetli, en az 10 kg kapasiteli bir terazı olmalıdır. Bundan sonra ayırışma oranı (SR), elekten geçen numune oranı olarak aşağıdaki denklemden hesaplanır ve %1 hassasiyetle kaydedilir [26].

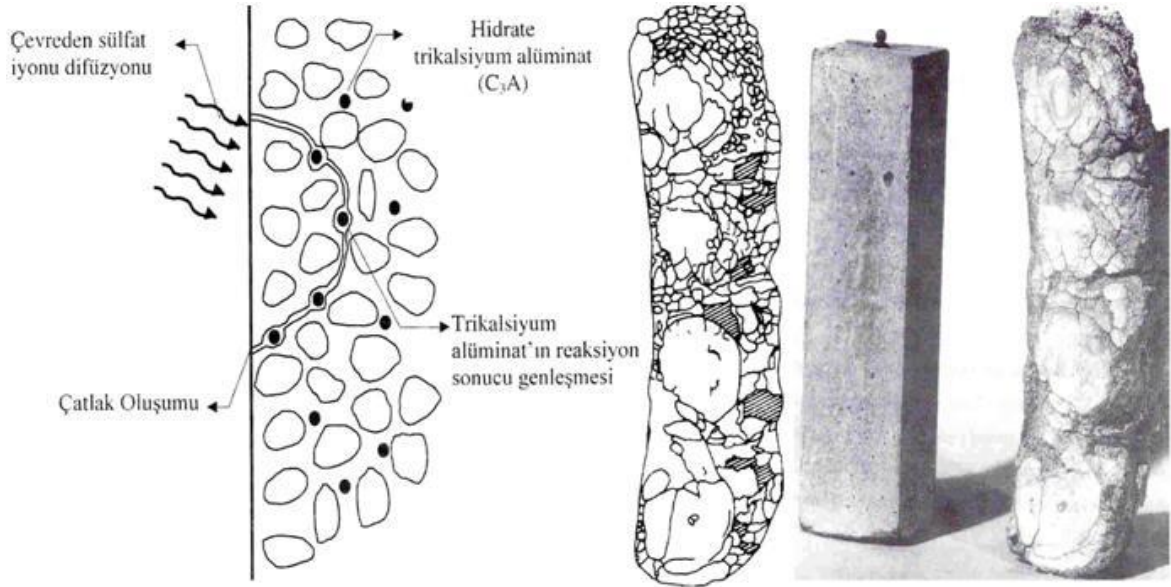
$$SR = \frac{W_{ps} - W_p}{W_c} \times 100(\%) \quad (2.4)$$

3. BETONDA SÜLFAT ETKİSİ

Yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini uzun yıllar boyu bozulmadan yerine getirebilmelerine dayanıklılık, kalıcılık veya durabilite adı verilir. Değişik türdeki yapılarda kullanılmakta olan beton, hizmet süresi boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok kimyasal ve fiziksel etkenle karşılaşmaktadır. Betonun içerisine sızan su, karbondioksit, oksijen, sülfat, asit ve klorür gibi maddeler, betonda değişik türlerdeki kimyasal olayların oluşmasına neden olmaktadır. Donma-çözülme, ısınma-soğuma gibi olaylar betonun yıpranmasına yol açacak nitelikteki fiziksel olaylardır.

3.1. Sülfat etkisi

Betondaki bozulma mekanizmalarından biri olan sülfat etkisi, fiziksel ve kimyasal olarak oluşan reaksiyonlar sonucu meydana gelip betonun servis ömrünü azaltan bir etkidir.[18] Betonda biriken sülfat tuzlarının kristalleşmesi sonucu fiziksel, sülfat iyonlarının çimento hidratasyon ürünleriyle reaksiyonu ile de kimyasal bozulmalar meydana gelir. Betonda kimyasal ve fiziksel bozulmalara neden olan sülfat, kaynağına göre de iç kaynaklı ve dış kaynaklı olarak iki gruba ayrılır [28].



Şekil 3.1. Sülfat etkisiyle betonun bozulması

3.1.1. İç Kaynaklı Sülfat Etkisi

Beton üretiminde kullanılan çimento, agrega, su ve katkılardan gelen sülfat iyonlarının betonun sertleşmesinden sonra uygun ortam şartlarında yeni ürünler oluşturmasıyla gelişen olaya iç kaynaklı sülfat etkisi denilmektedir. İç kaynaklı sülfat etkisinde betona dış ortamdaki sülfat gelmemektedir. İç kaynaklı sülfat etkisiyle beton bünyesinde mevcut sülfat iyonu sertleşmiş betonda etrenjit kristalleri oluşturmaktadır. Oluşan kristaller betonda hacim artışı meydana getirebilmektedir. Sertleşmiş betondaki hacim artışının meydana getirdiği iç basınç betonun çatlamasına sebep olmaktadır. Bu durum betonun servis ömrünü kısaltmaktadır [30].

3.1.2. Dış Kaynaklı Sülfat Etkisi

Betonda dış kaynaklı sülfat atığına neden olan başlıca kaynaklar yeraltı suyu, deniz suyu ve sülfatlı zeminlerdir. Dış kaynaklı sülfat etkisi, sertleşmiş betona dış kaynaklardan gelen sülfat iyonunun çimento hidratasyon ürünleriyle kimyasal olarak reaksiyona girmesi biçiminde tanımlanmaktadır. Bu reaksiyonlar sonucu betonda bazı yeni ürünler meydana gelir. Oluşan yeni ürünler betonda hacim artışı, kohezyon kaybı, kütle kaybı gibi oluşumlara ilaveten çatlamaya da neden olabilmektedir [31]. Dış kaynaklı sülfat etkisi kimyasal bozulma mekanizması şeklinde başlar. Bu kimyasal reaksiyonlardan çıkabilecek muhtemel bozulmalara fiziksel bozulma mekanizmaları da katkı yapar. Bu mekanizmaların birlikte etkimesi sonucu beton yapı elemanlarının servis ömrü önemli derecede kısılır.

Dış ortamda mevcut sülfat, çimento hidratasyon ürünleriyle kimyasal reaksiyona girerek ortam şartlarına göre alçıtaşı, etrenjit ve tomasit oluşturmaktadır. Oluşan bu ürünler sabit kalmayarak sürekli değişimler gösterirler [33]. Dış çevreden kaynaklanan bu üç ürün aşağıdaki şekilde verilebilir.

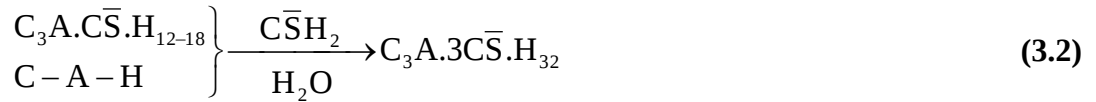
1- Sülfat etkisi sonucu CH ve C-S-H' da alçı oluşumu



Alçıtaşı; betonda hacim artışına sebep olur. Bu hacim artışı betonda çatlaklara ve parçalanmalara sebep olabilir. Ancak bunun daha önemli etkisi dayanım kaybı ve

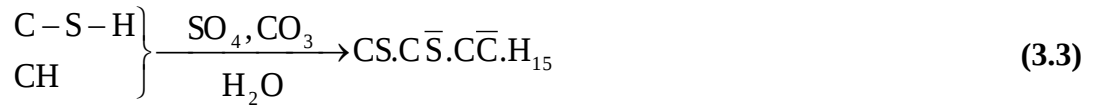
çimentoda meydana gelen adezyon kaybıdır. Çimento hamurunun bağlayıcılık özelliğinden sorumlu C-S-H jelinden kalsiyumun ayrılması adezyon kaybına sebebiyet vermektedir [33]. Alçıtaşı betonda sülfat etkisi sonucu ilk yüzeye yakın kısımlarda özellikle de çatlak ve boşluklarda oluşur [32].

2- Sülfat etkisi sonucu kalsiyum alümin hidratla (C-A-H) ve monosülfat hidratla ($C_3A.CS.H_{12-18}$) etrenjit oluşumu



Bu reaksiyon sonucu oluşan etrenjit hacim artışına sebebiyet verip betonun çatlamasına neden olur [33].

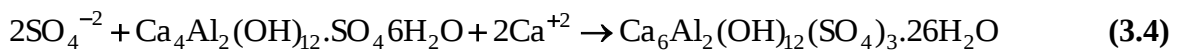
3- Karbonat iyonun bulunduğu ortamda C-S-H ve CH'ye sülfat etkisiyle tomasit oluşumu



Tomasit oluşumu hacim artışıyla beraber çok ciddi dayanım ve adezyon kaybı oluşturur [34]. C-S-H jellerinde önemli bozulmalara ve betonun yumuşamasına sebebiyet verir. Bu olaya nemli ortam ve düşük sıcaklıklarda daha çok rastlanır. Sıcaklık arttıkça tomasit oluşumu yavaşlar [35].

3.1.2.1. Sodyum Sülfat (Na_2SO_4) Etkisi

Dış kaynaktan betona giren sodyum sülfat hidratasyon ürünleriyle reaksiyona girerek betonda alçıtaşı ve etrenjit oluşturur. Na_2SO_4 'ın su tarafından betona taşınarak betonun içerisine girmesiyle monosülfatlarla reaksiyona girerek yeni ürünler oluşturur.

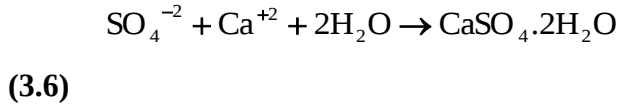


Yukarıda reaksiyon için gerekli Ca^{+2} iyonu portlanditin çözünmesiyle sağlanmaktadır.



Betondaki portlanditin tükenmesinden sonra ortamda sülfat iyonu bitmişse (3.4) nolu reaksiyon için gerekli Ca^{+2} iyonu C-S-H'dan sağlanmaya başlar. C-S-H'dan kalsiyum iyonlarının ayrılmasına dekalsifikasyon denir. Betonda bağlayıcılık özelliği sağlayan C-S-H'da ki bu bozulma çok önemlidir. C-S-H yapısındaki CaO/SiO_2 oranındaki azalma betonun zamanla bağlayıcılık özelliğinin kaybolmasına yol açmaktadır. C-S-H'dan mevcut tüm kalsiyum iyonlarının ayrılması çok yüksek konsantrasyonlu Na_2SO_4 çözeltilerinde gerçekleşebilir [28].

Eğer SO_4^{-2} iyonu etkisiyle ortamdaki Al^{+3} iyonu tükenirse ve halen ortamda sülfat iyonu mevcutsa etrenjitten ziyade alçıtaşı oluşur. Betonun yüzey kısmında sülfat iyonları alüminat iyonlarından fazla olduğu için alçıtaşı beton yüzeyine daha yakın yerinde oluşur.



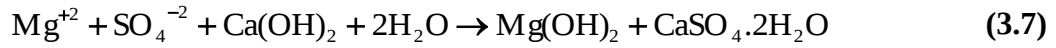
Reaksiyona giren Al^{+3} iyonu monosülfatlardan başka hidratasyon sırasında hidrate olmayan C_3A 'dan da sağlanabilmektedir. Bu olay nadir olarak gerçekleşir [28].

Yüksek miktarda Na_2SO_4 içeren suyun betona girmesinden sonra suyun buharlaşması sonucu gözeneklerde bulunan sodyum tuzları kristalleşebilmektedir. Bu oluşumlar genelde betonun yüzeyine yakın yerlerde oluşur. Sodyum tuzlarının kristalleşmesi sonucu hacim artışından kaynaklanan gerilmeler beton için zararlı olabilir.

Silis dumanı, uçucu kül ve normal çimento birlikte kullanılarak üretilen betonlar sodyum sülfat etkisine karşı daha iyi performans göstermektedir.

3.1.2.2. Magnezyum Sülfat (MgSO_4) Etkisi

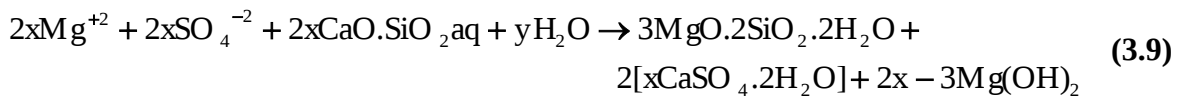
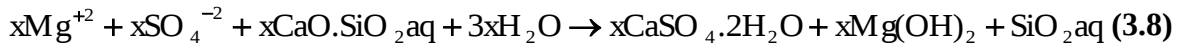
Betona giren magnezyum sülfat ilk olarak kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek brusit ve alçıtaşı oluşturur.



Bu reaksiyon sonucu oluşan brunit (Mg(OH)_2) suda çözünürlüğü az olan bir ürün olup betondaki boşlukları doldurarak geçirimsizliğin azalmasına neden olur. (3.7) nolu ifadedeki kalsiyum sülfat ise çözünebilen bir üründür. MgSO_4 atağına maruz betonda yüzeyde ve yüzeye yakın kısımda alçıtaşı tabakası oluşur. Betondaki kalsiyum hidroksitin sülfat etkisiyle tükenmesi durumunda reaksiyon için gerekli Ca^{+2} iyonu C-S-H jellerinden sağlanmaya başlanır. C-S-H jelinde dekalsifikasyonun başlaması C-S-H jellerinin amorf hidrit silikaya (SiO_2aq) veya zayıf kristal yapıya sahip magnezyum silika hidrata ($\text{M}_3\text{S}_2\text{H}_2$) ya da her iki ürüne birden dönüştürür. Bu ürünler yanında reaksiyon ilave alçıtaşı, brunit ve magnezyum silika hidrat oluşturur (Şekil 3.2.) [28].



Şekil 3.2. Yüksek oranda alçıtaşı (kalsiyum sülfat) içeren harç örneklerinin havada ve su içinde bekletilmeleri halinde 84 gün sonundaki durumları. Soldaki ağır hasarlı örnek su içinde, sağdaki örnek ise havada bekletilmiştir



(3.8) ve (3.9) nolu reaksiyonlar sonucunda C-S-H jelinin C/S oranında azalma olur. C/S oranı reaksiyonun ilk safhalarında betonun iç kısımlarında yüksek dış kısımlarında

düşüktür. MgSO_4 etkisi sürekli olarak devam etmesi durumunda C-S-H'daki Ca^{+2} iyonlarının Mg^{+2} iyonlarıyla tamamı yer değiştirerek yapıdaki C/S oranı sıfıra düşer [28].

MgSO_4 'ün betona etkisinde C-S-H'nin bozulması diğer sülfat etkilerinden daha hızlı olur. Magnezyum hidroksitin normal sıcaklıktaki çözünürlüğü yalnızca 0,01 g/lt'dir. Bu durum doygun çözeltinin pH değerinin 10,5 değerinde olmasını sağlar. Bu seviyedeki pH değeri C-S-H'nin stabilitesini sürdürmesi için çok düşüktür. Serbest kalsiyum hidroksitin tamamının tükenmesinden sonra ortamın pH değerini dengelemek için C-S-H kalsiyum hidroksit üretmeye başlar. Bu kalsiyum hidroksit ortamda magnezyum sülfat olduğu sürece üretilmeye devam eder. Böylece betonun C-S-H yapısı magnezyum silika hidrata, brusite ve alçıtaşına dönüşür. MgSO_4 'ün betona etkisi ile hidroksit iyonları yüzey kısımlara hareket ederek, çözünmeyen brusit ve sülfat iyonları da betonun iç kısımlarına hareket ederek alçıtaşı ve az miktarda da etrenjit oluşturur. Betonun dış yüzeyinde brusit ve bunun hemen altında alçıtaşı tabakası olmak üzere iki tabaka oluşur [28].

MgSO_4 etkisinde betonda kullanılan silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve doğal puzolan gibi katkı maddeleri etkili olmaktadır. Kullanılan mineral katkıları betondaki CH'i tükettiğinden betona nüfuz eden MgSO_4 doğrudan C-S-H jeli ile reaksiyona girmektedir. Bu etkileşim nedeniyle MgSO_4 etkisinde katkılı çimento ile üretilen betonlar normal çimentolu betonlardan daha kötü performans göstermektedir.

Yapılan çalışmalarda MgSO_4 konsantrasyonunun, oluşan ürünlerin miktarını etkilediği belirtilmiştir. Düşük MgSO_4 konsantrasyonunda ($<4000 \text{ ppm SO}_4^{-2}$) daha çok etrenjit oluşurken, orta MgSO_4 konsantrasyonunda ($4000-7500 \text{ ppm SO}_4^{-2}$) etrenjit ve alçıtaşı birlikte oluşmakta ve yüksek konsantrasyonda ($>7500 \text{ ppm SO}_4^{-2}$) magnezyumun neden olduğu bozulmanın etkin olduğu görülmektedir.

Tablo 3.1. TS 3340'a göre sülfat iyonlarının zararlı etkinlik dereceleri

Etkinlik Derecesi	Suda SO_4^{-2} mg/lt	Suda SO_4^{-2} mg/kg
Zayıf	200-600	2000-5000
Kuvvetli	600-3000	5000'den büyük
Çok Kuvvetli	3000'den büyük	—

3.1.2.3. Betonda Sodyum Sülfat ve Magnezyum Sülfat Etkisinin Karşılaştırılması

Magnezyum sülfat ve sodyum sülfat etkisinde betonda ortak oluşan ürünler alçıtaşı, etrenjit ve tomasittir. Bu üç ürünün de betondaki bozucu etkisi hacim artışıyla çatlak oluşması, beton yüzeyinde pullanma ve adezyon kaybıdır. Sodyum sülfat etkisinde betonda sodyum hidroksit ürünü de oluşmaktadır. Oluşan bu sodyum hidroksit hidrate olmuş çimentonun pH değerinin yükselmesine ve yaklaşık olarak 13,5 değerine ulaşmasına sebep olur. pH değerinin yükselmesi C-S-H'nın ve etrenjitin kararlılığını sağlar. Sodyum sülfatın betona etkisiyle oluşan sodyum hidroksit bozulmaları önleyici etki yapar [36]. Magnezyum sülfat atağında betonda brusit, hidrate silika (SiO_2) ve magnezyum silika jeli de oluşmaktadır. Oluşan brusit betonun yüzeyine yakın bölgede biriktiğinden ve çözünürlüğünün az olmasından betonun geçirimliliğini azaltarak sülfat etkisine karşı direncini artırmaktadır [28,36]. Magnezyum sülfat etkisinde Mg^{+2} iyonunun Ca^{+2} iyonu ile kolayca yer değiştirerek betondaki C-S-H yapısı M-S-H yapısına dönüşebilmektedir. Oluşan M-S-H betonun adezyonunu kaybettirdiği için magnezyum sülfat etkisinin sodyum sülfat etkisinden daha etkili olduğu belirtilmektedir [28].

3.1.2.4. Gecikmiş Etrenjit Oluşumu (DEF)

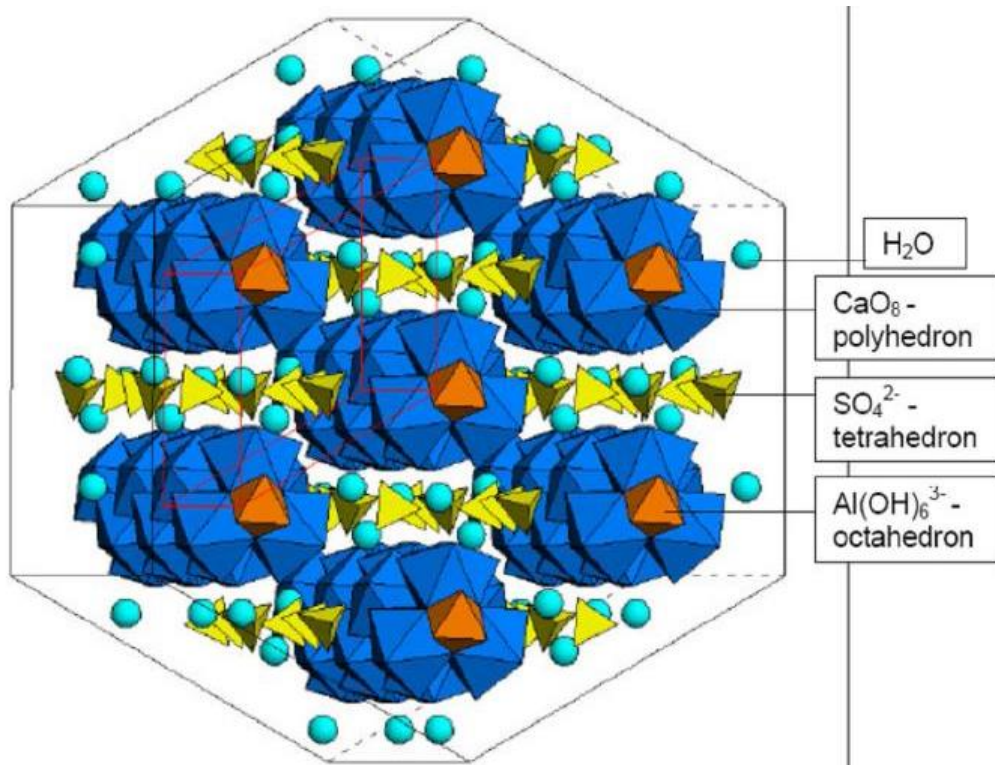
Gecikmiş etrenjit oluşumu, sülfat etkisiyle genleşen tuzun sertleşmiş betonu çatlatıp parçalaması olayıdır. Uzun müddet boyunca neme maruz kalan prefabrik elemanlarda rastlanmaktadır. Ancak, burada oluşan etrenjit, normal hidratasyon sonucu oluşan etrenjitle karıştırılmamalıdır.



Şekil 3.3. DEF görünüm

Beton taze iken, kristalleşen tuzun genişlemesine izin verecek ortam mevcuttur. Gecikmiş etrenjitin oluşum nedenlerini iki başlık altında toplamak mümkündür.

1. Prefabrik sektöründe elemanların hızlı priz alması ve dayanım kazanması için uygulanan yüksek sıcaklık (60-70°C kür sıcaklıkları bile gecikmiş etrenjite yol açabilir.)
2. Çimento bünyesinde aşırı miktarda SO_3 bulunmasıdır.
3. Gecikmiş etrenjit oluşumunu engellemek için;
 - Kullanılan çimentoda SO_3 oranının en alt düzeyde tutulması gerekmektedir.
 - Kür sıcaklığının çok yüksek olmamasına dikkat edilmelidir. (Çimentonun da düşük hidrasyon ısısı çıkaran türde seçilmesinde yarar vardır.)
 - Önemli miktarda uçucu kül gibi puzolanları içeren çimentoların kullanımına dikkat edilmeli ancak bazı puzolanik maddelerin sülfat içerebildiği unutulmamalıdır.
 - Yapının su ile teması kesilmelidir.
 - Hava sürükleyici katkı kullanımının, kristallerin genişlemesinin oluşturduğu iç gerilmeleri azaltacağı için yararlı olması beklenir [37].



Şekil 3.4. J. Naubauer'e göre etrenjit kristalinin yapısı

3.2. Sülfat Saldırısını Azaltıcı Önlemler

Sülfat saldırısını azaltabilmek için alınacak önlemler şunlardır:

1. Beton, mümkün olabildiği kadar “geçirimsiz” olarak üretilmeli. Betonda geçirimsizliğin az olması durumunda, betona girecek sülfat miktarı az olacaktır.
2. Beton üretiminde uygun türde çimento ve /veya puzolanik özellikli mineral katkı maddesi kullanılmalıdır [17].

3.3. Önceki Çalışmalar

Park vd. tarafından yapılan çalışmada, silis dumanı içeren yüksek mukavemetli betonun, sodyum sülfata karşı çok iyi dayanım gösterdiğini, ancak silis dumanı miktarı arttıkça magnezyum sülfata karşı direncin azaldığını belirtmişlerdir [38].

Aköz vd. yaptıkları çalışmada, sodyum sülfat çözeltisi 40°C’ye kadar ısıtıldığında hem silis dumanlı hem de portland çimentolu harçların erken yaştaki mekanik dayanımlarını arttırdığını belirtmişlerdir. Bu durumu şöyle özetlemişlerdir: Yüksek ısı çimentonun hidrasyonunu, puzolanik reaksiyonu ve C-S-H jellerinin oluşumunu arttırmaktadır. Dolayısıyla permeabilite azalmakta ve $\text{Ca}(\text{OH}_2)$, harçların sülfat çözeltisindeki performanslarını iyi yönde etkilemesini sağlamaktadır. Magnezyum sülfat çözeltisi 40°C’ye kadar ısıtıldığında normal portland çimentolu harçlar, yukarıdaki özellikleri aynen göstermekte fakat silis dumanı içeren harçlarda 180 gün sonunda hem fiziksel hem de mekanik özelliklerinde ciddi bir azalma olmaktadır [39].

Al-Amoudi yaptığı çalışmasında, silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve doğal puzolanların betonun sodyum sülfat etkisine karşı direncini arttırdığını belirtmiştir. Ancak bu katkıların betondaki CH’yi C-S-H yapısına çevirdiği için magnezyum sülfat etkisinde sülfat iyonunun direkt betonun C-S-H yapısıyla reaksiyona girmesini sağladığından betonun magnezyum sülfat etkisine karşı direncini azaltmaktadır [36].

Yeğınobalı çalışmasında, silis dumanı ve silissi uçucu kül katkılarını içeren harç ve betonların sülfat dirençleri ASTM C 452 ve C 1012 metotlarına ilaveten örnekleri %10’luk sodyum ve %8.4’lük magnezyum sülfat çözeltileri içinde bekleterek araştırmıştır. Çimento yerine %16 oranında katılan silis dumanı ile sodyum sülfata karşı en iyi direnç elde edildiğini belirtmiştir. Katkı maddelerinin ve özellikle silis dumanının magnezyum sülfata karşı direncini olumsuz etkilediğini belirtmiştir [40].

Yazıcı (2006) tarafından yapılan çalışmada, F sınıfı uçucu kül kullanımının sülfat dayanıklılığını arttırdığı, uçucu kül inceliği arttıkça bu etkinin daha belirgin hale geldiği belirtilmiştir. Kaba uçucu kül (Blaine değeri 1800 cm²/g) kullanımı halinde ise genleşmelerin azalmadığı aksine arttığı ifade etmiştir [41,42].

Nawy'nin çalışmasında, uçucu kül içeren betonların sülfat dirençlerini etkileyen faktörler uçucu kül içermeyen betonlar ile aynı olmaktadır. Bu betonların özelliklerinin aynı olmasının nedenin; maruz kaldığı sülfat, su/bağlayıcı oranı, kür koşulları ve permeabilite dayanımı olduğunu belirtmiştir. Genel olarak F sınıfı uçucu külün permeabilitesi daha düşük olduğu için, betonun sülfat direncini arttırdığını belirtmiştir [43].

Tikalsky vd. %25, %35 ve %45 oranlarında uçucu kül kullanarak yaptıkları çalışmada, yüksek kireçli uçucu küllerin betonda sülfata dayanıklılığı azalttığı, düşük kireçli uçucu küllerin ise betonda sülfata dayanıklılığı arttırdığı belirtmişlerdir [44].

Carrasquillo vd. tarafından yapılan çalışmada, yüksek miktarda kalsiyum oksit (CaO) ve amorf kalsiyum alüminat içeren uçucu küllerin, betonun sülfat etkisine karşı hassasiyetini arttırdığı, düşük miktarda kalsiyum içeren uçucu küllerin ise betonun sülfat dayanımını geliştirdiği belirmişlerdir [44].

Yeğinobalı çalışmasında, silis dumanı katkısının magnezyum sülfata karşı olan etkisinin genellikle olumsuz olduğunu belirtmiştir. Bu davranış oluşan puzolanik C-S-H jelinin bağlayıcı özelliği olmayan hidrate magnezyum silikat (M-S-H) jeline dönüşmesi ve koruyucu magnezyum hidroksit (MH) tabakasının azalarak bu reaksiyona yardımcı olması ile açıklamıştır. Silis dumanı katkısı normal ve sülfatlara dayanıklı çimentolarla yapılan hamurların % 4,5 SO₃ yoğunluğunda magnezyum sülfat çözeltisi içindeki davranışlarını olumsuz etkilediğini belirtmiştir. Her iki çimento ile de ağırlık ve dayanım kalıpları katkısız örnekler oranla on misline yakın arttığını bildirmiştir [40].

Ramyar vd. tarafından yapılan çalışmada, sodyum sülfata maruz çimentolarda mineral katkı (uçucu kül ve doğal puzolan) kullanımının genleşmeleri sınırlandırdığını saptamışlardır. Bu etki, yüksek oranda çimento ile mineral katkı yer değiştirdiğinde ve çimento düşük oranda C₃A ile düşük C₃S/C₂S oranına sahip olduğunda daha belirgin olduğunu bildirmişlerdir. Çimentonun kompozisyonundan bağımsız olarak, mineral katkıların etkinliği düşük sülfat konsantrasyonunda daha yüksektir ve genleşmeler kısıtlandığını belirtmişlerdir [45].

Cohen vd. çalışmalarında, portland çimentosu ve silis dumanı katkılı karışımların magnezyum sülfat ve sodyum sülfat dayanıklılığını incelemişlerdir. Silis dumanı ilavesinin

geçirgenliği azaltması durumunda, puzolanik aktivitesi nedeniyle sertleşmiş çimento hamurunun sodyum sülfat tesirine dayanıklılığını arttırdığını, magnezyum sülfat tesirine karşı ise bir değişikliğin olmadığını bildirmişlerdir [46].

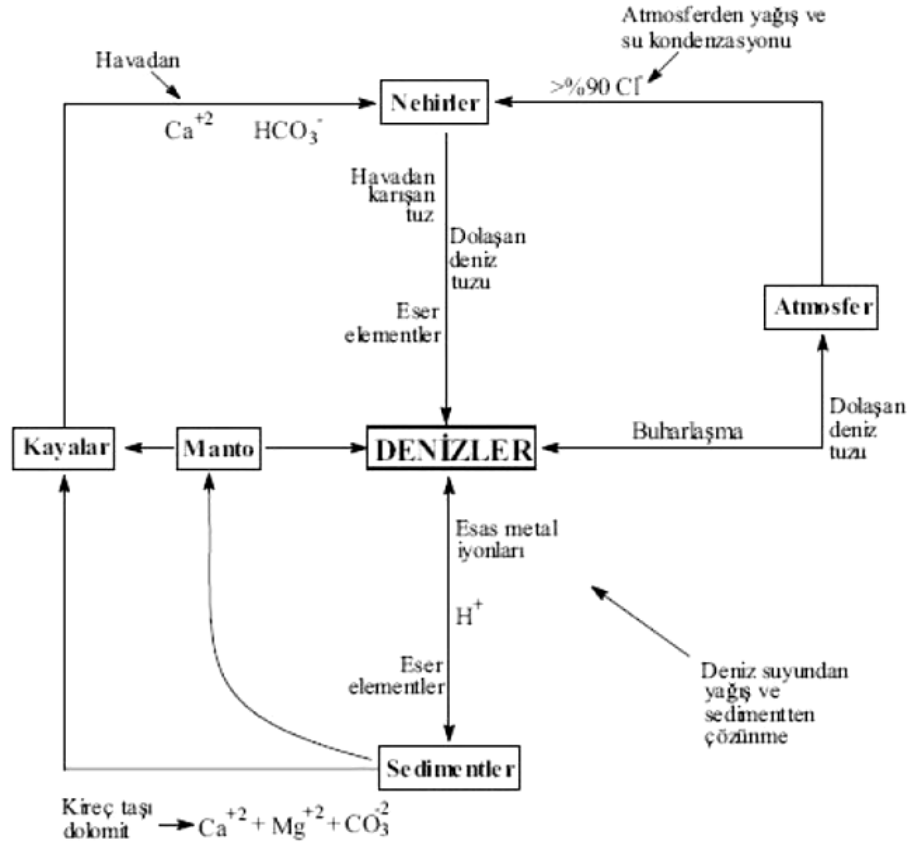
Roy vd. tarafından yapıłana çalışmada doğal olarak tahrip edici etkiye sahip ortamları sülfürik, hidrolik, nitrik, asetik ve fosforik asitlerle birlikte sodyum ve magnezyum sülfatlı karışımlarla benzerlik oluşturarak silis dumanı, metakaolin ve düşük kalsiyumlu uçucu küllerle hazırlanan harçların davranışını incelenmiştir. %1'lik hidroklorik, sülfürik ve nitrik asit çözeltilerinde silis dumanı, metakaolin ve uçucu külün bu kimyasallara karşı direnci arttırdığını fakat, %5'lik sülfürik, asetik ve fosforik asit çözeltilerine karşı daha düşük bir direnç gösterdiklerini bildirmişlerdir. Genel olarak düşük kalsiyumlu uçucu külün silis dumanı ve metakaolinden daha düşük bir direnç gösterdiğini belirtmişlerdir [47].

4. BETONDA DENİZ SUYU ETKİSİ

Yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini uzun yıllar boyu bozulmadan yerine getirebilmelerine dayanıklılık, kalıcılık veya durabilite adı verilir. Değişik türdeki yapılarda kullanılmakta olan beton, hizmet süresi boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok kimyasal ve fiziksel etkenle karşılaşmaktadır. Betonun içerisine sızan su, karbondioksit, oksijen, sülfat, asit ve klorür gibi maddeler, betonda değişik türlerdeki kimyasal olayların oluşmasına neden olmaktadır. Donma-çözülme, ısınma-soğuma gibi olaylar betonun yıpranmasına yol açacak nitelikteki fiziksel olaylardır.

4.1. Deniz Suyunun Genel Bileşimi

Yeryüzünde mevcut elementlerin büyük bir kısmının (90 elementten 80'i) deniz suyunda çözünmüş halde bulunduğu sanılmaktadır. Bu nedenle deniz suyu pek çok katı madde ve gazın çözünmüş halde bulunduğu bir çözeltiyi oluşturur. Bunlardan başka deniz suyunda çözünmüş organik bileşiklerle asılı halde bulunan organik ve inorganik kökenli parçacıklar da vardır. Deniz suyunda çözünmüş veya asılı halde bulunan bu maddeler atmosfer, okyanus ve karalar arasında oluşan alışverişten kaynaklanmaktadır. Deniz suyuna çeşitli kaynaklardan gelen çözünmüş veya asılı halde bulunan maddeler başlıca dört grupta toplanabilirler. Bunlar; çözünmüş organik maddeler, çözünmüş inorganik maddeler, çözünmüş atmosferik gazlar ve asılı halde bulunan parçacıklardır. Deniz suyunun mevcut bileşimi bu ortamda oluşan kimyasal, biyolojik ve fiziksel olaylara bağlı olarak değişebilir. Çok geniş hacim ve alana sahip okyanus ve denizlerde devamlı olarak gelişen fiziksel, kimyasal ve biyolojik olaylar bu ortamın yapısı üzerinde de önemli etkilere sahiptirler [48].



Şekil 4.1. Deniz suyundaki elementlerin doğadaki dolaşimleri

4.2. Deniz Suyu Etkisi

Denizler yeryüzünün yaklaşık %78'lik kısmını oluştururlar. Birçok beton veya betonarme yapı denizlerle doğrudan temas halindedir veya dolaylı olarak deniz ortamından etkilenmektedir.

Deniz ortamında bulunan yapılar değişik fiziksel ve kimyasal etkilere maruzdur. Bu etkiler Şekil 4.2.'de gösterilmektedir [37].



Şekil 4.2. Deniz ortamında bulunan yapıların maruz kalacağı yıpratıcı etkiler [37].

Deniz suyunda değişik türde ve miktarda yabancı maddeler bulunmaktadır.(Tablo 4.1.)

Tablo 4.1. Deniz sularındaki iyonlar, g/l [17].

İyon	Akdeniz	Karadeniz	Dünya ortalaması
Na	11,56	4,90	11,00
K	0,42	0,23	0,40
Mg	1,78	0,64	1,33
Ca	0,47	0,24	0,43
Cl	21,38	9,50	19,80
SO₄	3,06	1,36	2,76

Deniz suyunun beton içerisindeki kimyasal etkisi çözünmüş bazı tuzları içermesinden de kaynaklanmaktadır. Denizlere ve okyanuslara göre farklılık olsa da, tipik tuzluluk oranı %3,5 civarındadır. Buharlaştırmanın yüksek olduğu sıcak iklimlerde tuzluluk oranı artmaktadır [49]. Deniz suyunda önemli miktarda bulunan tuzlar Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Deniz sularındaki tuzlar, g/lt [17].

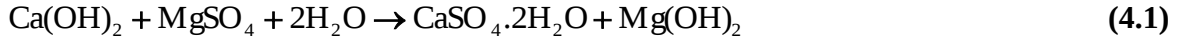
Tuz	Akdeniz	Tipik Okyanus
NaCl	30,0	26,0
MgCl ₂	4,6	3,2
MgSO ₄	2,3	2,2
CaSO ₄	1,4	1,3
CaCl ₂	0,7	0,6

Bu tuzların beton bünyesine girmesiyle, çimento hidratasyon ürünleriyle kimyasal reaksiyonlara girerek yeni ürünler oluştururlar. Deniz suyunda bir diğer fiziksel bozulma mekanizması da tuz kristalleşmesidir. Özellikle ıslanma-kuruma çevrimlerine maruz betonda deniz suyunun betona girmesi daha sonra saf suyun betondan buharlaşma yoluyla uzaklaşması sonucu biriken tuzların kristalleşmesi hacim artışı meydana getirir. NaCl kristalleşmesi sırasında 0°C’de 554 atmosfer, 50°C’de 654 atmosfer basınç oluşur [50]. Beton boşluklarındaki bu iç basınç hasar oluşturabilir. Sodyum sülfat gibi sülfat tuzları da kristalleşme sonucu betonda NaCl kristalleşmesine benzer etkiler gösterebilirler. Denizdeki klor iyonunun diğer bir olumsuz etkisi beton içindeki donatı üzerinde olmaktadır. Korozyon sonucu beton içerisinde hacim arttırıcı ürünler oluşur. Oluşan bu ürünler betonda çatlamalara neden olabilmektedir [51]. Ülkemizdeki denizlerin iyon konsantrasyonları ve tuzluluk oranları Tablo 4.3.’te verilmiştir.

Tablo 4.3. Ülkemiz denizlerinin tuzluluk oranları ve iyon konsantrasyonları [17].

Deniz	Yöre	Toplam Tuzluluk (%)	Mg ⁺² (mg/lt)	SO ₄ ⁻² (mg/lt)	Cl ⁻ (mg/lt)	Na ⁺ (mg/lt)	Ca ⁺ (mg/lt)
Karadeniz	Zonguldak	1,7	630	1270	8400	5260	250
Marmara	Erdek	2,6	960	1940	12840	8050	380
Ege	Ayvalık	3,8	1400	2830	18770	11770	560
Akdeniz	Bodrum	3,9	1440	2900	19270	12080	580

Deniz suyundaki sülfatların betondaki etkisi dış kaynaklı sülfat atağına benzerdir. Denizdeki klor iyonunun bozucu etkisiyle sülfat etkisinin birleşmesinin betonda daha yıkıcı etki oluşturabileceği düşünülse de gerçekte durum böyle değildir. Betona giren deniz suyundaki magnezyum sülfat çimento hidratasyon ürünlerinden kalsiyum hidroksitle reaksiyonu sonucu alçıtaşı ve brusit oluşturur [50]. Magnezyum sülfat, hidratasyon ürünlerinden C-S-H ve kalsiyum alüminatlarla da reaksiyonlara girmektedir [50,51].



Oluşan Mg(OH)_2 brusit adıyla da bilinir. Çökelerek yüzeydeki gözenekleri tıkar ve koruyucu bir tabaka oluşturarak reaksiyonun gelişimini yavaşlatır. Ayrıca Ca(OH)_2 'nin CO_2 ile reaksiyonundan aragonit formundaki CaCO_3 oluşur ve çökelir. Kısa sürede oluşan bu koruyucu tabakaların kalınlığı 20 ile 50 mikron civarındadır ve yapının suya tamamen gömülü kısımlarında görülürler. Ancak, yapının dalgaların aşındırıcı etkilerine maruz kısımlarında bu tabakaların uzaklaşmasıyla reaksiyon tekrarlanır ve kütle kaybı süreklilik kazanır. Betonun magnezyum tuzlarıyla uzun süreli teması halinde C-S-H içindeki kalsiyumun da Mg iyonlarıyla yer değiştirdiği görülür ki oluşan magnezyum silikat hidratın (MSH) bağlayıcılık özelliği yoktur ve kolayca parçalanabilir. Bu durum betonda rijitlik ve dayanım kaybına yol açar [49].

4.3. Deniz Suyu Etkisini Azaltıcı Önlemler

Betonda deniz suyu etkisini azaltmak için alınacak önlemler sülfat saldırısını azaltmada alınacak önlemlerle aynıdır. Beton mümkün olduğu kadar geçirimsiz üretilmelidir. Ayrıca beton üretimine uygun çimento ve/veya puzolanik özellikli mineral katkıları kullanılmalıdır. Özellikle deniz suyunda sülfat bulunmasından dolayı sülfata dayanıklı çimentolar kullanılabilir.

4.4. Önceki Çalışmalar

Lorenzo vd. tarafından yapılan çalışmada, değişik oranlarda uçucu kül içeren hamurlar, çalışmacılar tarafından hazırlanmış sentetik deniz suyunda 90 gün boyunca bekletilmişlerdir. Özellikle yüksek oranda uçucu kül içeren örneklerin eğilme dayanımlarının yapay deniz suyu etkisi ile arttığı belirtilmiştir. Bu durum klorür, sülfat ve sodyum iyonlarının uçucu külün puzolanik reaksiyonunu aktive etmesiyle açıklanmaktadır [52].

Shannag vd. yaptıkları çalışmada, portland çimento, doğal puzolan ve silika tozu içeren beton örnekleri Ölü Deniz ve Kızıl Deniz sularında bir yıl bekletilmişlerdir. Sülfat çözeltisi ve deniz suyunda geçen bir yıllık süreden sonra sülfat etkisine karşı en iyi performansı %15 silika tozu ve %15 doğal puzolan bileşiminden oluşan betonların sağladığı belirtilmiştir. Değişik oranlarda silika tozu ve doğal puzolan içeren yüksek performanslı betonlar, dayanım ve kalıcılık arasında iyi bir denge sağlamaktadır ve beton endüstrisinde kullanımları tavsiye etmişlerdir [53].

Sibbick vd. çalışmalarında, deniz suyuna maruz kalan betonlarda meydana gelen hızlı bozulmanın deniz suyunda bulunan magnezyum iyonu saldırısından kaynaklandığı belirtmişlerdir. Yapılan elektron mikroskobu ve XRD analizlerinden tomasit, etrenjit, brusit ve hidrate magnezyum silikat gibi reaksiyon ürünlerinin oluştuğu belirtmişlerdir [54].

Erdoğdu vd. yaptıkları çalışmada, sülfat iyonu konsantrasyonu düşük deniz suyu ile eşdeğer sülfat iyonu konsantrasyonunda sodyum ve magnezyum sülfat çözeltilerine maruz betonun performansı araştırmışlar ve buna ilişkin olarak silis dumanı ikamesinin etkinliği değerlendirmişlerdir. Gerek sodyum sülfat, gerek magnezyum sülfat çözeltilerinin ve gerekse deniz suyunun silis dumanı içermeyen numunelerin basınç dayanımları üzerinde değişen mertebede kayıplara neden olduğu gözlemlenmiştir. Neden olduğu kayıp açısından en olumsuz etkiyi deniz suyu yarattığını ve yaklaşık 56 haftalık bir dönem sonunda %55 düzeyinde bir kayıp olduğunu belirtmişlerdir. Sodyum sülfat çözeltisine maruz numunelerin dayanımlarında 90 haftalık bir dönem sonunda gözlemlenen kayıp yaklaşık olarak %40 düzeyinde olmuştur. Neden olduğu dayanım kaybı açısından silis dumanı içeren numuneler içinde en olumsuz etkiyi deniz suyu yarattığını belirtmişlerdir [55].

Dongxue vd. tarafından yapılan çalışmada, sentetik deniz suyunda 28 gün bekletilen portland çimentolu ve yüksek fırın cürufu harçların basınç ve eğilme dayanımlarının değişimi incelenmiştir. Söz konusu çalışmada portland çimentosu ile üretilen harçların basınç dayanımlarında bir değişiklik olmazken, eğilme dayanımlarının azaldığı gözlemlenmiştir. Cürufu çimentolar ile üretilen harçların basınç ve özellikle eğilme dayanımlarında artışlar meydana geldiği gözlemlenmiştir [56].

Sibbick vd. çalışmalarında, South Wales (İngiltere) liman duvarı basamaklarının (Şekil 4.2.) deniz suyuna maruz kalan harcında meydana gelen hızlı bozulma mekanizmasını açıklamışlardır. 2 yıl içinde harcın çatlama ve dökülmesine şahit

olmuşlardır. Bunun sebebinin, malzemenin zayıf ve gözenekli yapısı ile deniz suyundan gelen magnezyum iyonu saldırısı olduğunu düşünülmüşlerdir. Kopan harç parçalarını, optik ve elektron mikroskobu ve XRD analizine tabi tutmuşlar. Tomasit, etrenjit, brusit ve hidrate magnezyum silikat gibi reaksiyon ürünlerin oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Bozulmanın son ürününün, önceden çimento hamuru tarafından doldurulan alanların geniş, bağımsız kalsit kristallerinin çökeltisi ile işgali olduğunu belirtmişlerdir. Yapıdaki betonun bozulmasının, tomasitin erken dönemdeki oluşumunun sülfat saldırısına yol açtığını belirtmişlerdir [54].



Şekil 4.3. Liman duvar basamaklarının genel görünümü [54]

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, değişik oranlarda uçucu kül ve silis dumanı kullanılarak hazırlanan kendiliğinden yerleşen harçların (KYH) farklı kür ortamlarında (Şehir şebeke suyu, magnezyum sülfat çözeltisi ve deniz suyu) bekletilerek durabilite ve dayanımlarındaki değişimler incelenmiştir.

5.1. Deney Programı

Bu çalışmada, KYH karışımlarında mineral katkı olarak uçucu kül ve silis dumanı kullanılıp taze ve sertleşmiş haldeki harç üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bunun için dozajı 650 kg/m^3 olan harç numunelerinden kontrol numunesi de dahil olmak üzere 14 karışım hazırlanmıştır. Bu karışımlarda portland çimentosuna ağırlıkça %10, %20, %30 C sınıfı uçucu kül ve %6, %9, %12, %15 silis dumanı katılarak ikili karışımlar hazırlanmıştır. Üçlü karışımlarda ise mineral katkı oranı çimentonun %30'unu geçmeyecek şekilde %10 uçucu kül ile %6, %9, %12, %15 silis dumanı ve %20 uçucu kül ile %6, %9 silis dumanı kullanılmıştır. KYH'ların taze haldeki özellikleri, mini V-hunisi, mini çökme-yayılma ve viskozite ölçümleri ile belirlenmiştir. Sertleşmiş haldeki $40 \times 40 \times 160$ mm boyutlarındaki numuneler 3, 7, 28, 56, 90, 180 günde farklı kür ortamlarında bekletildikten sonra üç noktalı eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuşlardır. Ayrıca hazırlanan 50 mm'lik küp numuneler üzerinde kapiler su emme deneyi yapılmıştır. Tüm numunelerin poroziteleri (%), toplam su emme kapasiteleri (%) ve yoğunlukları deney sonuçlara göre belirlenmiştir.

5.2. Malzeme Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda verilmiştir.

5.2.1. Portland Çimentosu

Bu çalışmada, Elazığ Altınova Çimento Sanayi Tic. A.Ş.'den temin edilen CEM I 42,5 N tipi çimento kullanılmıştır. Bu çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. CEM I 42,5 N çimentosunun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri

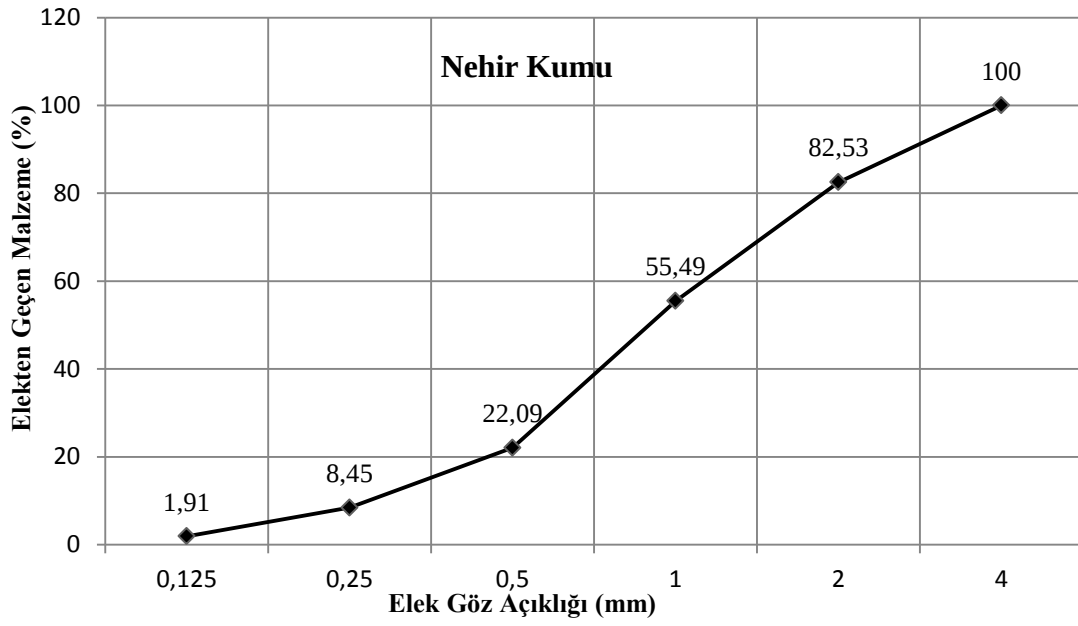
ÖZELLİK	CEM I 42,5 N
SiO ₂ (%)	21,12
Al ₂ O ₃ (%)	5,62
Fe ₂ O ₃ (%)	3,24
CaO (%)	62,94
MgO (%)	–
SO ₃ (%)	2,66
Klorür (Cl ⁻) (%)	0,0044
Kızdırma Kaybı (%)	3,52
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3,1
Özgül Yüzey Alanı (cm ² /gr)	3490

5.2.2. Agrega Tipi

Agregalar Elazığ Murat Nehrinden temin edilmiştir. KYH için kullanılan agregaların maksimum tane çapı 4 mm olarak seçilmiştir. Doygun kuru yüzey özgül ağırlığı 2.63 gr/cm³ olarak bulunan agreganın su emmesi % 1.91 olarak belirlenmiştir. Yapılan elek analizi sonucundaki değerler tablo 5.2.'de verilmiştir. Bu değerlere ait granülometri eğrisi de şekil 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Kuma ait elek analiz sonuçları

Elek No (mm)	Elek Üzerinde Kalan Miktar (gr)	Elek Üzerinde Kalan Miktar (%)	Elek Üzerinde Kalan Yığılı Miktar (%)	Elekten Geçen Miktar (%)
4	0	0	0	100
2	349,3	17,47	17,47	82,53
1	540,7	27,04	44,51	55,49
0,5	668,2	33,40	77,91	22,09
0,25	272,8	13,64	91,55	8,45
0,125	130,8	6,54	98,09	1,91
Kap	38,2	1,91	100	0
Toplam	2000			



Şekil 5.1. Kuma ait analiz grafiği

5.2.3. Kimyasal Katkı

KYH'ta kimyasal katkı olarak 1.06 gr/cm^3 yoğunluğa sahip modifiye polikarboksilat esaslı polimer bir süper akışkanlaştırıcı (SA) olan ViscoCrete Hi-Tech 36 tüm karışımlarda 8 kg/m^3 oranında kullanılmıştır. Süper akışkanlaştırıcının özellikleri tablo 5.3.'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Kimyasal katkının özellikleri

Kimyasal Yapı	Modifiye polikarboksilat esaslı polimer
Yoğunluk (gr/cm^3)	1,06
pH Değeri	3 – 7
Donma Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	-4
Suda Çözünebilir Klorür (%)	En fazla % 0,1 (TS EN 934-2)
Alkali Miktarı (% Na_2O Eşdeğeri Olarak)	En fazla % 3 (TS EN 934-2)

5.2.4. Şehir Şebeke Suyu

Bu çalışmada harç karışımlarında ve kür uygulamasında Elazığ şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

5.2.5. Magnezyum Sülfat (MgSO₄) Çözeltisi

Deneylerde kullanılan magnezyum sülfat çözeltisinin hazırlanmasında MgSO₄.7H₂O kullanılmıştır. Ağırlıkça %10'luk MgSO₄.7H₂O çözeltisi hazırlanmıştır.

5.2.6. Deniz Suyunun Özellikleri

Deneylerde kullanılan deniz suyu Mersin ili Mersin limanından temin edilmiştir. Deniz suyunun kimyasal özellikleri Elazığ İl Özel İdaresi Toprak ve Su Analiz Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Analiz sonuçları tablo 5.4.'de verilmiştir.

Tablo 5.4. Deniz suyunun kimyasal analizi

İyonlar	Konsantrasyon (gr/lt)		
	Akdeniz	Mayıs 2012	Ekim 2012
Cl ⁻	21,38	20,14	18,82
SO ₄ ⁻²	3,06	2,79	2,57
Ca ⁺²	0,47	0,45	0,40
Mg ⁺²	1,78	1,26	0,92
Na ⁺	11,56	14,6	17,1
K ⁺	0,42	0,49	0,51
Tuzluluk	55,8	55,8	54,7

5.2.4. Uçucu Külün Özellikleri

Bu çalışmada, Soma Yatağan Termik Santralinden elde edilen C sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. C sınıfı uçucu kül çimento yerine ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında katılmıştır. C sınıfı uçucu külün kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri tablo 5.5.'de verilmiştir.

Tablo 5.5. C sınıfı uçucu külün kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri

ÖZELLİK	C SINIFI UÇUCU KÜL
SiO ₂ (%)	42,14
Al ₂ O ₃ (%)	19,38
Fe ₂ O ₃ (%)	4,64
CaO (%)	29,96
MgO (%)	1,78
K ₂ O (%)	1,13
SO ₃ (%)	2,43
Klor (%)	0,0010
Serbest CaO (%)	4,34
Kızdırma Kaybı (%)	1,34
Özgül Yüzey Alanı (cm ² /gr)	2900
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,20

5.2.5. Silis Dumanının Özellikleri

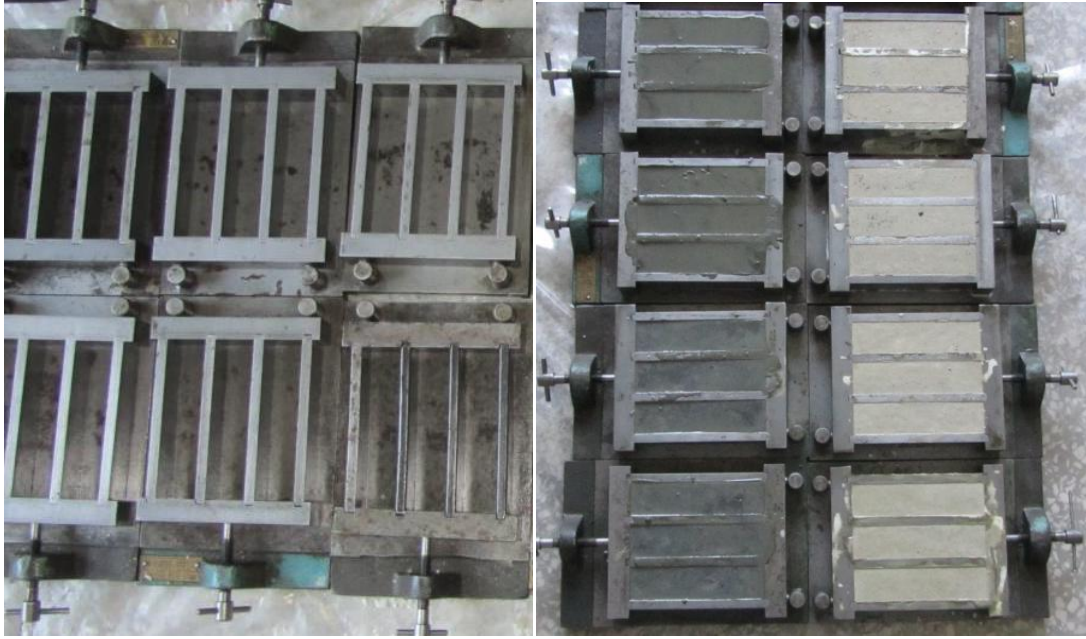
Bu çalışmada, Antalya Eti Elektrometalurji A.Ş.'den temin edilen silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanı çimento yerine ağırlıkça %6, %9, %12, %15 oranlarında katılmıştır. Silis dumanının kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri tablo 5.6.'da verilmiştir.

Tablo 5.6. Silis dumanının kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri

ÖZELLİK	SİLİS DUMANI
SiO ₂ (%)	91
Al ₂ O ₃ (%)	0,58
Fe ₂ O ₃ (%)	0,24
CaO (%)	0,71
MgO (%)	0,33
SO ₃ (%)	–
Kızdırma Kaybı (%)	1,84
Özgül Yüzey Alanı (cm ² /gr)	96,5% < 45µm
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,20

5.3. Numune Boyutları

Üç noktalı eğilme ve basınç deneyleri için hazırlanan harç numuneleri TS EN 196-1'e uygun olarak 40×40×160 mm'lik kalıplara dökülmüştür (Şekil 5.2.). Ayrıca kapiler su emme deneyi için 50 mm'lik küp numuneler dökülmüştür.



Şekil 5.2. 40×40×160 mm'lik prizmatik numuneler

5.4. Numunelerin Kür Edilmesi

Bu çalışmada, portland çimentosuyla beraber uçucukül ve silis dumanı katılarak hazırlanan 14 karışıma ait numuneler 1 gün kalıpta bekletildikten sonra 3, 7, 28, 56, 90 ve 180 gün sonuna kadar 20 ± 2 °C sıcaklıkta şehir şebeke suyu ile doldurulan kür havuzunda bekletilmişlerdir. Ayrıca numuneler %10'luk magnezyum sülfat çözeltisi ve deniz suyunda 28, 56, 90 ve 180 gün süreyle kür edilmiştir. Magnezyum sülfat çözeltisi belirli aralıklarla değiştirilmiştir (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Kür ortamından çıkarılan numuneler

5.5. KYH'da Karışım Hesabı

Harç karışımları TS EN 196-1 [11]'e göre hazırlanmıştır. Bu çalışmada CEM I 42,5 N tipi çimento, uçucu kül ve silis dumanı kullanılmıştır. Bu malzemelerle kontrol numunesi dahil olmak üzere 14 karışım hazırlanmıştır.

İkili karışımlara portland çimentosuna ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül ayrıca %6, %9, %12 ve %15 oranlarında silis dumanı katılmıştır. Üçlü karışımlarda uçucu kül ve silis dumanı oranı %30'u geçmeyecek şekilde hazırlanmıştır ve üçlü karışımlar portland çimentosuna ağırlıkça %10 oranında uçucu küle %6, %9, %12 ve %15 oranlarında silis dumanı; %20 oranında uçucu küle ise %6 ve %9 silis dumanı katılarak hazırlanmıştır.

Karışım hesapları mutlak hacim yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu metotta hesaplara başlamadan önce kullanılacak çimento ve katkı miktarları belirlenmiştir. Belirlenen miktarlara göre denklem (5.1) kullanılarak toplam kum hacmi hesaplanmıştır.

$$V_{kum} = 1000 - \left(\frac{C}{\delta_c} + W + \frac{K}{\delta_k} + \frac{S}{\delta_s} + \frac{U}{\delta_u} + H \right) \quad (5.1)$$

Burada;

V_{kum} : Kum hacmi (dm³),

C : 1 m³ betondaki çimento miktarı (kg),

- W : 1 m³ betondaki su miktarı (kg),
 K : 1 m³ betondaki kimyasal katkı miktarı (kg),
 S : 1 m³ betondaki silis dumanı miktarı (kg),
 U : 1 m³ betondaki uçucu kül miktarı (kg),
 H : 1 m³ betondaki hava miktarı (dm³),
 δ_c : Çimentonun özgül ağırlığı (kg/dm³),
 δ_s : Silis dumanının özgül ağırlığı (kg/dm³),
 δ_u : Uçucu külün özgül ağırlığı (kg/dm³),
 δ_k : Kimyasal katkının özgül ağırlığı (kg/dm³)'dir.

Karışımda kullanılacak kumun hacmi denklem (5.2) yardımı ile hesaplanmıştır.

$$A_{kum} = V_{kum} \cdot \delta_{kum} \quad (5.2)$$

Burada;

A_{kum} : Karışımda kullanılan kumun ağırlığı (kg),

δ_{kum} : Karışımda kullanılan kumun özgül ağırlığı (kg/dm³)'dir.

Deneme üretimleri sonucunda elde edilen harç karışımlarındaki oranlar Tablo 5.7.'de verilmiştir.

Tablo 5.7. Karışım oranları

Numune Adı	Muhteva (kg/m ³)							
	CEM I 42,5 N	UK	SD	Kum	Su	Viscocrete Hi-Tech 36	Su/Toz (Hacimce)	Su/Toz (Ağırlıkça)
UK0 - SD0	650	0	0	1211,8	312	8,0	1,32	0,43
UK10	585	65	0	1240,6	292,5	8,0	1,21	0,40
UK20	520	130	0	1235	286	8,0	1,16	0,40
UK30	455	195	0	1212,5	286	8,0	1,14	0,41
SD6	611	0	39	1130	338	8,0	1,42	0,47
SD9	591,5	0	58,5	1089	351	8,0	1,47	0,49
SD12	572	0	78	1065	357,5	8,0	1,49	0,51
SD15	552,5	0	97,5	1041,2	364	8,0	1,51	0,52
UK10+SD6	546	65	39	1175,7	312	8,0	1,28	0,44
UK10+SD9	526,5	65	58,5	1134,8	325	8,0	1,33	0,46
UK10+SD12	507	65	78	1128	325	8,0	1,31	0,46
UK10+SD15	487,5	65	97,5	1121,3	325	8,0	1,30	0,46
UK20+SD6	481	130	39	1187,4	299	8,0	1,20	0,42
UK20+SD9	461,5	130	58,5	1163,5	305,5	8,0	1,22	0,44

5.6. Deney Metotları

KYH üzerinde uygulanan deneyler, işlenebilirlik ve mekanik özellikleri belirlemek amacıyla laboratuvar şartlarında taze harçlar ve sertleşmiş harç numuneleri için ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu deneyler aşağıda açıklanmıştır.

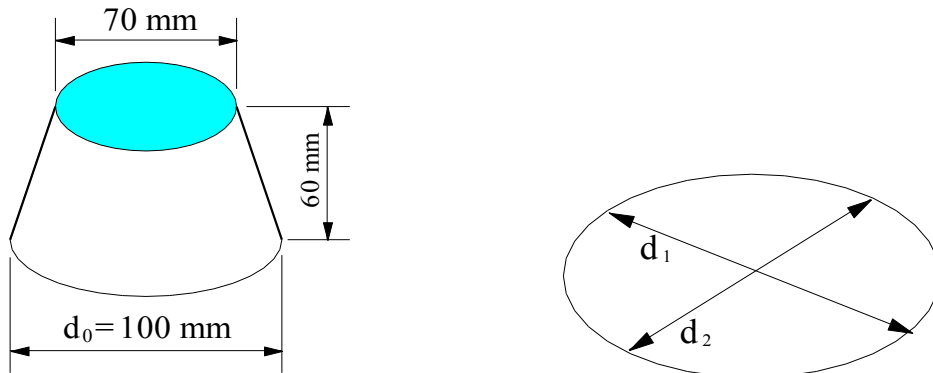
5.6.1. Mini Çökme-Yayılma Deneyi

Bölüm 5.5.'e göre hazırlanan harç karışımları EFNARC (2002) [6] tarafından işlenebilirlik deneyi olarak tavsiye edilen mini çökme-yayılma deneyine tabi tutulmuşlardır. Bu deneyde çökme-yayılma değerinin 24-26 cm arasında olması sağlanmıştır.

Mini çökme - yayılma deneyinde şekil 5.4.'deki gibi tepesi kesik koni kalıp harçla doldurulduktan sonra yukarı kaldırılır. Harcın yayıldığı çap karşılıklı iki yönde ölçülür ve ortalaması yayılma çapı olarak kaydedilir. Bağlı çökme - yayılma değeri denklem (5.3) ve (5.4)'deki formüllerden hesaplanır.

$$\Gamma_m = \left(\frac{d}{d_0} \right)^2 - 1 \quad (5.3)$$

$$\text{Buradan; } d = \frac{d_1 + d_2}{2} \text{ , dir.} \quad (5.4)$$



Şekil 5.4. KYH için mini çökme-yayılma aparatı

Şekil 5.5.' de cam yayılma tablası üzerinde çökme yayılma deneyi görülmektedir.



Şekil 5.5. Mini çökme-yayılma deneyi

5.6.2. Mini V-Hunisi Deneyi

Bölüm 5.5.'e göre hazırlanan harç karışımları EFNARC (2002) [6] tarafından işlenebilirlik deneyi olarak tavsiye edilen mini V-hunisi deneyine tabi tutulmuşlardır. Bu deneyde V-hunisi akma zamanının 7-11 sn arasında kalması sağlanmıştır.

Bu deneyde Şekil 5.6.'daki gibi bir V- hunisi harçla tamamen doldurulduktan sonra altındaki kapak açılır ve harcın akması sağlanır. Kapağın açıldığı andan üstten bakıldığı ışığın görüldüğü ana kadar geçen süre t süresi olarak kaydedilir. Kaydedilen değerlere göre bağlı huni hızı değeri de denklem (5.5)'daki formülден hesaplanır.

$$R_m = \frac{10}{t} \quad (5.5)$$



Şekil 5.6. KYH için mini V-hunisi deneyi

5.6.3. Viskozitenin Belirlenmesi

Bölüm 5.5.'e göre hazırlanan harç karışımlarına viskozite ölçümleri Brookfield DV-E model bir cihaz kullanılarak yapılmıştır (Şekil 5.7.). Harç karışımlarının viskozite değerleri 1, 2.5, 5, 10, 20, 50, 60 ve 100 devir/dk açısal hızlarda ve karıştırma işleminden hemen sonra ölçülmüştür. Böylece, her bir KYH karışımı için farklı açısal hızlardaki viskozite değerleri (cP) elde edilmiştir.

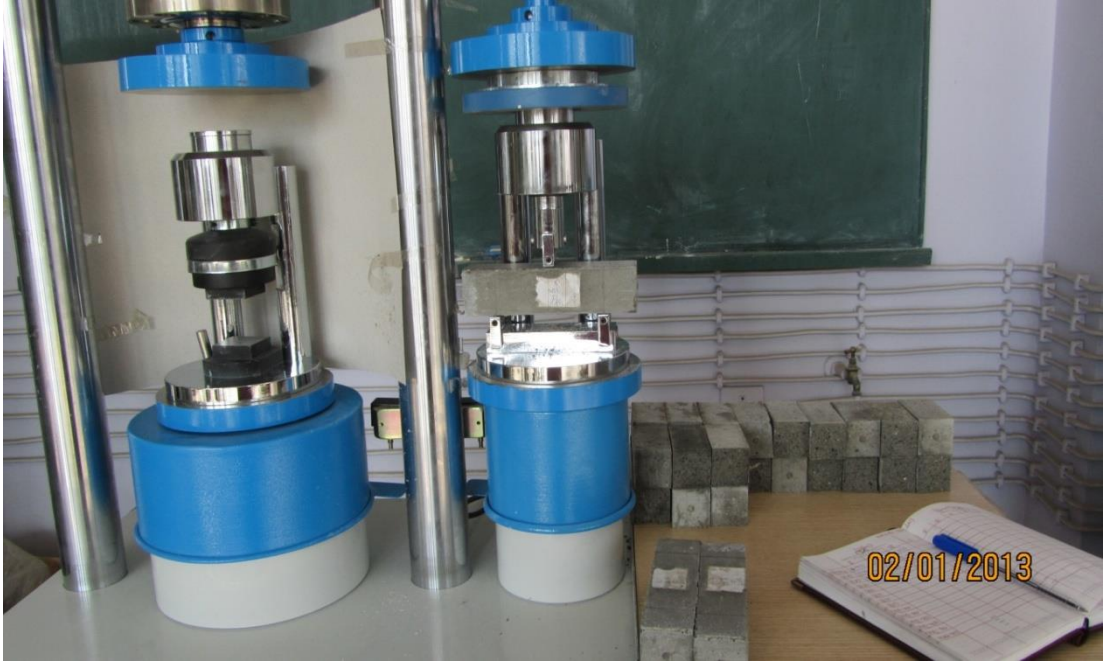


Şekil 5.7. Brookfield DV-E model viskozimetre aleti

Bu deneyde harç beher içinde bulunur. Daire şeklindeki dönel ucun çapı numuneye göre belirlenir. Karıştırıcı uç dönmeye başladığında uca karşı harcın oluşturduğu burulma momenti (tork) ölçülür. Ucun hızı arttıkça okunan değerler doğrultusunda viskozite değişimleri elde edilir.

5.6.4. Üç Noktalı Eğilme ve Basınç Değerleri

Bölüm 5.5.'e göre hazırlanan harç numuneleri TS EN 196-1 [11] doğrultusunda çimento deneylerine tabi tutulmuşlardır. Hazırlanan 14 karışımın her birinden 13 seri 40×40×160 mm boyutlarında numuneler şehir şebeke suyunda (3, 28, 56, 90 ve 180 gün), $MgSO_4$ çözeltisinde ve deniz suyunda (28, 56, 90 ve 180 gün) küre maruz bırakılmıştır. Her bir kür periyodu sonunda kürden çıkarılan numuneler 25 ton basınç, 15 ton eğilme kapasiteli UTEST UTCM 6420 makinesinde eğilme ve basınç deneylerine tabi tutulmuşlardır (Şekil 5.8.-5.9).

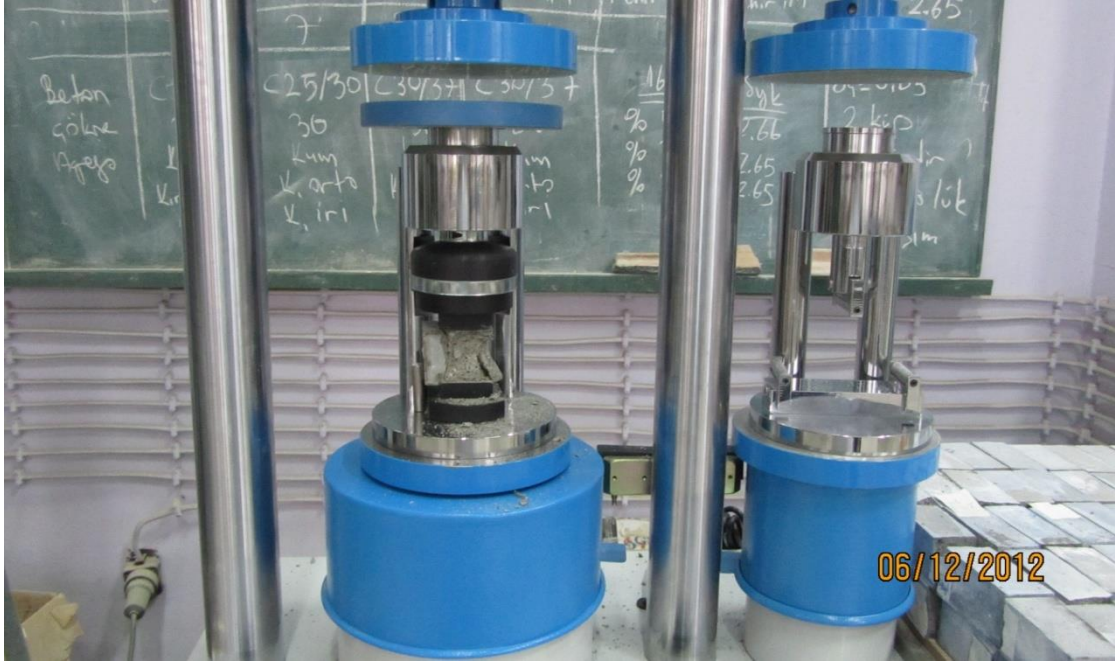


(a)



(b)

Şekil 5.8. (a) Üç noktalı eğilme deneyi; (b) Eğilme deneyinde numunenin kırılması



(a)



(b)

Şekil 5.9. (a) Basınç deneyi; (b) MgSO_4 çözeltisindeki numunenin basınç kırılması

5.6.5. Kapiler Su Emme Deneyi

Betonların kapiler su emme katsayıları 28 gün suda kür edilen 50 mm'lik küp numuneler üzerinde belirlenmiştir. Numuneler sabit ağırlığa gelinceye kadar 105 ± 5 °C'de hava sirkülasyonlu etüvde bekletilmiştir. Etüvden çıkarılıp soğutulan numuneler yan yüzeyleri izole edildikten sonra, su içerisine 5 mm batacak şekilde düzeneğe yerleştirilmiştir (Şekil 5.10). Düzeneğe yerleştirilen numuneler 5, 10, 20, 30, 60, 180, 360 ve 1440 dakikalık sürelerde, numunelerin yüzeylerindeki serbest su nemli bir bez ile silinerek, 0.01 g hassasiyetli tartı ile tartılıp kütle artışları belirlenmiştir. Numunelerin başlangıçtaki ağırlıklarına göre, ağırlık farkları hesaplanarak kapiler su emme değerleri bulunmuştur. Kapiler su emme deneyi, TS 4045 [57] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Kapilarite katsayısı hesaplamasında denklem (5.6)'daki formül kullanılmıştır.

$$K = \frac{Q^2}{A^2 \cdot t} \quad (5.6)$$

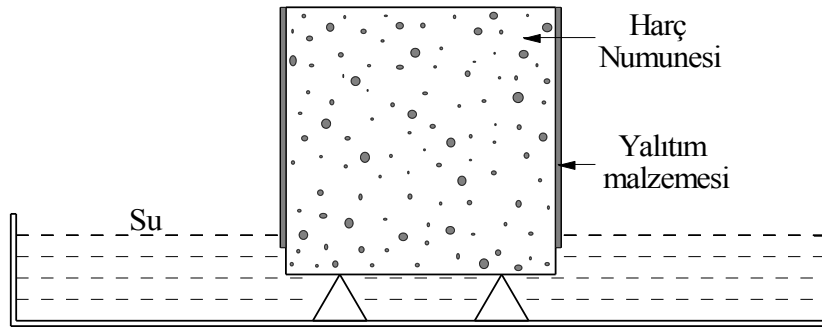
Burada;

K : Kapilarite katsayısı (cm^2/s),

A : Su ile temas eden alan (cm^2),

t : Geçen zaman (s),

Q : Emilen su miktarı (cm^3)'dır.



Şekil 5.10. Kapiler su emme düzeneği

Kapiler su emme deneyi Şekil 5.11. ve Şekil 5.12.'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.11. (a) Etüvde bekletilmiş numuneler; (b) İzole edilmiş numuneler



(a)



(b)

Şekil 5.12. (a) Numunelerin su emmesi; (b) 24 saat sonunda su emmiş numunelerin görünümü

6. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Mini Çökme-Yayılma ve Mini V-Hunisi Deney Sonuçları

Betonda işlenebilirlik ve kıvamı belirlemek için mini çökme-yayılma ve mini V-hunisi deneyi yapılmıştır. Beton karışımının sahip olduğu ıslaklık, taze betonun taşınabilirliği, pompalanabilirliği, yerleştirilebilirliği, segregasyonu, sıkıştırılabilirliği ve yüzeyinin düzeltilebilirliği gibi kavramların tümü, betonun işlenebilme özelliği içerisinde yer alan kavramlardır. Kıvam ise taze betonun karışımının ıslaklık derecesi anlamına gelmektedir. KYH’de akıcılık ve kohezyon kıvam içinde yer almaktadır.

Uçucu küllü ve silis dumanlı ikili karışımların çökme - yayılma değerleri kontrol harcı ile birlikte Tablo 6.1.’de; uçucu kül ve silis dumanı içeren üçlü karışımların çökme - yayılma değerleri kontrol harcı ile birlikte Tablo 6.2.’de verilmiştir. Harçların karışım oranları belirlenirken EFNARC (2002)’ın [6] önerdiği çökme yayılma değer aralığı (24 - 26 cm) göz önünde bulundurulmuştur.

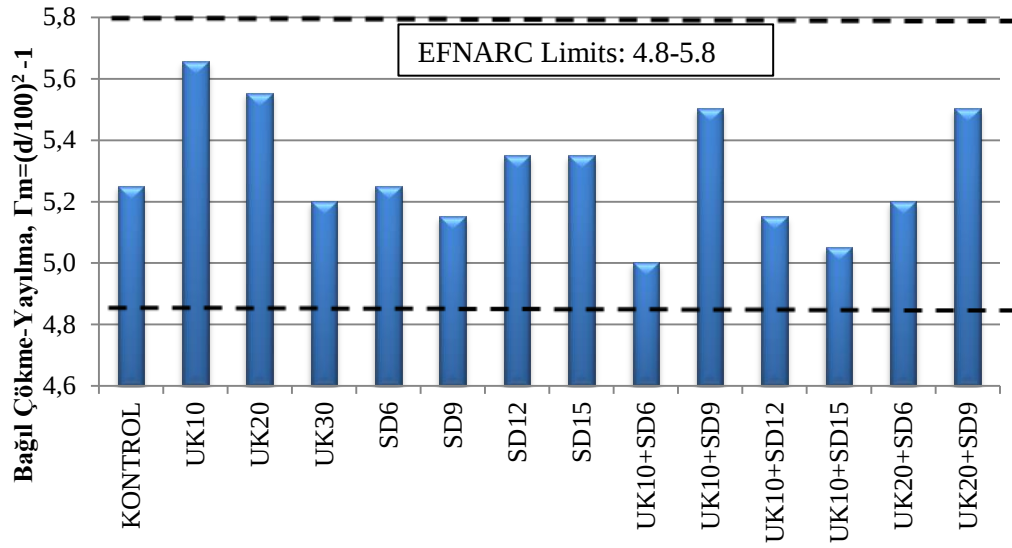
Tablo 6.1. Uçucu küllü ve silis dumanlı ikili harçların mini çökme - yayılma değerleri

Numune Adı	UK0 SD0	UK10	UK20	UK30	SD6	SD9	SD12	SD15
Yayılma Değerleri (mm)	250	258	256	249	250	248	252	252
Bağlı Çökme - Yayılma Değerleri	5,3	5,7	5,6	5,2	5,3	5,2	5,4	5,4

Tablo 6.2. UK+SD içeren üçlü harçların mini çökme - yayılma değerleri

Numune Adı	UK0 SD0	UK10 SD6	UK10 SD9	UK10 SD12	UK10 SD15	UK20 SD6	UK20 SD9
Yayılma Değerleri (mm)	250	245	255	248	246	249	255
Bağlı Çökme - Yayılma Değerleri	5,3	5,0	5,5	5,2	5,1	5,2	5,5

Tablo 6.1. ve Tablo 6.2.’deki çökme yayılma değerleri kullanılarak denklem (5.3) ve (5.4)’e göre hesaplanan bağlı çökme-yayılma değerleri Şekil 6.1.’deki grafikte verilmiştir.



Şekil 6.1. Bağıl çökme-yayılma grafiği

Bağıl çökme-yayılma grafiği incelendiğinde tüm değerlerin referans aralığında olduğu görülmektedir. Silis dumanlı karışımların çökme-yayılma değerlerinin genelde düşük çıktığı görülür. Çünkü silis dumanı yapışkan bir yüzeye sahiptir.

Uçucu küllü ve silis dumanlı ikili karışımların mini V-hunisi akma zamanı kontrol harcı ile birlikte Tablo 6.3.'de; uçucu kül ve silis dumanı içeren üçlü karışımların mini V-hunisi akma zamanı değerleri kontrol harcı ile birlikte Tablo 6.4.'te verilmiştir. EFNARC (2002)'in [6] önerdiği mini V-hunisi akma zamanının 7 - 11 sn arasında kalması sağlanmıştır.

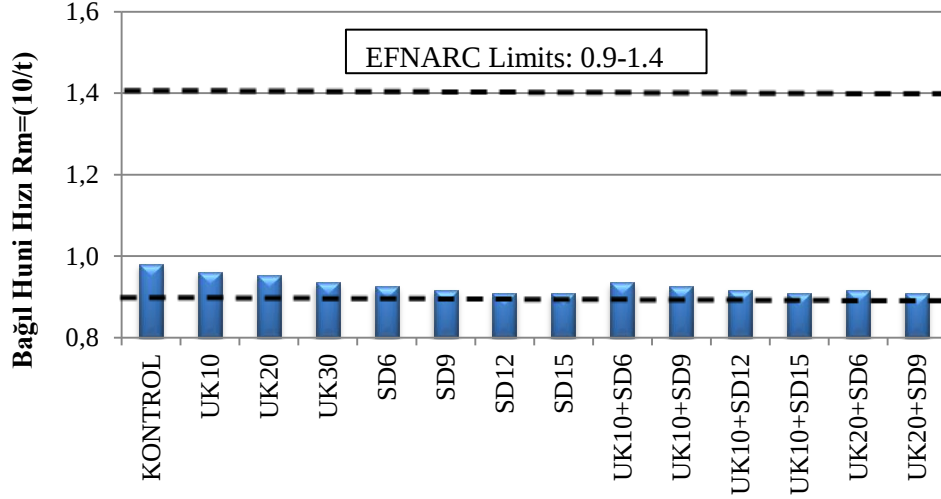
Tablo 6.3. Uçucu küllü ve silis dumanlı ikili harçların mini V-hunisi değerleri

Numune Adı	UK0 SD0	UK10	UK20	UK30	SD6	SD9	SD12	SD15
V- Hunisi Akma Zamanı (sn)	10,20	10,40	10,50	10,70	10,80	110,90	11,00	11,00
Bağıl Huni Hızı	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Tablo 6.4. UK+SD içeren üçlü harçların mini V-hunisi değerleri

Numune Adı	UK0 SD0	UK10 SD6	UK10 SD9	UK10 SD12	UK10 SD15	UK20 SD6	UK20 SD9
V- Hunisi Akma Zamanı (sn)	10,20	10,70	10,80	10,90	11,00	10,90	11,00
Bağıl Huni Hızı	1,0	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Tablo 6.3. ve Tablo 6.4.’teki V-hunisi değerleri kullanılarak denklem (5.5) göre hesaplanan bağıl huni hızı değerleri Şekil 6.1.’deki grafikte verilmiştir.



Şekil 6.2. Bağıl V-hunisi hızı grafiği

Bağıl huni hızı değerleri incelendiğinde uçucu kül ve silis dumanı değerleri arttıkça akma değerlerinin azaldığı görülmektedir ve bu değerlerin EFNARC tarafından belirlenen referans aralığında olduğu görülmüştür.

Hassan vd. yaptıkları çalışmada beton karışımında çimento miktarının her %10’unun UK ile yer değiştirmesi durumunda, su ihtiyacını %3-4 oranında azalttığını belirtmektedir [58].

Neville yaptığı çalışmada, agrega şekillerinin yuvarlaklıklarının artmasıyla işlenebilirliğin arttığını ifade etmiştir. Ayrıca, UK’nin işlenebilirlik üzerine olan etkisi, UK ve çimentonun özgül ağırlıkları arasındaki farka da dayanmaktadır. UK’nin özgül ağırlığının normal PÇ’den daha düşük olması nedeni ile ağırlık bazında değişimi, taze betondaki işlenebilirliğe hakim olan yapıştırıcı hamur miktarını yükseltmektedir [59].

Sellevoid vd. yaptıkları çalışmada, küçük kürecikler halinde SD tanelerinin daha büyük çimento taneleri arasındaki suyla yer değiştirerek serbest su miktarını arttırdıklarını tespit etmişlerdir. Bu olumlu etkiye karşın SD tanelerinin ıslanması gereken çok büyük yüzey alanı nedeni ile su gereksinimi, SD miktarıyla orantılı olarak artmaktadır. Bu durumdaki 1 m³ betona, her 1 kg SD için 1 litre su ilavesi öngörülmektedir [60].

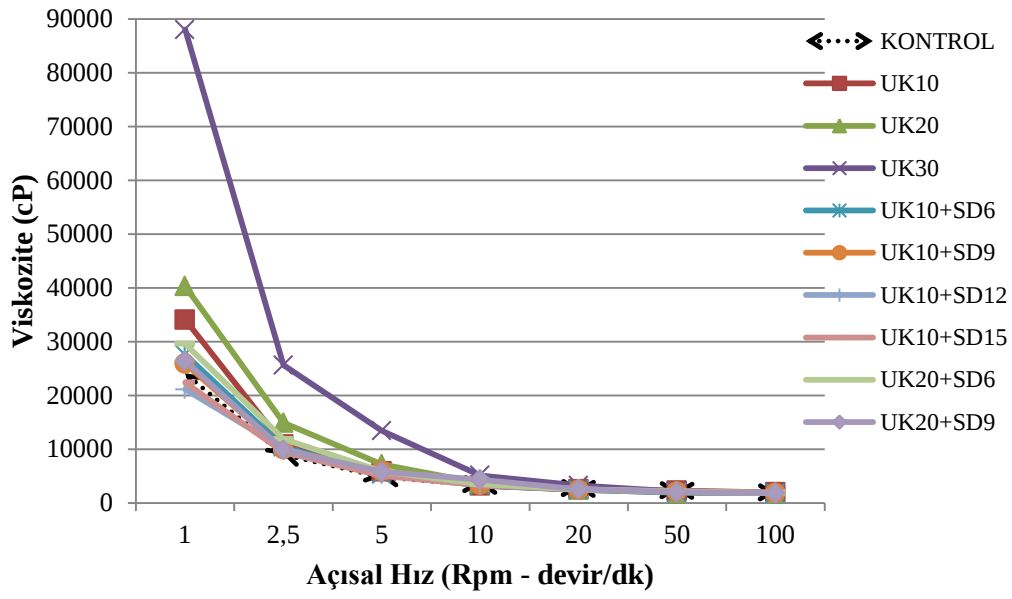
6.2. Viskozite Deneyi Sonuçları

Bütün karışımların viskozitesi 1, 2.5, 5, 10, 20, 50, 60 ve 100 devir/dk açısal hızlarda ve karıştırma işleminden hemen sonra ölçülmüştür. Böylece, her bir KYH karışımı için farklı açısal hızlardaki viskozite değerleri (cP) elde edilmiş ve viskozite-açısal hız grafikleri çizilmiştir.

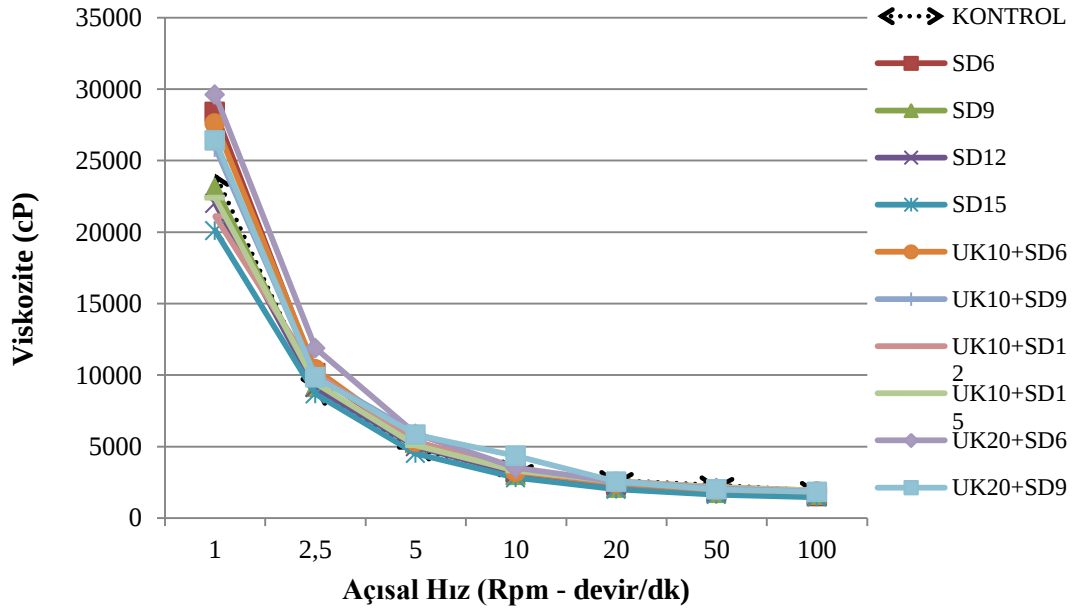
Tablo 6.5. Farklı açısal hız değerleri için viskozite ölçümleri

Numune Adı	Açısal Hız (Rpm)							
	1	2.5	5	10	20	50	60	100
UK0 - SD0	24100	8960	4800	3250	2645	2300	2135	1909
UK10	34100	10840	5880	3210	2520	2294	2180	1980
UK20	40300	14920	7180	3710	2470	1885	1699	1857
UK30	88000	25640	13440	5130	3245	2168	1915	1903
SD6	28400	10120	5240	3210	2370	1918	1629	1526
SD9	23100	9160	5240	3000	2115	1762	1664	1609
SD12	22000	9120	4980	3140	2255	1800	1669	1508
SD15	20100	8680	4500	2810	2010	1640	1584	1452
UK10+SD6	27600	10400	5340	3240	2410	1956	1910	1839
UK10+SD9	25900	9960	5920	3380	2470	2110	1884	1887
UK10+SD12	21100	10120	5380	3320	2570	2175	2067	1910
UK10+SD15	22400	9440	5080	3320	2575	2140	2070	1931
UK20+SD6	29600	11880	5880	3500	2540	2086	1979	1852
UK20+SD9	26400	9840	5820	4350	2540	1998	1974	1824

Harçların genelinde dönel ucun açısal hızının artmasıyla viskozite azalmış ve viskozite eğrileri X eksenine doğru asimptotik bir yaklaşım göstermiştir.



Şekil 6.3. UK'li ve UK+SD içeren harçların viskozite grafiği



Şekil 6.4. SD'li ve UK+SD içeren harçların viskozite grafiği

Şekil 6.3. incelendiğinde özellikle UK miktarı arttıkça başlangıç değerlerinin çok yüksek olduğu, ilerleyen zamanlarda değerlerin yaklaşık olarak kontrol değerleriyle aynı kaldığı görülmektedir. Böylece UK içeren harçların kohezyonlarının yeterli derecede olduğu söylenebilir. Hazırlanan numunelerde SD miktarı arttıkça viskozimetre değerlerinin

düştüğü görülmüştür. Bu durum Şekil 6.4. incelendiğinde UK+SD'li karışımlarda da SD miktarının artmasıyla da viskozimetre değerlerinin düştüğünü göstermiştir.

6.4. Eğilmede Çekme ve Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

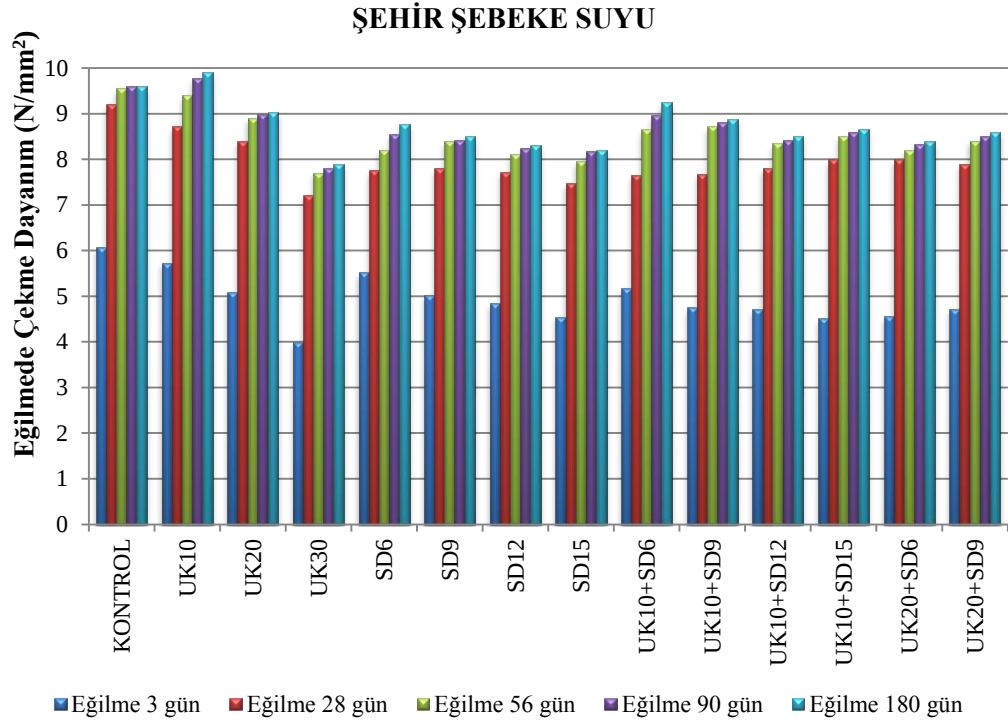
Hazırlanan karışımlar üç farklı kür ortamında bekletildikten sonra farklı kür süreleri için eğilmede çekme ve basınç deneylerine tabi tutulmuşlardır (TS EN 196-1) [11]. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1,3, 28, 56, 90 ve 180 gün şehir şebeke suyu kür ortamında bekletilen harç numunelerinin üç noktalı eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri Tablo 6.6.'da verilmiştir.

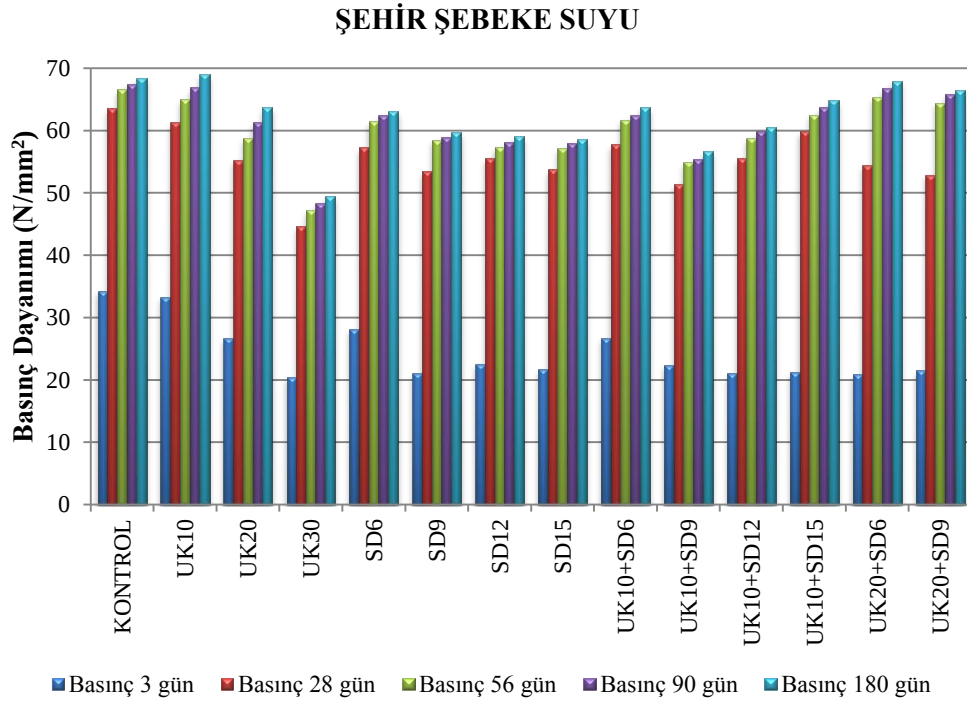
Tablo 6.6. Şehir şebeke suyu küründeki harç numunelerin eğilme ve basınç değerleri

ŞEHİR ŞEBEKE SUYU KÜRÜ DEĞERLERİ										
Numune Adı	Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm²)					Basınç Dayanımı (N/mm²)				
	3 gün	28 gün	56 gün	90 gün	180 gün	3 gün	28 gün	56 gün	90 gün	180 gün
UK0 - SD0	6,07	9,20	9,56	9,60	9,63	34,3	63,5	66,6	67,5	68,4
UK10	5,73	8,72	9,40	9,76	9,90	33,3	61,3	65,0	66,9	68,9
UK20	5,09	8,40	8,90	8,98	9,02	26,7	55,3	58,8	61,3	63,6
UK30	3,99	7,20	7,70	7,80	7,90	20,4	44,6	47,2	48,3	49,5
SD6	5,52	7,76	8,20	8,53	8,76	28,1	57,3	61,4	62,4	63,0
SD9	5,01	7,80	8,40	8,42	8,50	21,1	53,4	58,5	59,0	59,6
SD12	4,85	7,72	8,10	8,25	8,30	22,6	55,5	57,3	58,1	59,1
SD15	4,55	7,46	7,95	8,17	8,20	21,7	53,7	57,2	58,0	58,5
UK10+SD6	5,18	7,66	8,65	8,96	9,25	26,7	57,7	61,7	62,4	63,7
UK10+SD9	4,75	7,68	8,72	8,81	8,86	22,4	51,4	54,9	55,3	56,6
UK10+SD12	4,71	7,80	8,35	8,42	8,50	21,0	55,6	58,7	59,9	60,5
UK10+SD15	4,51	8,00	8,51	8,59	8,65	21,3	59,8	62,5	63,7	64,8
UK20+SD6	4,56	8,00	8,20	8,32	8,39	20,9	54,5	65,3	66,8	67,9
UK20+SD9	4,72	7,90	8,40	8,50	8,60	21,5	52,9	64,4	65,8	66,5

Tablo 6.6.'daki değerlere göre eğilmede çekme ve basınç dayanımı grafiği çizilmiştir. Bu grafikler Şekil 6.5. ve Şekil 6.6.'da verilmiştir.



Şekil 6.5. Şehir şebeke suyu eğilmede çekme dayanımı grafiği



Şekil 6.6. Şehir şebeke suyu basınç dayanımı grafiği

Poon vd. yaptıkları çalışmada, UK içeren ve düşük su/bağlayıcı oranlarında hazırlanan karışımların yüksek su/bağlayıcıya sahip karışımlara göre daha iyi dayanım gösterdiğini belirtmişler. Ayrıca beton karışımlarında UK'nin dayanıma olan katkısı harç karışımlara göre daha iyi olmaktadır [61].

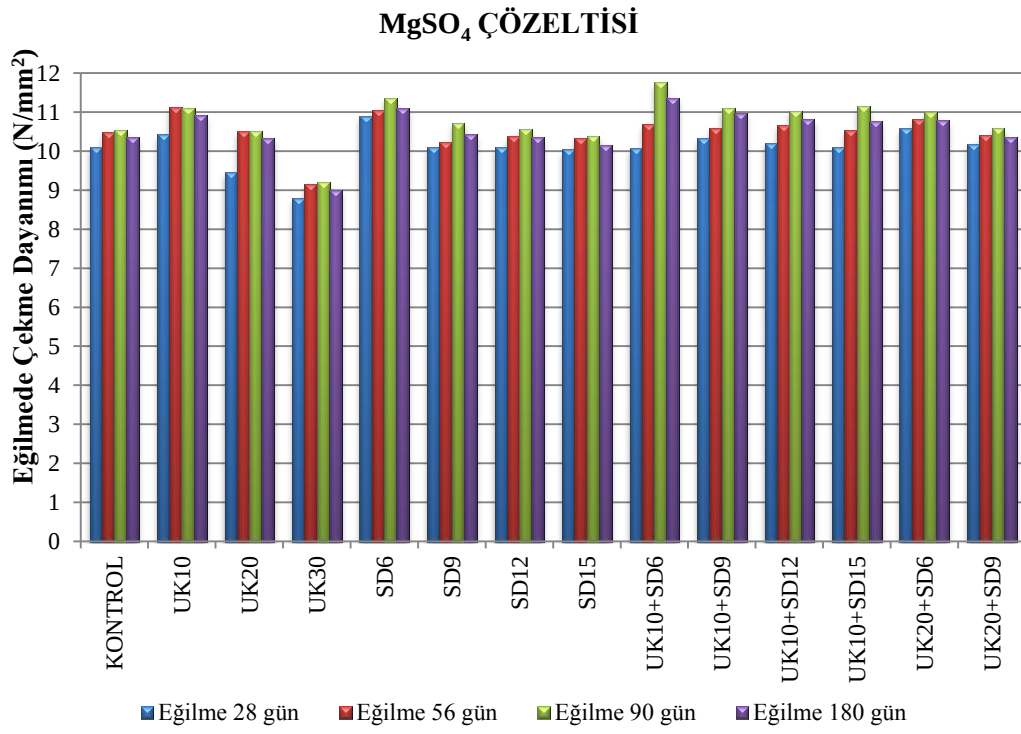
Duval vd. çalışmalarında, SD içeren KYB'lerin basınç dayanımındaki artışı, çok düşük su/bağlayıcı oranlarına bağlamışlardır. Basınç dayanımı, %20 SD katkısına kadar artmakta ve %10-15 oranında maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Bununla birlikte dayanım kazanma hızı kontrol betonunkine göre %15 daha az olmaktadır [62].

2.28, 56, 90 ve 180 gün $MgSO_4$ çözeltisi kür ortamında bekletilen harç numunelerinin üç noktalı eğilme çekme ve basınç dayanımı değerleri Tablo 6.7.'de verilmiştir.

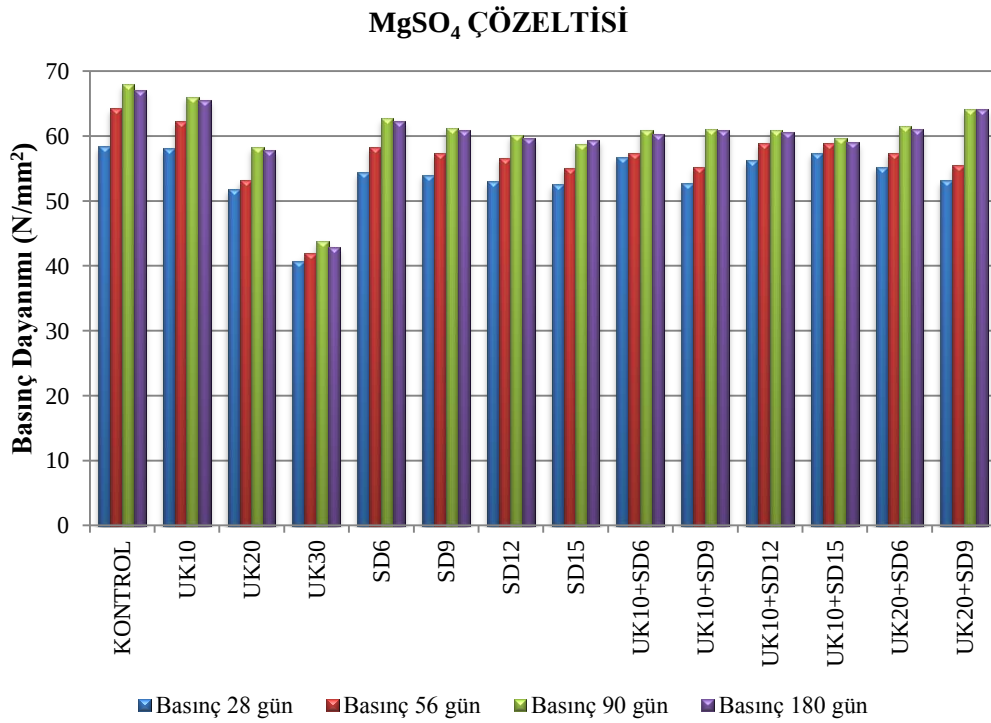
Tablo 6.7. $MgSO_4$ çözeltisi küründeki harç numunelerinin eğilme ve basınç değerleri

$MgSO_4$ ÇÖZELTİSİ KÜRÜ DEĞERLERİ								
Numune Adı	Eğilme Çekme Dayanımı (N/mm²)				Basınç Dayanımı (N/mm²)			
	28 gün	56 gün	90 gün	180 gün	28 gün	56 gün	90 gün	180 gün
UK0 - SD0	10,09	10,48	10,54	10,36	58,4	64,2	67,9	67,0
UK10	10,43	11,14	11,10	10,93	58,1	62,3	66,0	65,6
UK20	9,45	10,51	10,50	10,34	51,8	53,1	58,2	57,8
UK30	8,79	9,15	9,21	8,96	40,8	42,0	43,8	42,8
SD6	10,90	11,04	11,35	11,10	54,3	58,2	62,7	62,3
SD9	10,11	10,22	10,70	10,44	54,0	57,4	61,2	60,8
SD12	10,09	10,39	10,57	10,35	53,0	56,6	60,1	59,7
SD15	10,04	10,33	10,39	10,16	52,5	55,1	58,8	59,4
UK10+SD6	10,06	10,68	11,77	11,37	56,8	57,4	60,9	60,3
UK10+SD9	10,32	10,59	11,09	10,97	52,7	55,2	61,1	60,9
UK10+SD12	10,20	10,67	11,03	10,80	56,3	58,6	60,8	60,5
UK10+SD15	10,09	10,53	11,14	10,77	57,4	58,9	59,7	59,0
UK20+SD6	10,58	10,81	11,00	10,78	55,2	57,4	61,6	61,0
UK20+SD9	10,18	10,40	10,59	10,35	53,2	55,5	64,1	64,2

Tablo 6.7.'deki değerlere göre eğilme çekme ve basınç dayanımı grafiği çizilmiştir. Bu grafikler Şekil 6.7. ve Şekil 6.8.'de verilmiştir.



Şekil 6.7. MgSO₄ çözeltisi eğilmede çekme dayanımı grafiği



Şekil 6.8. MgSO₄ çözeltisi basınç dayanımı grafiği

Şekil 6.7. ve Şekil 6.8. incelendiğinde SD ve UK miktarı arttıkça $MgSO_4$ çözeltisinde bekletilen harç numunelerinin eğilmede çekme ve basınç dayanımlarında 90 günden sonra azalmalar olduğu görülmektedir. Dayanımdaki bu azalma 180 günden sonra daha belirgin olmaktadır.

Park vd. tarafından yapılan çalışmada, SD içeren yüksek dayanımlı betonlarda, SD oranı arttıkça sodyum sülfat etkisine karşı direncin arttığı, magnezyum sülfat etkisine karşı direnci azaldığı belirtilmiştir [38].

Al-Amoudi çalışmasında SD, yüksek fırın cürufu, UK ve doğal puzolanların betonun sodyum sülfat etkisine karşı direncini arttırdığı tespit etmiştir. Bu katkıların magnezyum sülfat etkisinde betondaki CH'yi C-S-H yapısına çevirdiği için sülfat iyonunun betonun direkt C-S-H yapısıyla reaksiyona girmesini sağladığından betonun magnezyum sülfat etkisine karşı direncini azalttığını belirtmiştir [36].

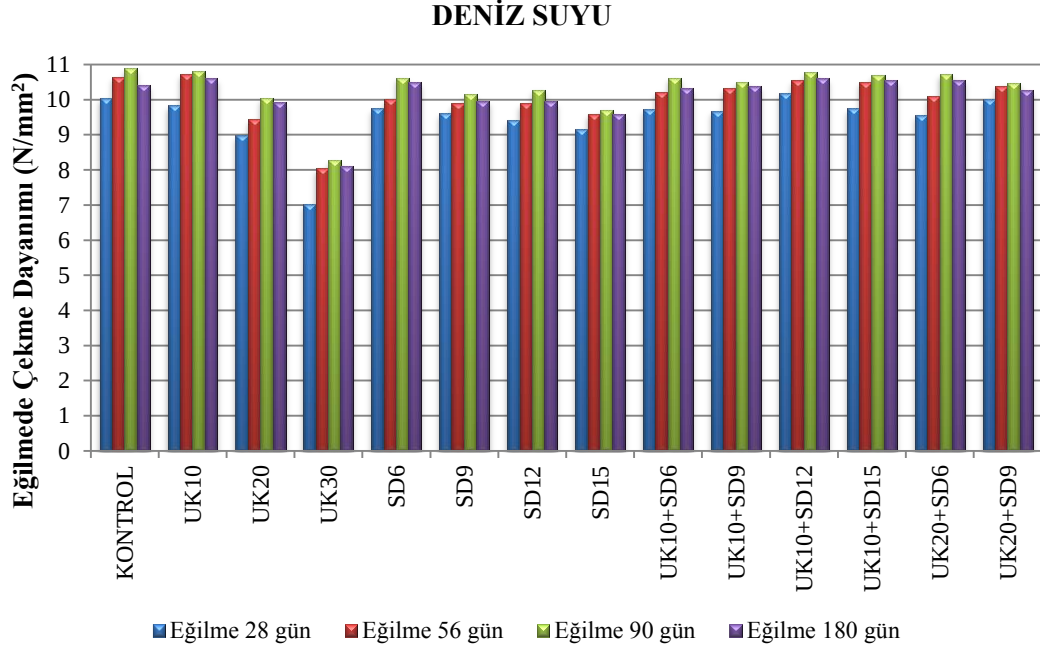
Tikalsky vd. %25, %35 ve %45 oranlarında uçucu kül kullanılarak yaptıkları çalışmada, yüksek kireçli uçucu küllerin betonda sülfata dayanıklılığı azalttığı, düşük kireçli uçucu küllerin ise betonda sülfata dayanıklılığı arttırdığı belirlemiştir [44].

3.28, 56, 90 ve 180 gün deniz suyu kür ortamında bekletilen harç numunelerinin üç noktalı eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri Tablo 6.8.'de verilmiştir,

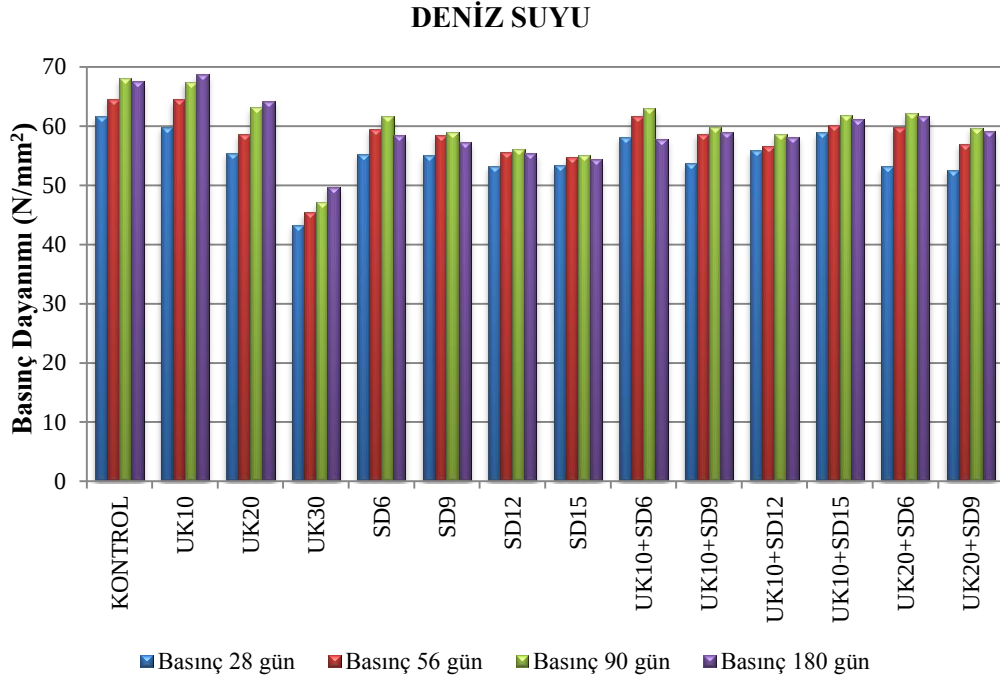
Tablo 6.8. Deniz suyu küründeki harç numunelerinin eğilme ve basınç değerleri

DENİZ SUYU KÜRÜ DEĞERLERİ								
Numune Adı	Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm²)				Basınç Dayanımı (N/mm²)			
	28 gün	56 gün	90 gün	180 gün	28 gün	56 gün	90 Gün	180 gün
UK0 - SD0	10,05	10,66	10,90	10,42	61,6	64,6	68,0	67,6
UK10	9,84	10,73	10,81	10,61	59,8	64,5	67,4	68,6
UK20	8,98	9,45	10,04	9,93	55,4	58,7	63,1	64,1
UK30	7,02	8,05	8,27	8,10	43,3	45,4	47,1	49,7
SD6	9,75	10,01	10,62	10,50	55,3	59,5	61,6	58,5
SD9	9,62	9,89	10,15	9,96	55,0	58,5	59,0	57,3
SD12	9,42	9,89	10,28	9,95	53,3	55,6	56,1	55,4
SD15	9,15	9,60	9,71	9,58	53,3	54,7	55,1	54,4
UK10+SD6	9,73	10,22	10,62	10,33	58,2	61,6	62,9	57,8
UK10+SD9	9,69	10,32	10,51	10,40	53,6	58,7	59,8	58,9
UK10+SD12	10,19	10,56	10,78	10,60	55,9	56,5	58,5	58,1
UK10+SD15	9,75	10,51	10,71	10,56	58,9	60,1	61,7	61,1
UK20+SD6	9,56	10,10	10,73	10,56	53,2	59,8	62,1	61,7
UK20+SD9	10,03	10,39	10,48	10,26	52,6	57,0	59,7	59,0

Tablo 6.8.'deki değerlere göre eğilmede çekme ve basınç dayanımı grafiği çizilmiştir. Bu grafikler Şekil 6.9. ve Şekil 6.10.'da verilmiştir.



Şekil 6.9. Deniz suyu eğilmede çekme dayanımı grafiği



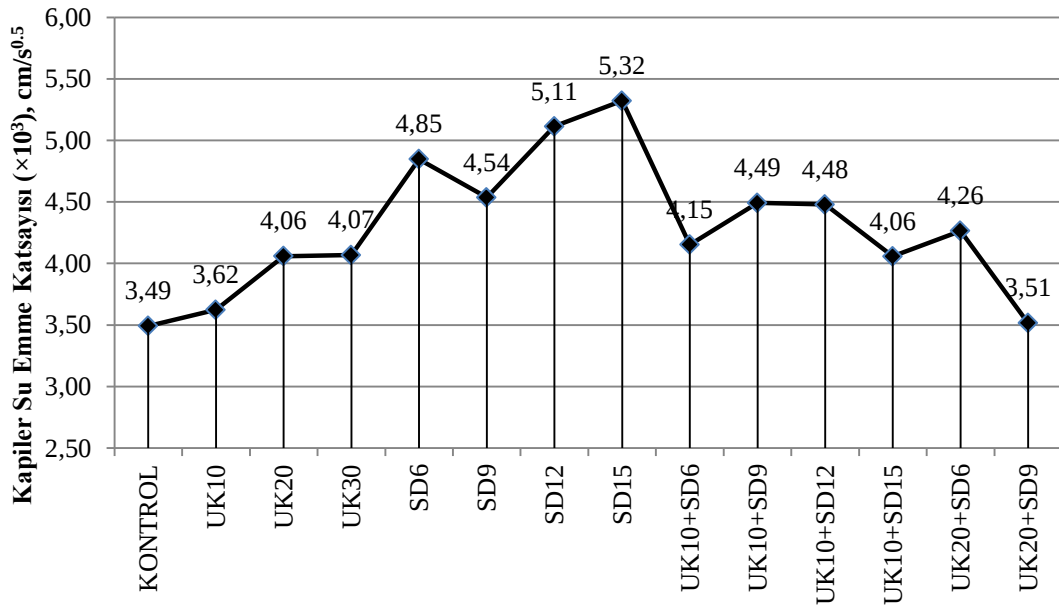
Şekil 6.10. Deniz suyu basınç dayanımı grafiği

Şekil 6.9. ve Şekil 6.10. incelendiğinde SD ve UK miktarı arttıkça deniz suyunda bekletilen harç numunelerinin eğilmede çekme dayanımlarında 90 günden sonra azalmalar olduğu görülmektedir. Dayanımdaki bu azalma 180 günden sonra daha belirgin olmaktadır. UK içeren ikili numunelerin 180 güne kadar basınç dayanımlarının yükselmeye devam ettiği, diğer karışımlarda 90 günden sonra basınç dayanımlarında düşüş görülmektedir.

Sibbick vd. tarafından yapılan bir çalışmada deniz suyuna maruz kalan betonlarda meydana gelen hızlı bozulmanın deniz suyunda bulunan magnezyum iyonu saldırısından kaynaklandığı belirtmişlerdir. Elektron mikroskobu ve XRD analizlerinden deniz suyunun tomasit, etrenjit, brüst ve hidrate magnezyum silikat gibi reaksiyon ürünlerini oluşturduğu belirtmişlerdir [54].

6.5. Kapiler Su Emme Katsayısı, Toplam Su Emme Kapasitesi ve Porozite

Bölüm 5.5.'deki değerlere göre hazırlanan 50 mm'lik küp numuneler 28 gün suda kür edildikten sonra etüvde kurutulup yan yüzeyleri yalıtım malzemesiyle kaplanmış ve su emme deneyi için hazırlanan düzeneklere yerleştirilmiştir. Bu numuneler belirli aralıklarla tartılıp su emme miktarları belirlenmiştir. Yapılan tartım sonuçlarında denklem (5.6) kullanılarak hazırlanan kapiler su emme katsayısı grafiği Şekil 6.11.'de verilmiştir.



Şekil 6.11. Kapiler su emme katsayıları grafiği

Şekil 6.11. incelendiğinde en yüksek su emmenin en fazla inceliğe sahip SD ilaveli karışımlarda olduğu gözlenmiştir. Çok ince yapıya sahip olan SD beton içerisinde birbirleriyle bağlantılı boşluk çaplarının daha az olmasını sağlamaktadır. Ayrıca su/çimento oranının artması da su emmeyi arttırmaktadır.

İlker Ustabaş çalışmasında, mineral katkısız, UK, SD ve yüksek fırın cürufu ilaveli numuneler üzerinde 1, 2, 4 ve 24 saatlik periyotlarda kılcal su emme deneyi yapmıştır. Deney sonucunda en çok su emme değerinin SD ilaveli numunelere ait olduğunu belirtmiştir. Mineral katkısız betonun su emmesinin en az olduğunu, bunu sırasıyla UK ilaveli, yüksek fırın cürufu ilaveli ve SD ilaveli numunelerin takip ettiğini belirtmiştir [30].

Fatih Özcan çalışmasında, SD katkılı 28 günlük numuneler üzerinde farklı su/çimento oranlarında su emme deneyi yapmıştır. SD miktarıyla beraber su/çimento miktarının da artmasıyla su emme miktarlarının da arttığı belirtilmiştir. Özellikle %40 SD katkılı ve 0,60 su/çimento oranına sahip harçlarda su emmenin daha fazla olduğunu gözlemlemiştir. Su emme değerleriyle orantılı olarak harçlara ait boşluk oranı değerlerinin de SD değeri yüksek karışımlarda arttığını belirtmiştir [63].

Numunelerin etüv kuru ağırlıkları, doymun kuru yüzey ağırlıkları ve su içindeki ağırlıkları Tablo 6.9.'da verilmiştir.

Tablo 6.9. Numunelerin etüv kuru, doymun kuru yüzey ve su içindeki ağırlıkları

Numune Adı	Etüv Kuru Ağırlık (W ₁)	Su İçindeki Ağırlık (W ₂)	Doymun Kuru Yüzey Ağırlık (W ₃)
UK0 - SD0	252,13	156,29	278,51
UK10	252,35	156,03	277,43
UK20	263,20	162,23	290,33
UK30	256,14	156,99	284,43
SD6	243,82	151,54	276,16
SD9	232,02	143,63	265,56
SD12	230,72	143,00	266,33
SD15	232,17	144,15	269,90
UK10+SD6	254,16	157,77	284,33
UK10+SD9	249,14	154,62	282,04
UK10+SD12	250,43	155,83	284,48
UK10+SD15	237,90	146,99	271,33
UK20+SD6	251,69	156,41	281,56
UK20+SD9	247,23	152,40	276,85

Tablo 6.9.'daki değerler doğrultusunda denklem (6.1), (6.2), (6.3) ve (6.4) kullanılarak toplam su emme kapasitesi (%), porozite (%) ve numunelerin yoğunlukları bulunmuş ve bu değerler Tablo 6.10. ve Tablo 6.11.'de verilmiştir.

$$\text{Porozite (\%)} = \frac{W_3 - W_1}{W_3 - W_2} \times 100 \quad (6.1)$$

$$\text{Toplam su emme kapasitesi (\%)} = \frac{W_3 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (6.2)$$

$$\text{Doygun kuru yzey yoğunluk } \delta_{dyk} = \frac{W_3}{W_3 - W_2} \quad (6.3)$$

$$\text{Görünür yoğunluk } \delta_g = \frac{W_1}{W_1 - W_2} \quad (6.4)$$

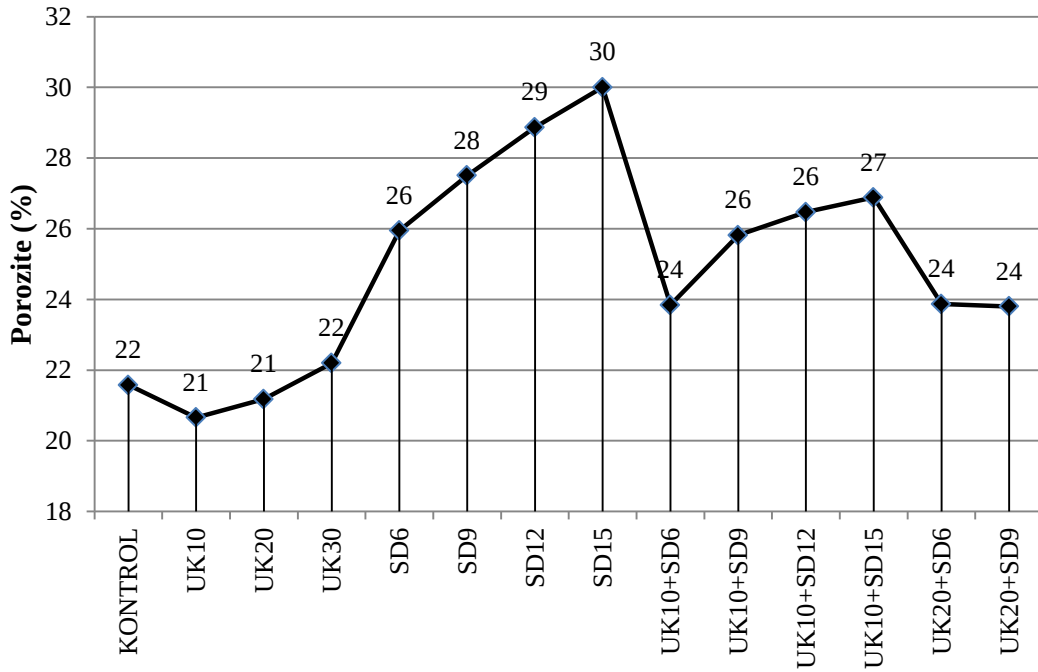
Tablo 6.10. 50 mm'lik küp numunelerin yoğunlukları

Numune Adı	Doygun Kuru Yzey Yoğunluk (gr/cm ³)	Görünür Yoğunluk (gr/cm ³)
UK0 - SD0	2,28	2,63
UK10	2,29	2,62
UK20	2,27	2,61
UK30	2,23	2,58
SD6	2,22	2,64
SD9	2,18	2,62
SD12	2,16	2,63
SD15	2,15	2,64
UK10+SD6	2,25	2,64
UK10+SD9	2,21	2,64
UK10+SD12	2,21	2,65
UK10+SD15	2,18	2,62
UK20+SD6	2,25	2,64
UK20+SD9	2,22	2,61

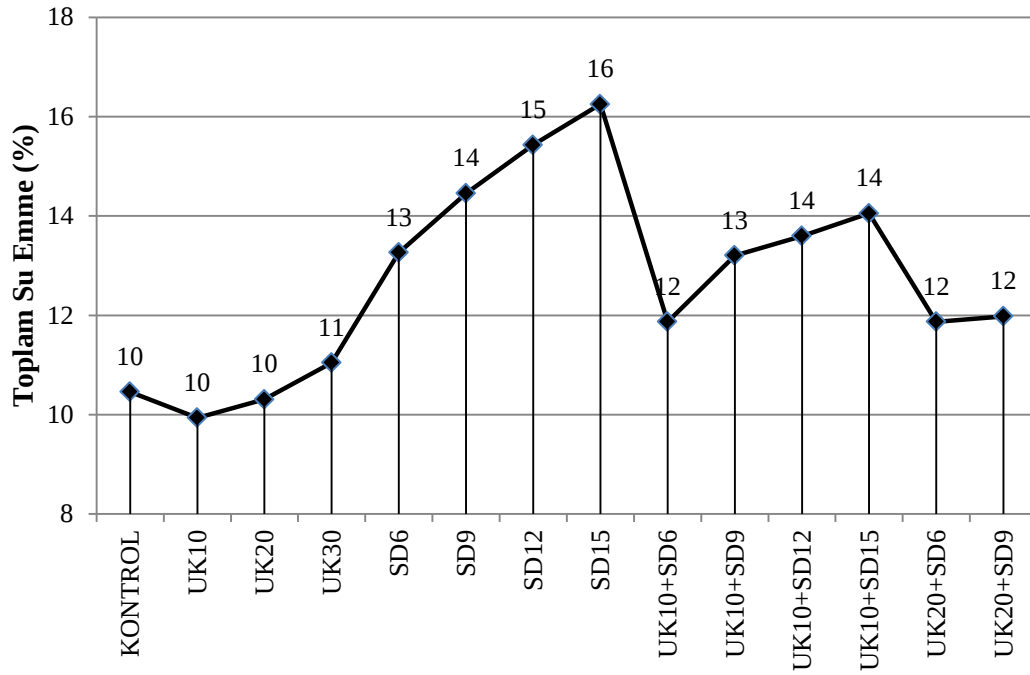
Tablo 6.11. 50 mm'lik küp numunelerin toplam su emme kapasitesi ve porozite

Numune Adı	Toplam Su Emme Kapasitesi(%)	Porozite(%)
UK0 - SD0	10,46	21,58
UK10	9,94	20,66
UK20	10,31	21,18
UK30	11,04	22,20
SD6	13,26	25,95
SD9	14,46	27,51
SD12	15,43	28,87
SD15	16,25	30,00
UK10+SD6	11,87	23,84
UK10+SD9	13,20	25,82
UK10+SD12	13,60	26,47
UK10+SD15	14,05	26,88
UK20+SD6	11,87	23,87
UK20+SD9	11,98	23,80

Tablo 6.11.'deki değerlere ait grafikler Şekil 6.12. ve Şekil 6.13.'de verilmiştir.



Şekil 6.12. Boşluk oranlarının değişimi



Şekil 6.13. Toplam su emme kapasitesi değişimleri

Şekil 6.12. ve Şekil 6.13. incelendiğinde hazırlanan karışımlarda porozite ve toplam su emme değerlerinin Şekil 6.12.’deki grafikte benzerlik gösterdiği görülmektedir. Porozite ve toplam su emme değerlerinde de SD miktarı arttıkça değerlerin arttığı görülmektedir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, harçlara ait numunelerin işlenebilirlik ve kıvamını tayin etmek için mini çökme-yayılma deneyi, mini V-hunisi deneyi ve viskozimetre deneyi yapılmıştır. Mekanik özellikleri belirlemek için eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Ayrıca Kapiler su emme deney sonuçlarına göre tüm harç numunelerin kapiler su emme katsayısı, porozite ve toplam su emme değerleri bulunmuştur. Yapılan deneylere göre aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- UK içeren ve içermeyen harçlarda UK miktarının artmasıyla işlenebilirliğin arttığı görülmüştür.
- SD içeren ve içermeyen harçlarda SD miktarının artmasıyla karışımın su tutma özelliğinin arttığı belirlenmiştir. Böylece, EFNARC (2002)'ın önerdiği yayılma çaplarını elde edebilmek için karışımdaki su miktarı artırılmıştır.
- SD ve UK mineral katkılarının çimentoyla birlikte kullanıldığı harç numunelerinde UK oranı sabit tutulup SD oranı değiştirildiğinde karışımlarda SD'nin hâkim olduğu görülmüştür.
- UK ve SD içeren harç numunelerinin normal kür ortamında eğilme ve basınç dayanımlarında zamanla artış görülmüştür.
- Şehir şebeke suyunda kür edilen numunelerin eğilmede çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde UK oranı %10 iken kontrol harcı ile karşılaştırıldığında ilk dayanımındaki kaybın %6 olduğu, UK oranı %30'a çıktığında bu kaybın %35'e çıktığı belirlenmiştir. 28 günlük eğilmede çekme dayanımına bakıldığında UK oranının %10 olduğu numunede dayanım kaybı %6'iken, UK oranı %30'a çıktığında dayanım kaybı %22'ye düşmüştür. 180 günlük nihai dayanıma bakıldığında %10 UK içeren harcın eğilmede çekme dayanımının %2 arttığı ve UK oranının %30'a ulaşmasıyla dayanım kaybının %18'e düştüğü görülmüştür. Bu da UK'nın puzolanik bir malzeme olduğu için dayanım kazanma süresinin uzun olduğunu göstermektedir.
- Şehir şebeke suyunda kür edilen numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde UK oranı %10 olan numunede kontrol harcı ile karşılaştırıldığında ilk dayanımındaki kayıp %3 iken UK oranı %30'a çıktığında bu kaybın %41'e çıktığı belirlenmiştir. 28 günlük dayanıma bakıldığında UK

oranı %10 iken basınç dayanımı kaybı %4'ten, UK oranı %30'a çıktığında dayanım kaybı %30'a düşmüştür. 180 günlük nihai dayanıma bakıldığında %10 UK içeren harcın basınç dayanımının %1 arttığı ve UK oranının %30'a ulaşmasıyla dayanım kaybının %28'e düştüğü görülmüştür. Bu da UK'nın puzolanik bir malzeme olduğu için dayanım kazanma süresinin uzun olduğunu göstermektedir.

- Şehir şebeke suyunda kür edilen numunelerin eğilmede çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde SD oranı %6 olan numunede kontrol harcı ile karşılaştırıldığında ilk dayanımındaki kayıp %9 iken SD oranı %15'e çıktığında bu kaybın %25'e çıktığı belirlenmiştir. 28 günlük dayanıma bakıldığında SD oranı %6 iken eğilmede çekme dayanımı kaybı %16'dan, SD oranı %15'e çıktığında dayanım kaybı %19'a düşmüştür. 180 günlük nihai dayanıma bakıldığında %6 SD içeren harcın eğilmede çekme dayanımının %10 azaldığı ve SD oranının %15'e ulaşmasıyla dayanım kaybının %15'e düştüğü görülmüştür. SD karışımlarını belirlerken EFNARC (2002)'nin önerdiği çökme yayılma aralığını tutturmak için karışımlardaki su/toz oranı artırılmıştır. Bu da SD içeren karışımların dayanımlarında düşüşe neden olmuştur. Ayrıca SD'nin puzolanik bir malzeme olduğu için dayanım kazanma süresinin uzun olduğu görülmüştür.
- Şehir şebeke suyunda kür edilen numunelerin basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde SD oranı %6 olan numunede kontrol harcı ile karşılaştırıldığında ilk dayanımındaki kayıp %19 iken SD oranı %15'e çıktığında bu kaybın %37'e çıktığı belirlenmiştir. 28 günlük dayanıma bakıldığında SD oranı %6 iken basınç dayanımı kaybı %10'dan, SD oranı %15'e çıktığında dayanım kaybı %16'ya düşmüştür. 180 günlük nihai dayanıma bakıldığında %6 SD içeren harcın basınç dayanımının %8 azaldığı ve SD oranının %15'e ulaşmasıyla dayanım kaybının %15'e düştüğü görülmüştür. SD içeren karışımların su/toz oranının yüksek olması basınç dayanımlarında düşüşe neden olmuştur. Ayrıca SD'nin puzolanik bir malzeme olduğu için dayanım kazanma süresinin uzun olduğu görülmüştür.
- Şehir şebeke suyunda kür edilen numunelerin nihai basınç ve eğilmede çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde en iyi sonucun kontrol harcından yüksek olan %10 UK içeren harca ait olduğu belirlenmiştir.
- Şehir şebeke suyunda kür edilen numunelerin basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı sonuçları incelendiğinde UK+SD içeren ikili karışımlarda

puzolanik malzeme miktarının artması ilk dayanımdaki düşüş oranını artırmıştır. Nihai dayanımlara bakıldığında ikili karışımlarda eğilmede çekme dayanımında en iyi sonucun %4 kayıpla %10UK+%6SD içeren numuneye ait olduğu belirlenmiştir. Nihai basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında ikili karışımlarda en iyi sonucun %1 kayıpla %20UK+%6SD içeren numuneye ait olduğu tespit edilmiştir.

- Magnezyum sülfat çözelti k r ortamında bulunan harç numuneleri basınç deneyine tabi tutulduklarında yan yüzeylerinin deney sonucunda kolay bir şekilde döküldüğü görülmüştür. Magnezyum sülfat atağına maruz harçlarda yüzey yumuşamasıyla birlikte çatlak oluşumu türünde bozulmalara rastlanmıştır. Çözeltinin zamanla kristalle   i ve çökelme meydana geldiği belirlenmi  t r. Bu yüzden çözeltinin maksimum 1 ay sonunda yenilenmesi gerektiği tespit edilmi  t r. Ayrıca magnezyum sülfat çözeltisinde k r edilen numunelerin dayanım kayıpları 90 günden sonra ba lam   ve 180 günden sonra etkinin daha belirgin oldu   görülmüştür. Özellikle bu tür deneylerin daha etkili olabilmesi için bu sürenin daha uzun tutulması gerektiği tespit edilmi  t r.
- 28 günlük kür süresi sonunda  ehir suyunda bekletilen numunelerle karşılaştırıldığında magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen UK ve SD içeren harçların eğilmede çekme dayanımlarının arttığı görülmüştür. 28 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen UK ve SD içeren numunelerde belirgin miktarda dayanım kaybı olmadığı görülmüştür. 180 günlük kür süresi sonunda  ehir suyunda bekletilen numunelerle karşılaştırıldığında magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen UK ve SD içeren harçların eğilmede çekme dayanımlarının arttığı görülmüştür. 180 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde UK oranının %30'a çıkmasıyla magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin dayanım kaybının %14'e çıktığı görülmüştür. SD oranının %15'e çıkmasıyla magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin basınç dayanımlarında önemli bir değişim belirlenmemi  t r. İkili karışımlarda 180 günlük kür süresinin sonunda magnezyum sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin basınç dayanımlarında önemli bir değişim belirlenmemi  t r. Bu da böyle bir deney için k r süresinin yeterli olmadığını göstermektedir.

- Eğilmede çekme dayanımları incelendiğinde şehir şebeke suyunda kür edilen numunelere kıyasla deniz suyunda kür edilen numunelerden sadece %30UK içeren numunede çok az bir dayanım kaybı meydana gelmiştir. 180 günlük kür süresinin sonunda tüm karışımların şehir şebeke suyunda kür edilen numunelerle kıyaslandığında eğilmede çekme dayanımlarında artış meydana gelmiştir. 28 günlük kür süresinin sonunda tüm numunelerin basınç dayanımlarında belirgin bir değişiklik gözlenmemiştir. 90 günün sonunda deniz suyunda bekletilen numunelerin basınç dayanımlarında düşüş gözlenmeye başlamıştır. UK içeren karışımların basınç dayanımlarındaki kayıp belirgin düzeyde olmamakla birlikte UK içermeyen karışımda %14 oranında bir kayıp belirlenmiştir. SD içeren karışımlarda çok düşük bir kayıp görülmüştür. Bu da özellikle C sınıfı UK içeren harçların deniz suyuna karşı iyi bir dirence sahip olduğunu göstermiştir.
- Tüm harç karışımlarında magnezyum sülfat çözeltisindeki numunelerin sonuçları deniz suyundaki numunelerin sonuçlarından biraz daha düşük çıkmıştır.
- Harç numunelerinde yapılan kapiler su emme deney sonuçlarına göre su/toz oranı arttıkça geçirimsilik de artmıştır. Özellikle bu durum SD'li karışımlarda SD oranı arttıkça daha belirgin olmuştur ve %15 SD'li karışımda maksimum seviyeye çıkmıştır. UK ve SD'nin birlikte kullanıldığı karışımlarda su/toz oranı azaldığı için geçirimsilik de azalmıştır. Geçirimsiliğin arttığı harç numunelerinde porozite değerleri de arttığı için toplam su emme değerleri artmıştır.
- Geçirimsiliği azaltmaktaki en önemli amaç dayanıklılığı arttırmaktır. Bu çalışmada geçirimsilik için UK ve SD kullanılmış olsa bile su/toz oranının fazlalığı geçirimsiliği arttırmıştır. Bu durum, harç numunelerine uygulanan kür ortamlarındaki sülfatın daha etkin olmasına neden olup dayanım değerlerini az da olsa düşürmüştür.

8. KAYNAKLAR

- [1] **Felekoğlu, B.**,2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 267 s, İzmir.
- [2] **EFNARC**, May 2005. European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification and Production and Use, Association House, UK, (www.efnarc.org), 68 p.
- [3] **Özkul,M.H.**,2002. Beton Teknolojisinde bir devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton, THBB Hazır Beton Dergisi, Sayı 52, ss. 64-71.
- [4] **Brueckner, R.**, 2007. Accelerating the Thaumasite Form of Sulfate Attack and an Investigation of Its Effects on Skin Friction, Ph.D. Thesis, Birmingham University.
- [5] **Neville, A.**,2004. The confused world of sulfate attack on concrete, Cement and Concrete Research, Cilt 34, s. 1275–1296.
- [6] **EFNARC**, 2002. Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete, EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org, ISBN 0953973344, 32p.
- [7] **Semioli, W.J.**, 2001. Self-Placing Concrete, Concrete International, Vol. 23, No.12, pp. 69-72.
- [8] **Nielsson, I. andWallevic, O.H.**, August 2003. Rheological evaluation of some empirical test methods-Preliminary results-, 3rd Int. Symp. on Self-Compacting Concrete, Ed. by O. Wallevic and I. Nielsson, pp. 59-68, Reykjavic, Iceland.
- [9] **Şahmaran, M.,Christianto, H.A. andYaman, İ.Ö.**, 2006. The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars, Cement & Concrete Composites 28, 432-440.
- [10] **Topçu, İ.B., Ünal, O. veUygunoğlu, T.**,2007. Kendiliğinden yerleşen betonda mineral katkıların taze beton özelliklerine etkilerinin araştırılması, 2. Yapıda Kimyasal Katkılar Sempozyumu (Beton ve Harçlarda), 12-13 Nisan, Ankara, ss. 181-193.

- [11] **TS EN 196-1**, Mart 2002. Çimento Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [12] **TS 706 EN12620**, 2003. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [13] **Gürses, O.**, Eylül 2008. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri Ve Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 86 s, Sakarya.
- [14] **TS EN 450**, 1998. Uçucu kül, Betonda kullanılan tarifler, özellikler ve kalite kontrolü, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [15] **ASTM C 618**, 1994. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- [16] **Mehta, P.K.**, Natural Pozzolans Department of Civil Engineering, University of California Berkeley, California USA.
- [17] **Erdoğan, T.Y.**, 2003. Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, s 188-203, Ankara.
- [18] **Yeğinoğlu, A.**, 2007. Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge Enstitüsü, Ankara.
- [19] **Sağlam, A.R., Parlak, N., Doğan, U.A. ve Özkul, M.H.**, 2004. Kendiliğinden yerleşen beton ve katkı-çimento uyumu, Beton 2004 Kongresi, 10-12 Haziran, ss. 213-224, İstanbul.
- [20] **Sağlık, A., Kocabeyler, F. ve Tunç, E.**, 2007. Kimyasal ve mineral katkıların kütle beton tasarımında yeri, Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 12-13 Nisan, Ankara.
- [21] **Danzinger, M.W., Saitoh, K. and Jost, P.**, 2002. Self-Consolidating Concrete: Key Learning and Their Effects on Current Applications, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 417-422.
- [22] **TS EN 1008**, Nisan 2003. Beton - Karma Suyu - Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [23] **İnce, R.**, 2005. Yapı Malzemesi Ders Notları, Fırat Üniversitesi, 46 s.

- [24] **Okamura, H. and Ouchi, M.**, April 2003. Self-compacting concrete, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 5-15.
- [25] **Sağlam, A.R. ve Özkul, M.H.**, Şubat 2006. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik Özelliklerine Bileşim Parametrelerinin Etkisi, İTÜ dergisi.
- [26] **Karataş, M.**, 2007. Mineral Katkı Dozajının Ve Türünün Kendiliğinden Sıkışan Betondaki Donatı Aderansına Etkisi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 90 s.
- [27] **Kandemir, A.**, Eylül 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kalıcılık Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 188s, İzmir.
- [28] **Skalny, J., Marchand, J. and Odler, I.**, 2002. Sulfate Attack on Concrete, Spon Press, New York.
- [29] **Nehdi, M. and Hayek, M.**, 2005. Behavior of Blended Cement Mortars Exposed to Sulfate Solutions Cycling in Relative Humidity, Cement and Concrete Research, 735-742.
- [30] **Ustabaş İ.**, 2008. Sülfat Etkisine Maruz Mineral Katkılı Beton Ve Harçların Performansının İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 135s, Trabzon.
- [31] **Santhanam, M., Cohen, M.D. and Olek, J.**, 2003. Effect of Gypsum Formation on the Performance of Cement Mortars During External Sulfate Attack, Cement and Concrete Research, 32, 325-332.
- [32] **Diamond, S. and Lee, R.J.**, 1999. Microstructural Alterations Associated With Sulfate Attack in Permeable Concretes, American Ceramic Society , 123-174.
- [33] **Collepardi, M.**, 2003. A state-of-the Art on Delayed Ettringite Attack on Concrete, Cem.&Conc. Com., 25, 401-407.
- [34] **Thomas, M.D.A., Rogers, C.A. and Bleszynski, R.F.**, 2003. Occurrences of Thaumasite in Laboratory and Field Concrete, Cement and Concrete Research, 25, 1045-1050.
- [35] **Irassar, E.F., Gonzalez, M. and Rahhal, V.**, 2000. Sulfate Resistance of Type V Cement with Limestone Filler and Natural Pozzolana, Cem.&Conc. Com., 22, 361-368.

- [36] **Al-Amoudi, O.S.B.**, 2002. Attack on Plain and Blended Cement Exposed to Aggressive Sulfate Environments, *Cement & Concrete Composites*, 24, 305-316.
- [37] **Baradan, B.,Yazıcı, H. ve Ün, H.**, 2002. “Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)” D.E.Ü. Müh. Fak. Yayın No. 298, 282 s.
- [38] **Park, Y.S., Suh, J.K., Lee, J.H. andShin, Y.S.**, 1999. Strength Deterioration of High Strength Concrete in Sulfate Environment, *Cement and Concrete Research*, Vol. 29, pp. 1397-1402.
- [39] **Aköz, F.,Fikret, T., Koral, S. andYüzer, N.**, 1999. Effects of Raised Temperature of Sulfate Resistance of Mortars with and without Silica Fume, *Cement and Concrete Research*, Vol.29, pp. 537-544.
- [40] **Yeğınobalı, A.**, 2007. Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge Enstitüsü, Ankara.
- [41] **Chindaprasirt, P.,Homwuttiwong, S. andSirivivatnanon, V.**,2004. Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar, *Cement and Concrete Research*, 34, 1087–1092.
- [42] **Yazıcı, H.**, 2006. Yüksek fırın cürufu katkılı harçların sülfat dayanıklılığının incelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8, (1) 51– 58. www.eng.deu.edu.tr/fenmuh/s22/22-04.pdf.
- [43] **Nawy, E. G.**, 2001. *Fundamentals of High-Performance Concrete*, John Wiley and Sons, Canada, 441p.
- [44] **Tikal sky, P.J. and Carrasquillo, R.L.**, January-February 1992. İnfulunce of Fly Ash on the Sulfate Resistance of Concrete, *ACI Material Journals*, V.89, No.1, pp. 69-75.
- [45] **Ramyar, K. and İnan, G.**,2007. Sodium sulfate attack on plain and blended cements,*Building and Environment*, 42, 1368–1372.
- [46] **Canbaz, M.**, 2001. Silis Dumanlı Betonların Mikro Yapısının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 85s, Eskişehir.
- [47] **Roy, D.M.,Arjunan, P., Silsbee M.R.**, 2001. Effect of Silica Fume, Metekaolin and Low-Calcium Fly Ash on Chemical Resistance of Concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, No. 12, pp. 1809-1813.
- [48] **SAMSUN Su Ürünleri Araştırma Merkezi**

- [49] **Yazıcı, H.,Türkel, S., Yiğiter, H. ve Aydın, S.,** 2003. Beton içindeki bağlayıcı miktarının betonun deniz suyuna dayanıklılığına etkisi, 5. Ulusal Beton Kongresi.Bildiriler Kitabı, Alaş Matbaası.
- [50] **Akman, M.S.,** 1992. Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi, İTÜ Basımevi, İstanbul.
- [51] **) Neville, A.,** 2003. Properties on Concrete, Final Edition, Wiley, Newyork.
- [52] **Lorenzo, M.P.,Goni, S. and Guerrero, A.,** 2003. Role of aluminous component of fly ash on the durability of portland cement-fly ash pastes in marine environment, Waste Management.
- [53] **Shannag, M.J. andShaia, H.A.,** 2003. Sulfate resistance of high-performance concrete, Cement and Concrete Composites, 25, 363–369.
- [54] **Sibbick, T.,Fenn, D. andCrammond, N.,**2003. The occurrence of thaumasite as a product of seawater attack, Cement and Concrete Composites, 25,1059–1066.
- [55]**Erdoğan, H. ve Karataş, E.,** 2003. Sülfat iyonu konsantrasyonu düşük ortamlara maruz betonun durabilitesinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi”, 5. UlusalBeton Kongres, Bildiriler Kitabı. Alaş Matbaası.
- [56] **Dongxue, L.,Xinhua, F., Xuequan, W. and MINGSHU, T.,** 1997. Durability study of steel slag cement, Cement and Concrete Research, 27(7), 983-987.
- [57] **TS 4045,** 1984, Yapı malzemelerinde kapiler su emme tayini, TSE, Ankara.
- [58] **Hassan, K.E.,Cabrera, J.G. andMaliche, R.S.,** 2000. The Effect of Mineral Admixtures on the Properties of High-Performance Concrete, Cement and Concrete Composites, Vol. 22, pp. 267-271.
- [59] **Neville, A.M.,** 1995. Properties of Concrete, Longman Group Limited, UK.
- [60] **Sellevoid, E.J. andRadjy, F.F.,** 1983. Condensed Silica Fume Concrete: Water Demand and Strength Development, Proceedings First International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete. ACI-SP79, pp. 677-694.
- [61] **Poon, C.S. and LamWong, Y.L.,** 2000. A Study on High Strength Concrete Prepared with Large Volumes of Low Calcium Fly Ash, Cement and Concrete Research, Vol. 30, pp. 447-455.
- [62] **Duval, R. and Kadri, E.H.,** 1998. Influence of Silica Fume on the Workability and the Compressive Strength of High-Performance Concretes, Cement and Concrete Research, Vol. 28, No. 4, pp. 533-547.

- [63] **Özcan F.**, 2005. Silis Dumanı İçeren Harç Ve Betonların Özellikleri Ve Hızlandırılmış Kür İle Dayanım Tahmini, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 173s, Adana.

EKLER

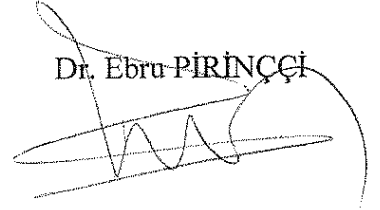
Ek 1. ELAZIĞ İL ÖZEL İDARESİ TOPRAK VE SU ANALİZ LABORATUVARI

ELAZIĞ İL ÖZEL İDARESİ TOPRAK VE SU ANALİZ LABORATUVARI

Bu su analizi labotatuvarımızda tarafımdan yapılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki gibi çıkmıştır.

İyonlar	Konsantrasyon (gr/lt)	
	Mayıs 2012	Ekim 2012
Cl ⁻	20,14	18,82
SO ₄ ⁻²	2,79	2,57
Ca ⁺²	0,45	0,40
Mg ⁺²	1,26	0,92
Na ⁺	14,6	17,1
K ⁺	0,49	0,51
Tuzluluk (%)	55,8	54,7

Dr. Ebru PİRİNÇÇİ

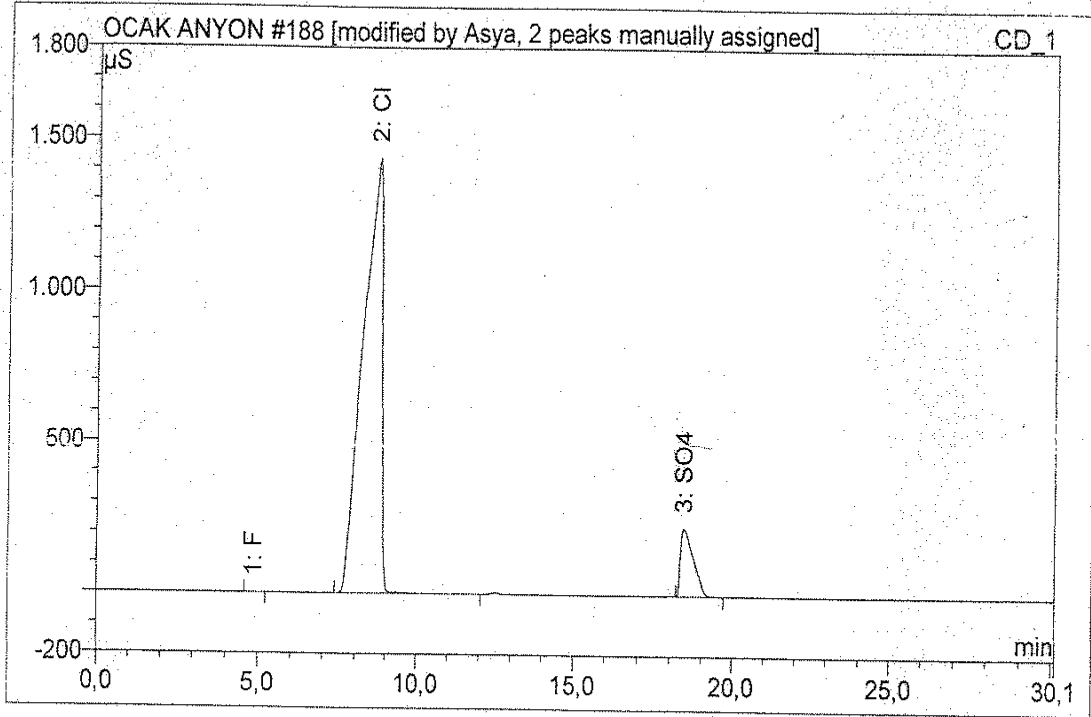


Ek 2. DENİZ SUYU MAYIS 2012 ANYON ANALİZ SONUÇLARI

Sample Analysis Report

Sample Name:	ELYF GURSES	Sample No.:	188
Sequence Name:	MART ANYON		
Program Method:	program	Injection vol.:	20,0
Quantitation Method:	MART ANYON	Dilution Factor:	100,0000
Date Time Collected:	26.5.2012 2:24 PM	Sample Wt:	1,0000
System Operator:	Asya	Sample Amt.:	1,0000

Peak No.	Component Name	Retention Time	Area $\mu\text{S}\cdot\text{min}$	Height μS	Amount	Relative Amount %
1	F	4,87	0,055	0,170	0,7762	0,00
2	Cl	8,79	1040,393	1437,375	20136,2343	87,81
3	SO ₄	18,46	105,125	223,251	2793,7736	12,18

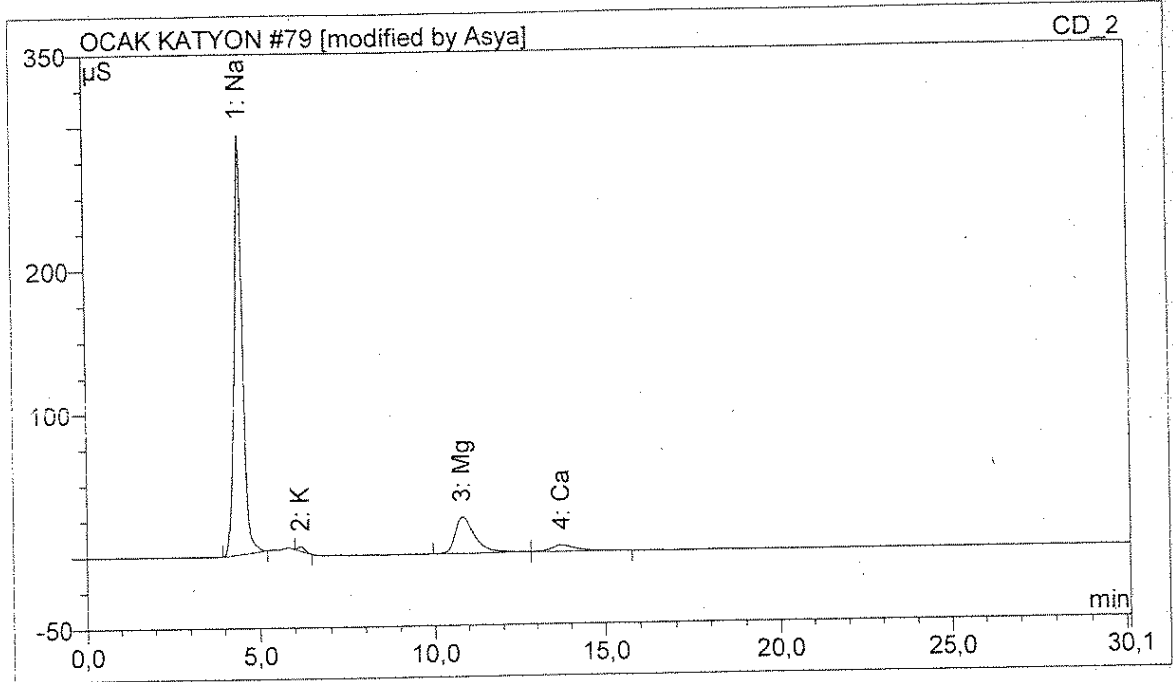


Ek 3. DENİZ SUYU MAYIS 2012 KATYON ANALİZ SONUÇLARI

Sample Analysis Report

Sample Name:	ELYF GURSES	Sample No.:	79
Sequence Name:	MART KATYON		
Program Method:	program	injection vol.:	20,0
Quantitation Method:	MART KATYON	Dilution Factor:	100,0000
Date Time Collected:	26.5.2012 2:24 PM	Sample Wt:	1,0000
System Operator:	Asya	Sample Amt.:	1,0000

Peak No.	Component Name	Retention Time	Area $\mu\text{S}\cdot\text{min}$	Height μS	Amount	Relative Amount %
1	Na	4,51	76,421	292,258	14603,1907	88,72
2	K	6,18	0,668	3,103	488,9036	0,90
3	Mg	10,82	16,861	25,171	1261,5784	7,66
4	Ca	13,73	3,707	4,261	447,0280	2,72

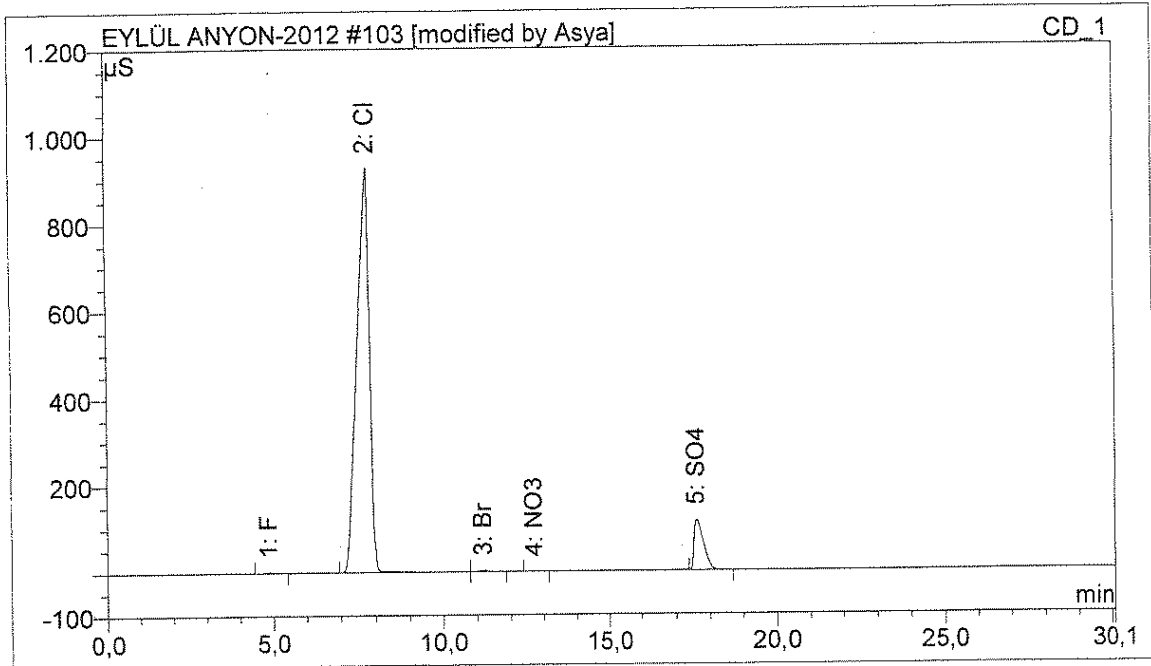


Ek 4. DENİZ SUYU EKİM 2012 ANYON ANALİZ SONUÇLARI

Sample Analysis Report

Sample Name:	ELIF GURSES	Sample No.:	103
Sequence Name:	EYLÜL ANYON-2012		
Program Method:	program	Injection vol.:	20,0
Quantitation Method:	EYLÜL ANYON-2012	Dilution Factor:	100,0000
Date Time Collected:	30.10.2012 3:29 PM	Sample Wt.:	1,0000
System Operator:	Asya	Sample Amt.:	1,0000

Peak No.	Component Name	Retention Time	Area $\mu\text{S} \cdot \text{min}$	Height μS	Amount ppm	Relative Amount %
1	F	4,86	0,411	1,859	13,4330	0,06
2	Cl	7,83	384,901	927,493	18820,9083	87,66
3	Br	11,18	0,562	2,216	62,4992	0,29
4	NO3	12,71	0,031	0,109	2,7101	0,01
5	SO4	17,61	38,950	114,638	2571,5336	11,98

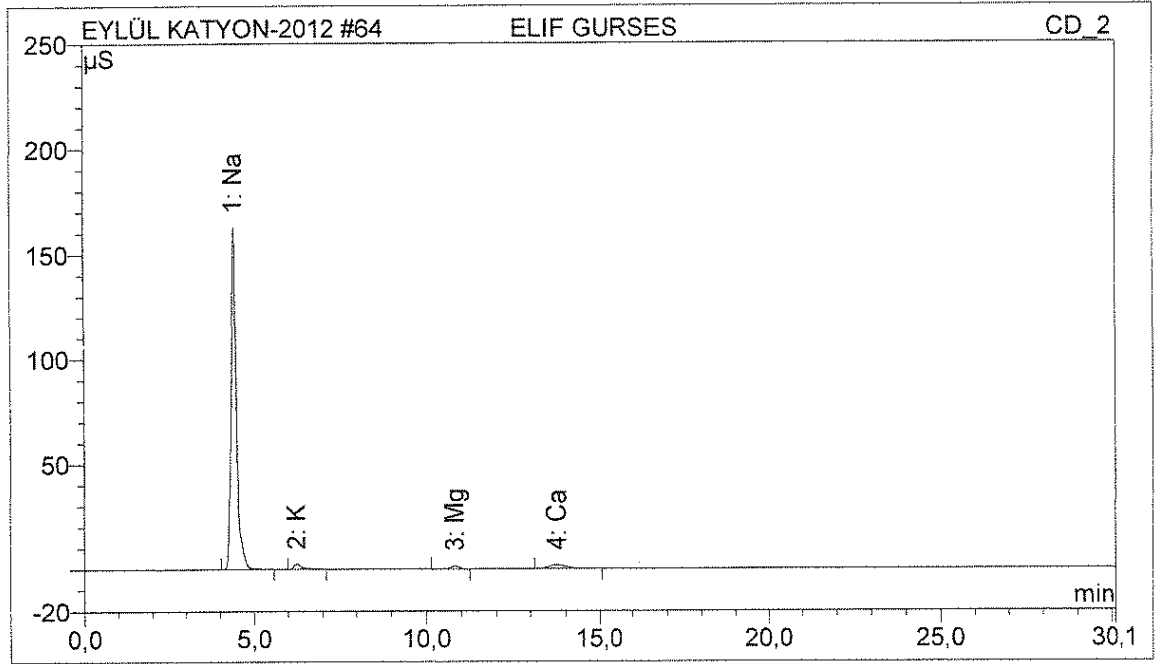


Ek 5. DENİZ SUYU EKİM 2012 KATYON ANALİZ SONUÇLARI

Sample Analysis Report

Sample Name:	ELIF GURSES	Sample No.:	64
Sequence Name:	EYLÜL KATYON-2012		
Program Method:	program	Injection vol.:	20,0
Quantitation Method:	EYLÜL KATYON-2012	Dilution Factor:	100,0000
Date Time Collected:	30.10.2012 3:29 PM	Sample Wt.:	1,0000
System Operator:	Asya	Sample Amt.:	1,0000

Peak No.	Component Name	Retention Time	Area $\mu\text{S} \cdot \text{min}$	Height μS	Amount ppm	Relative Amount %
1	Na	4,45	29,238	162,650	17051,8959	94,46
2	K	6,27	0,675	2,557	509,2327	2,82
3	Mg	10,83	0,370	1,424	92,1567	0,51
4	Ca	13,78	1,005	1,817	397,8344	2,20



ÖZGEÇMİŞ

Elif GÜRSES, 1988 yılında Elazığ'da doğmuştur. İlköğretimini Bahçelievler ve Selçuklular İlköğretim Okulu'nda, lise öğretimini Balakgazi Lisesi'nde tamamlamıştır. 2006 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazanıp 2010 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl güz döneminde Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır ve halen devam etmektedir.