

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA  
ÇİMENTO, MİNERAL KATKI VE AGREGA CİNSİNİN  
TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Çağlar ŞAŞMAZ**

**Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Yrd. Doç. Dr. İlker TEKİN**

**T.C.  
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çağlar ŞAŞMAZ**

**2015  
BAYBURT  
Her hakkı saklıdır**

## TEZ ONAY SAYFASI

### KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA ÇİMENTO, MİNERAL KATKI VE AGREGA CİNSİNİN TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Yrd. Doç. Dr. İlker TEKİN danışmanlığında, Çağlar ŞAŞMAZ tarafından hazırlanan bu tez çalışması 20/05/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Fahri Uluç ÖZBAYOĞLU İmza :



Üye : Prof. Dr. M. Hulusi ÖZKUL

İmza :

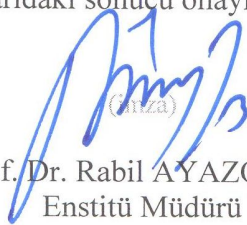


Üye : Yrd. Doç. Dr. İlker TEKİN

İmza :



Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.



Prof. Dr. Rabil AYAZOĞLU  
Enstitü Müdürü 7.

**Not:** Bu tezde kullanılan ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bu çalışmada şahsıma ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

**ÇAĞLAR ŞAŞMAZ**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

# KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA ÇİMENTO, MİNERAL KATKI VE AGREGA CİNSİNİN TAZE VE SERTLEŞMİŞ BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Çağlar ŞAŞMAZ

Bayburt Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İlker TEKİN

Bu tez çalışmasında Kendiliğinden Yerleşen Betonlar (KYB) üzerinde 2 farklı kökene sahip agrega, 3 tip çimento ve 2 farklı mineral katkının etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, 12 grup KYB üretimi yapılmıştır. KYB'lerde iri agrega olarak bazalt veya kireçtaşı, ince agrega olarak doğal kum kullanılmıştır. Karışım granülometrileri her bir agrega için aynı tutulmuştur. Her bir agrega grubu ile yapılan KYB üretimlerinde CEM I 42,5 R, CEM II/B-M (L-W) 42,5 R, CEM III A 42,5 N çimentoları kullanılmıştır. Karışım tasarımlarında C55/67 hedef dayanımı temel alınmıştır. Kireçtaşı agregası kullanılarak üretilen KYB'lerin birinci grubunda çimento dozajı 550 kg/m<sup>3</sup> ve hiper akışkanlaştırıcı %1 oranında sabit tutularak, yayılma en az 60 cm hedeflenmiştir. İkinci grup karışımlarda toplam bağlayıcı malzeme miktarı 350 kg/m<sup>3</sup> çimento ve 200 kg/m<sup>3</sup> uçucu kül (UK) olarak düzenlenmiştir. Üçüncü grup karışımlarda ise UK yerine öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC) kullanılmıştır. Son karışımında ise 350 kg/m<sup>3</sup> çimento yanında 100 kg/m<sup>3</sup> UK ve 100 kg/m<sup>3</sup> ÖYFC yer almıştır.

Her bir grup KYB üretiminde 9'ar adet 100/200 mm boyutlu silindir, 2'şer adet 150x150x150 mm boyutlu küp numune üretilmiştir. Numuneler sıcaklığı 20±2°C olan kür havuzunda muhafaza edilmiştir. KYB üzerinde taze beton deneyleri olarak yayılma ve sıcaklık ölçümleri, pH, birim hacim ağırlık, hava miktarı, T<sub>50</sub> ve priz süresi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sertleşmiş beton deneyleri olarak 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımı ile 28. günde basınçlı su emme ve klorür geçirimsizliği deneyleri yapılmıştır.

Sonuç olarak taze beton üretimlerinde priz başlama-bitiş sürelerinin ve pH artışının kireçtaşı kullanılarak üretilen KYB'lerde daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Sertleşmiş beton üzerinde yapılan basınçlı su emme ve klorür geçirimsizliği deneylerinde bazalt agregaları ile üretilen KYB'lerin kireçtaşı ile üretilen KYB'lere göre daha geçirimsiz olduğu görülmüştür. Ayrıca bazalt agregaları ile üretilen KYB'lerde 28 günde elde edilen dayanım değerlerine, kireçtaşı ile üretilen KYB'lerde ancak 90 günde ulaşıldığı gözlenmiştir.

**2015, 82 Sayfa**

**Anahtar sözcükler:** kendiliğinden yerleşen beton, agrega cinsi, çimento cinsi, mineral katkı, klor geçirimsizliği, basınçlı su emme, basınç dayanımı

## ABSTRACT

MS Thesis

### THE EFFECT OF CEMENT, MINERAL ADDITIVE AND AGGREGATE TYPES ON THE FRESH AND HARDENED CONCRETE PROPERTIES OF SELF – COMPACTED CONCRETES

Çağlar ŞAŞMAZ

Bayburt University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ilker TEKİN

In this thesis work, effects of 2 types of aggregates, 3 types of cements and 2 types of mineral additives on self-compacting concrete (SCC) were studied.

For this purpose, 12 groups of SCC were produced. Basalt and limestone as coarse and natural sand as fine aggregate were used. Mixture grading curves are kept the same for each concrete. CEM I 42,5 R, CEM II/B-M (L-W) 42,5 R, CEM III A 42,5 N cements used in SCC productions for each aggregate group. C55/67 strength class was targeted for the mixture design. At the first group of produced SCCs using limestone aggregate, at least a slump spread of 60 cm is targeted by keeping cement and plasticizer dosages constant at 550 kg/m<sup>3</sup> and 1%, respectively. Total cementitious material amount was arranged as 350 kg/m<sup>3</sup> of cement and 200 kg/m<sup>3</sup> of fly ash at the second group mixtures. At the third group, ground granulated blast furnace slag (GGBFS) was used instead of fly ash. As 100 kg/m<sup>3</sup> of fly ash and 100 kg/m<sup>3</sup> of GGBFS, total cementitious material amount is kept constant at the final study.

In the last mixture, 100 kg/m<sup>3</sup> of fly ash and 100 kg/m<sup>3</sup> of GGBFS were used besides 350 kg/m<sup>3</sup> of cement. In each SCC group, 9 cylinders of 100/200 mm size and 2 cubes of 150x150x150 mm sized were produced. The specimens were stored in a curing pool at the temperature of 20 ± 2°C. Slump flow spread and T<sub>50</sub>, hydration temperatures, pH, unit weight, air content, and setting time on fresh concrete were tested on SCC mixtures. As hardened concrete experiments, 7<sup>th</sup>, 28<sup>th</sup> and 90<sup>th</sup> days compressive strength and 28<sup>th</sup> day water penetration under pressure and chloride permeability tests were performed.

As a result, initial-final setting times and pH values obtained were longer and higher for basaltic SCC than those of the limestone SCC, respectively. It was obtained that the basalt - based SCC was more impermeable than limestone - based SCC. Compressive strength of limestone - based SCC remained under that of basalt – based ones and even limestone - based SCC reached the 28 - day strength of basalt – based one at the age of 90 days.

**2015 , 82 Page**

**Key words:** self compacted concrete, type of aggregate, cement type, mineral additives, chloride permeability, water penetration under pressure, compressive strength

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezinin hazırlanması sırasında, araştırma konumun belirlenmesinde ve değerli bilgi ve deneyimleriyle beni yönlendiren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. İlker Tekin'e,

Laboratuvar çalışmalarım sırasında başta Türkiye Hazır Beton Birliği Genel Sekreteri Dr. Tümer Akakin'a, THBB Yapı Malzemeleri Laboratuvarı deneylerinde desteklerinden dolayı İnş. Y. Müh. Cenk Kılınç'a, Kimya Y. Müh. Eyüp Eren'e ve Fizik Müh. Arda Işık'a ve laboratuvar çalışanlarına,

Agrega malzemelerin temininde Nuh Beton A.Ş.'den Elif Başaraner'e, 5K Madencilik San ve Tic. Ltd. Şti'den Nufel Karagöz'e, Özseç Beton Maden İnş. San. Tic. Ltd. Şti'den Hüseyin Sezer'e, çimento ve mineral katkı malzemelerinin temininde, Akçansa Çimento San. ve Tic. A.Ş.'den Yasin Engin'e, Batıçim Batı Anadolu Çimento San. A.Ş.'den Erdem Öz'e, Bolu Çimento Sanayii A.Ş.'den Cem Türkyener'e, Adana Çimento Sanayi T.A.Ş.'den Mete Arslan'a, kimyasal katkı temininde BASF Türk Kimya San. Ltd. Şti.'nden Emrah Karataş'a, Taze beton üzerinde priz süresi deney ölçümünde kullanılan ekipman için Akçansa Çimento San. ve Tic. A.Ş.' den Hakan Ekim'e,

Tezimin yazım aşamasında desteklerinden dolayı Prof. Dr. Tayyar Şaşmaz ve Dr. İbrahim Türer'e, tezin formatındaki düzeltelerde desteklerinden dolayı İnş. Y. Müh. Arda Kiremitçi ve İnş. Müh. Nurullah Öksüzer'e,

Çalışmalarım sırasında bana desteklerinden dolayı eşim ve kızıma,

Tezim sırasında çalışmalarımda yardımlarından dolayı Prof. Dr. Fahri Özbayoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

Çağlar ŞAŞMAZ  
Mayıs 2015

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
<b>ÖZET</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iii
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	iiv
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	vii
<b>ÇİZELGELER LİSTESİ</b> .....	ix
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	x
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. KURAMSAL TEMELLER</b> .....	3
2.1. Beton ve bileşenleri.....	3
2.1.1. Çimento.....	3
2.1.2. Agregası.....	5
2.1.3. Su.....	7
2.1.4. Mineral Katkıları.....	8
2.1.4.1. Uçucu Küller.....	9
2.1.4.2. Öğütölmüş Yüksek Fırın Cürufu.....	11
2.1.4.3. Filler Tozu.....	13
2.1.5. Kimyasal Katkıları.....	13
2.1.5.1. Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkıları.....	14
2.1.5.2. Viskozite Ayarlayıcı Kimyasal Katkıları.....	16
2.1.5.3. Hava Sürükleyici Kimyasal Katkıları.....	16
2.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton.....	18
2.3. KYB'nin Tasarım Kriterleri.....	20
2.4. KYB Deneyleri.....	21
2.4.1. Çökme Yayılma Deneyi (TS EN 12350-8).....	21
2.4.2. V Hunisi Deneyi (TS EN 12350-9).....	21
2.4.3. L Kutusu Deneyi (TS EN 12350-10).....	21
2.4.4. U Kutusu Deneyi (TS EN 12350-10).....	22
2.5. Konu İle İlgili Çalışmalar.....	22



<b>3. MALZEME VE YÖNTEM</b> .....	27
3.1. Malzemeler .....	27
3.1.1. Çimento .....	27
3.1.2. Agregalar .....	27
3.1.2.1. Kireçtaşı .....	29
3.1.2.2. Bazalt .....	29
3.1.2.3. Kum .....	30
3.1.3. Kimyasal Katkı .....	31
3.1.4. Mineral Katkı .....	31
3.2. Yöntem .....	33
3.2.1. KYB'lerin Tasarımı .....	33
3.2.2. KYB'lerin Üretimi .....	37
3.2.3. KYB'lerde Taze Beton Deneyleri .....	38
3.2.3.1. Yayılma deneyi .....	38
3.2.3.2. T <sub>50</sub> Süresi Deneyi .....	39
3.2.3.3. Hava miktarı deneyi ve taze betonda birim hacim ağırlığı tayini .....	40
3.2.3.4. Beton Sıcaklığı .....	41
3.2.3.5. pH Ölçümü .....	41
3.2.3.6. Priz Süresi Deneyi .....	42
3.2.4. KYB'lerde Sertleşmiş Beton Deneyleri .....	43
3.2.4.1. Basınç Dayanımı Deneyi .....	43
3.2.4.2. Klorür Geçirimsizliği "Klorür Migrasyon Katsayısının Tespiti Deneyi" .....	44
3.2.4.3. Basınç altında su işleme derinliği tayini deneyi .....	51
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA</b> .....	55
4.1. Taze beton deney sonuçları .....	55
4.2. Sertleşmiş beton deney sonuçları .....	60
4.2.1. Basınç Dayanımı .....	60
4.2.2. Klorür Geçirimsizliği Deney Sonuçları .....	63
4.2.3. Basıncılı Su Emme Deneyi .....	65
4.2.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri Arasında Çapraz Karşılaştırmalar .....	65
4.2.4.1. Basınç dayanımı ile basınç altında su işleme derinliğinin karşılaştırılması .....	65
4.2.4.2. Klorür geçirimsizliği ile basınç dayanımının karşılaştırılması .....	66
4.2.4.3. Klorür geçirimsizliği ile basınç altında su işleme derinliğinin karşılaştı .....	67

4.2.5. Sertleşmiş betonun birim hacim kütlesi.....	67
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>69</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>73</b>
<b>EK.....</b>	<b>77</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>.....</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Uçucu kül termik santrali (Ün, 2007).....	10
Şekil 2.2 Demir cevherinden cüruf üreten bir tesis.....	13
Şekil 2.3 Polinaftalin sülfonatın kimyasal yapısı (Tekin 2014).....	15
Şekil 2.4 Polimelamin sülfonatın kimyasal yapısı (Tekin 2014).....	15
Şekil 2.5 Polimer bazlı katkılarda stearik etki.....	15
Şekil 3.1 Bazalt agrega karışımı ve TS 802 Dmaks:16 mm için referans eğrisi.....	35
Şekil 3.2 Kireçtaşı agrega karışımı ve TS 802 Dmaks:16 mm için referans eğrisi.....	35
Şekil 3.3 Malzemenin betoniyerde karıştırılması.....	38
Şekil 3.4 Numune kalıpları şekil ve boyutları.....	38
Şekil 3.5 Yayılma deneyi öncesi.....	39
Şekil 3.6 Yayılma deneyi sonrası.....	39
Şekil 3.7 Hava %'si deney öncesi.....	40
Şekil 3.8 Hava %'si deney sonrası.....	40
Şekil 3.9 Birim hacim ağırlığı.....	41
Şekil 3.10 Taze beton pH ölçümü.....	41
Şekil 3.11 Priz süresi deneyinde numune alımı.....	43
Şekil 3.12 Priz süresi deneyinde ölçüm.....	43
Şekil 3.13 Numunelerin kür havuzu içerisinde korunması.....	44
Şekil 3.14 100*200 mm silindir numunelerin alt ve üst yüzey. aşındırma mak. Sil.44	
Şekil 3.15 Numunelerin yerleştirileceği destek ünitesi ve plastik destek aparatı.....	46
Şekil 3.16 NT Build 492 Klorür migrasyon katsayısı tespiti deney düzeneği.....	47
Şekil 3.17 Klorür geçirimsizliği deneyi – 1.....	47
Şekil 3.18 Klorür geçirimsizliği deneyi – 2.....	50
Şekil 3.19 Beton numunesi içinde işleme derinliği ölçüm noktalarının belirlenmesi	50
Şekil 3.20 KT-D1 Kireçtaşı agrega kullanılarak yapılan KYB'de klorür geçirimsizliği..	50
Şekil 3.21 BA-D1 Bazalt agregaları kullanılarak yapılan KYB'de klorür geçirimsizliği.	51
Şekil 3.22 Basınç altında su işleme derinliği deney düzeneği.....	52
Şekil 3.23 Basınçlı su emme deneyi için numunenin deney düzeneğine yerleştirilmesi	53
Şekil 3.24 Numunenin basınçlı su uygulanan yüzeye dik şekilde ortasından yarılması.	53
Şekil 3.25 KT-D5 Kireçtaşı kar. deney sonucuna ait basınçlı su emme deneyi num.	53
Şekil 3.26 BA-D5 Bazalt kar. deney sonucuna ait basınçlı su emme deneyi num.....	54

<b>Şekil 4.2</b> Beton karışımları basınç dayanım deney sonuçları (N/mm <sup>2</sup> ) (150*300)...	60
<b>Şekil 4.3</b> Taze beton deneyleri basınç dayanım gelişimleri.....	62
<b>Şekil 4.4</b> Klorür geçirimliliği deney sonuçları.....	63
<b>Şekil 4.5</b> Basınçlı su emme deney sonuçları.....	64
<b>Şekil 4.6</b> BA-D1 Agregada davranışı.....	65
<b>Şekil 4.7</b> BA-D2 Agregada davranışı.....	65
<b>Şekil 4.8</b> BA-D3 Agregada davranışı.....	65
<b>Şekil 4.9</b> Basınç dayanımı ile basınç altında su işleme derinliğinin karşılaştırılması	66
<b>Şekil 4.10</b> Klorür geçirimliliği ile basınç dayanımının karşılaştırılması.....	66
<b>Şekil 4.11</b> Klorür geçirimliliği ile basınç altında su işleme derinliğinin karşılaş.....	67

## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1 KYB'ler için test metod. ve kabul edilebilir limit değer (THBBi2007)..	19
Çizelge 2.2 KYB'ler için yaklaşık tasarım kriterleri (THBB, 2007).....	20
Çizelge 3.1 Çimentoların kimyasal özellikleri.....	28
Çizelge 3.2 Çimentoların fiziksel özellikleri.....	28
Çizelge 3.3 Çimentoların mekanik mukavemetleri.....	28
Çizelge 3.4 Tane büyüklüğü dağılımı.....	30
Çizelge 3.5 Tane yoğunluğu ve su emme oranı.....	31
Çizelge 3.6 Kimyasal katkının fiziksel özellikleri.....	31
Çizelge 3.7 Mineral katkıların fiziksel özellikleri.....	32
Çizelge 3.8 Mineral katkıların kimyasal özellikleri.....	32
Çizelge 3.9 Mineral katkıların basınç dayanımları.....	32
Çizelge 3.10 Bazalt agregası karışım eğrisi yüzdeleri.....	34
Çizelge 3.11 Kireçtaşı agregası karışım eğrisi yüzdeleri.....	35
Çizelge 3.12 KYB karışım tasarımı (Malzeme miktarları).....	36
Çizelge 3.13 KYB karışım tasarımı (Malzeme oranları).....	37
Çizelge 3.14 Uygulanacak gerilim, oluşan akım ve test süresi çizelgesi.....	48
Çizelge 4.1 KYB taze beton deney sonuçları.....	59
Çizelge 4.2 Sertleşmiş beton deney sonuçları.....	68

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler Açıklama

T	:Anolit Çözeltisinin Deney Başlangıcı Ve Deney Sonundaki Sıcaklık Ortalaması, °C
BA	:Bazalt
xd	:Deney Numuneleri İçerisine Klorür Migrasyonu Ortalama Derinliği, mm
t	:Deney Süresi, saat
dm <sup>3</sup>	:Desimetreküp
g	:Gram
kPa	:Kilo Paskal
kg/dm <sup>3</sup>	:Kilogram/Desimetreküp
kg/m <sup>3</sup>	:Kilogram/Metreküp
kgf/cm <sup>2</sup>	:Kilogramkuvvet / Santimetrekare
KT	:Kireçtaşı
lt	:Litre
lt/m <sup>3</sup>	:Litre/Metreküp
MPa	:Mega Paskal
m <sup>2</sup> /sn	:Metrekare/ Saniye
m <sup>3</sup>	:Metreküp
Dnssm	:Migrasyon Katsayısı, x10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s
µm	:Mikrometre
mA	:Miliamper
mbar	:Milibar
mm	:Milimetre
N/cm <sup>2</sup>	:Newton /Santimetrekare
L	:Numunelerinin Kalınlığı, mm
sn	:Saniye
°C	:Santigrad Derece
cm	:Santimetre
cm <sup>2</sup>	:Santimetrekare
U	:Uygulanan Gerilim, Volt
V	:Volt

## Kısaltmalar Açıklama

$\text{Na}_2\text{O}$ , $\text{K}_2\text{O}$	:Alkaliler
$\text{Al}_2\text{O}_3$	:Alüminyum Oksit
ACI	:American Concrete Institute
ASTM	:American Society for Testing and Materials
BHA	:Birim Hacim Ağırlık
CANMET	:Canada Materials Technology Laboratory
SF	:Çökme Yayılma Sınıfı
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	:Demir Oksit
$\text{C}_2\text{S}$	:Dikalsiyum Silikat
DKY	:Doygun Kuru Yüzey
DC	:Doğru Akım
$\text{C}_3\text{A}.3\text{CaSO}_4.32\text{H}_2\text{O}$	:Etrenjit
EFNARC	:Experts for Specialised Construction and Concrete Systems
GYFC	:Granüle Yüksek Fırın Cürufu
$\text{AgNO}_3$	:Gümüş Nitrat
CAH	:Kalsiyum Alüminat Hidrat
CH	:Kalsiyum Hidroksit
$\text{CaCO}_3$	:Kalsiyum Karboant
CaO	:Kalsiyum Oksit
C-S-H	:Kalsiyum Silikat Hidrat
KYB	:Kendiliğinden Yerleşen Beton
Cl	:Klorür
S	:Kükürt
MTA	:Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MgO	:Mağnezyum Oksit
$\text{C}_3\text{A}.\text{CaSO}_4.18\text{H}_2\text{O}$	:Monosülfo alüminat hidrat
ÖYFC	:Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu
PNS	:Polinaftalin sülfonat
PMS	:Polimelamin sülfonat
$\text{Ca}(\text{OH})_2$	:Serbest Kireç
$\text{SiO}_2$	:Silisyum Dioksit

NaOH	:Sodyum Hidroksit
NaCl	:Sodyum Klorür
s/b	:Su/Bağlayıcı Oranı
s/ç	:Su/Çimento Oranı
SO <sub>3</sub>	:Sülfat
C <sub>4</sub> AF	:Tetrakalsiyum Alümino Ferrit
C <sub>3</sub> A	:Trikalsiyum Alüminat
C <sub>3</sub> S	:Trikalsiyum Silikat
UK	:Uçucu kül
VAK	:Viskozite Artırıcı Katkı
YFC	:Yüksek Fırın Cürufu



## 1. GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), inşaat teknolojisine getirdiği yeni gelişmeler ve beton uygulama alanlarında yaşanan sorunlara getirdiği çözümleri nedeniyle günümüz beton teknolojisi içerisinde en fazla kullanılan özel betonlardan birisidir.

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde bir katkı maddesinden oluşan, karışım oranları belirli esaslara göre ayarlanmış, istenen şekil ve boyutta kalıplar içine boşluksuz olarak yerleştirildikten sonra uygun bakım koşulları altında sertleştirme ile elde edilen kompozit bir malzemedir (Kocataşkın 1991).

Eski zamanlarda kil ilk bağlayıcı malzemeydi. Eski Mısır'da alçı, Roma'da kireç, Avrupa'da su kireci kullanılmıştır. Anadolu'da ise kil - kireç esaslı "Horasan Harcı" adı verilen bağlayıcı malzeme kullanılmıştır. 1824 yılında, İngiltere'nin Leeds kentinde Joseph Aspdin isimli bir duvar ustası, ince taneli kalker ve kil karışımını pişirerek elde ettiği bağlayıcıya "Portland Çimentosu" adını vererek bugünün betonu için en önemli bileşenin patentini almıştır. 1845 yılında, Isaac Johnson pişirme sıcaklığını yükseltip öğütmeye önem göstererek günümüz Portland çimentosunu keşfetmiştir (Draffin 1943, Bye 1983)

Beton üretiminde, akışkanlaştırıcı katkıları kullanılmadan önce betonun işlenebilirliği daha fazla su/çimento (s/ç) oranında sağlanmaya çalışılmıştı. Bu yüksek s/ç oranından betonun kalitesi olumsuz etkilenmişti. Günümüz beton teknolojisinde akışkanlaştırıcı katkı kullanımı işlenebilirlik açısından sağladığı kolaylıklarla bir zorunluluk haline gelmiştir. 1970'li yıllarda süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları kullanılarak düşük s/ç oranında betonun işlenebilirliğini arttıran tasarımlar yapılmıştır. 1986 yılında Tokyo Üniversitesi'nde Prof. Dr. Hajime Okamura tarafından kendiliğinden yayılabilen ve sıkışan beton üzerinde araştırmalar yapılmaya başlanmış ve böylece KYB tasarımına yönelik ilk adımlar Japonya'da atılmıştır. KYB 1990'lı yıllarda Avrupa'da kullanılmaya başlanmıştır (Okamura, Ouchi 1999).

KYB, kendi ağırlığı altında hiçbir dış etki uygulanmadan (vibrasyon, sarsma vb.) istenilen kalıba kolayca yerleşebilen ve homojen bir şekilde yayılan özel bir betondur. KYB akıcı kıvamı ve ayrışmaya karşı yüksek direnciyle sık donatılı ve dar kesitli yapı elemanlarında kolayca yerleşme özelliği sayesinde, şantiyelerde işlenebilirlikten doğan işçilik kusurlarını da en aza indirmektedir (Özkul, 2002). KYB'ler yüksek işlenebilirlik özelliklerinin yanı sıra, betonun geçirimsizliği bakımından da oldukça üstün özelliklere sahiptir (Atahan 2002).

İlk KYB uygulaması 1980'lerin başında İtalya'nın S.Marco Rıhtım inşaatında sualtı temel betonu dökümünde 40.000 m<sup>3</sup> reoplastik beton kullanılarak yapılmıştır (Collepardi 2001).

Bu çalışmada farklı agrega tiplerinin, (bazalt ve kireçtaşı) farklı çimento (CEM I, CEM II / B-M ve CEM III A) ve mineral katkılarla (Uçucu kül ve ÖYFC) ikame edilmesi sonrasında KYB'lerde taze halde yayılma, T<sub>50</sub> (500 mm'ye yayılma süresi) priz süresi ve pH değeri, sertleşmiş halde ise basınç dayanımı ve klor geçirimsizlik ve basınçlı su geçirimsizliği özellikleri incelenmiştir. Bu kapsamda çalışmanın hipotezi "***KYB'de kullanılan her bir bileşen değişimi taze ve sertleşmiş beton özelliklerini değiştirir***" olarak kurulmuştur.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1 Beton ve bileşenleri

TS EN 206 standardında beton “Çimento, iri agrega, ince agrega ve suyun, kimyasal ve mineral katkı da ilâve edilerek veya edilmeden karıştırılmasıyla oluşturulan ve çimentonun hidratasyonu ile gerekli özelliklerini kazanan malzeme” olarak tanımlanmıştır. (TS EN 206, 2014).

#### 2.1.1 Çimento

TS EN 206 standardında çimento (Hidrolik bağlayıcı) “Su ile karıştırıldığında, hidratasyon reaksiyonları ve işlemleriyle priz alarak sertleşebilen hamur meydana getiren ve sertleştikten sonra dayanım ve kararlılığını su içerisinde bile sürdürebilen öğütülmüş inorganik malzeme” olarak tanımlanmaktadır (TS EN 206, 2014). Ayrıca bu standarda uygun çimento, CEM çimentosu diye adlandırılır. Agrega ve su ile uygun şekilde harmanlanıp karıştırıldığında, yeterli süre işlenebilirliğini muhafaza eden ve belirlenmiş periyotlarda belirli dayanım seviyelerini kazanan ve uzun süre hacim sabitliği gösteren, beton veya harç üretilen çimentodur.

CEM çimentosunun hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidratasyonu nedeniyle. Diğer kimyasal bileşenler, mesela alüminatlar da, sertleşmeye katılabilirler. ( TS EN 197-1, 2012)

Bu kapsamda çimentoda 4 ana bileşen vardır. Bunlar  $C_2S$ ,  $C_3S$ ,  $C_3A$  ve  $C_4AF$ ’ dir.

$C_2S$ : Çimentodaki klinkerin ağırlıkça yaklaşık % 15–30 oranında bulunur. Sertleşmesi yavaştır ve büyük oranda bir haftadan daha büyük yaşlardaki dayanım artışı üzerinde etkilidir. Hidratasyon sırasında kireç ( $Ca(OH)_2$ ) açığa çıkar. Bu sönmüş kireç miktarı  $C_3S$ ’e göre daha azdır.

$C_3S$ : Çimentodaki klinkerin ağırlıkça yaklaşık % 45–60 oranında bulunur. Hızlı bir şekilde sertleşir, esas olarak priz sürelerini ve erken yaşlardaki dayanımı etkiler.  $C_3S$

yüzdesi arttıkça, çimentonun ilk yaşlardaki dayanımı da daha yüksek olur. Sertleşme sırasında daha çok ısı çıkarması ise özellikle kütle betonlarında sorun yaratabilir.

$C_3A$ : Çimentodaki klinkerin ağırlıkça yaklaşık % 6–12 oranında bulunur. Bu bileşiğin erken yaşlardaki dayanım gelişimi üzerine etkisi çok azdır. Klinkerin öğütülmesi sırasında katılan alçıtaşı  $C_3A$ 'nın hidratasyon hızını yavaşlatır. Alçıtaşı ilave edilmemiş  $C_3A$ 'lı bir çimento hızlı bir şekilde katılaştır. Çimentonun özellikle kimyasal dayanımında önemli rol oynar.  $C_3A$  yüzdesi düşük çimentolar özellikle sülfat içeren su ve ortama karşı dayanıklıdırlar.

$C_4AF$ : Çimentodaki klinkerin ağırlıkça yaklaşık % 6–8 oranında bulunur. Etkisi  $C_3A$ 'ninkine benzer. Klinkerleşme sıcaklığını düşürerek çimento üretimine yararlı olur.  $C_4AF$  oldukça süratli bir şekilde hidrate olmasına rağmen çimento hamurunun mukavemetine etkisi oldukça azdır.

Çimento ve suyun birleşmesi ile ortaya çıkan kimyasal reaksiyona hidratasyon adı verilir. Bu reaksiyon sırasında  $C_3S$  ve  $C_2S$  C-S-H (Kalsiyum Silikat Hidrate) ve CH (Kalsiyum Hidroksit) oluşturur ve C-S-H çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandırır (Postacıoğlu, 1986).  $C_3A$  ise alçıtaşı ve su ile reaksiyona girerek etrenjit ( $C_3A \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ ) oluşturur. Ancak etrenjit kararlı olmadığı için zamanla monosülfö alüminat hidrata dönüşür ( $C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 18H_2O$ ).  $C_4AF$ 'nin hidratasyon reaksiyonu  $C_3A$ 'ya benzemektedir; ek olarak demiroksit de bileşikte yer alır. Suyla reaksiyonlar sırasında çimento hamurunda farklı boyutlarda boşluklar meydana gelir (Jennings, 1998). Hidratasyon sonucunda ortaya çıkan bu boşluklar, kapiler boşluklar ve jel boşlukları olarak sınıflandırılabilir. Çimento hamurunda serbest kireç ( $Ca(OH)_2$ ), alkaliler ( $Na_2O$ ,  $K_2O$ ), bazı diğer bileşenler, hidrate olmamış çimento ve taze hamurun içindeki suyun bıraktığı gözenekler vardır. Bu boşluklara kapiler boşluklar adı verilir. Betonun kalıcılığını (dayanıklılığını) büyük ölçüde etkileyen kapiler boşlukların oranı, su/çimento oranına ve hidratasyon derecesine bağlı olarak çimento hamurunun hacminin % 40'ına kadar çıkabilir. Karma oksitlerin su ile yaptıkları reaksiyonlar sonucu oluşan kalsiyum silikat hidratlar (C-S-H) ve kalsiyum alüminat hidratların (CAH) değişik ürünlerine topluca jel adı verilir (Baradan, Yazıcı, Ün, 2002 ). Jel boşlukları hidratasyon ürünleri içinde

bulunan, hidratasyonla birlikte sayıları ve toplam hacimleri artan boşluklardır. Jel boşluklarının boyutları kapiler boşluklardan çok daha küçüktür (Popovics, 1992).

Çimentolar kimyasal yapılarındaki değişimlere ve bileşenlerine göre değişik sınıflara ayrılır. TS EN 197-1 standardı kapsamındaki 27 farklı genel çimento aşağıdaki beş ana tipte olmak üzere gruplandırılmıştır.

- CEM I Portland çimentosu
- CEM II Portland-kompoze çimento
- CEM III Yüksek Fırın Cürüflu çimento
- CEM IV Puzolanlı çimento
- CEM V Kompoze çimento

Ayrıca her bir çimentonun 32,5 , 42,5 ve 52,5 gibi dayanım sınıfları bulunabilir. Bu çimentolardan CEM I orijinal Portland çimentosunu tanımlarken ve en az %95 klinkerden oluşurken, diğerleri çeşitli katkılarla üretilmiş çimentoları oluşturmaktadır. Bu çimentoların kullanım yerleri bileşenlerine ve kimyasal yapısına göre farklılık göstermektedir. KYB beton üretimi için bünyesinde  $Al_2O_3$  miktarı % 10'un üzerinde olan çimentolar, katılaşma süresinin kısılmasına neden olacağından dolayı işlenebilirlik daha düşük olmaktadır (Topçu, Bilir, Baylavlı, 2008; Aykan, Onur Tezel, Gürol, Yüceer, 2003 )

### **2.1.2 Agregası**

TS EN 206 standardında agrega, “betonda kullanıma uygun taneli mineral malzeme” olarak tanımlanmaktadır. Agregalar, doğal, yapay veya daha önce yapıda kullanılmış malzemelerden tekrar kazanım yoluyla elde edilmiş olabilir. Normal agrega EN 1097-6'ya uygun olarak tayin edilen etüv kurusu tane yoğunluğu  $2000 \text{ kg/m}^3$  -  $3000 \text{ kg/m}^3$  arasında, ağır agrega etüv kurusu tane yoğunluğu  $\geq 3000 \text{ kg/m}^3$  olan agrega, hafif agrega etüv kurusu tane yoğunluğu  $\leq 2000 \text{ kg/m}^3$  veya EN 1097-3'e uygun

olarak tayin edilen etüv kuru yığın (boşluklu) yoğunluğu  $\leq 1200 \text{ kg/m}^3$  olan mineral esaslı agrega olarak tanımlanmaktadır (TS EN 206, 2014).

Normal beton hacminin yaklaşık % 70–75 'i agrega tarafından oluşturulmaktadır. Agregaların ekonomik ve dayanıklı olmaları beton yapımında kullanılmalarının en önemli nedenlerindedir. Agrega betonun dayanımı ile birlikte davranışını da etkilemektedir. Betonun kısa veya uzun süreli performansında agrega – çimento hamuru aderansının etkisi büyüktür. Agrega granülometrisinin iyi olması halinde daha ekonomik beton üretimleri yapılabileceği bilinmektedir. Diğer taraftan beton yapımında kullanılan agreganın mineral yapısı, tane şekli, tane dağılımı, don dayanımı, aşınma dayanımı, birim ağırlığı, özgül ağırlığı, boşluk oranı, su emmesi, sertliği ve kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı beton özelliklerini etkileyen en önemli özellikler olarak görülmektedir (Erdoğan, 1995)

Agregaların fiziksel özellikleri betonun performansını önemli derecede etkiler. Bu kapsamda yüzey pürüzlülüğü önemli özelliklerden birisidir. Kırmataş agregalarındaki yüzey pürüzlülüğü nedeniyle çimento hamuru ile agrega arasında kuvvetli bir bağ (aderans) oluşur. Pürüzlü yüzeyin büyük olması, kırmataş agrega ile çimento hamurunun temas yüzeyinin de o kadar geniş olmasını sağlar. Bu sebeple kırmataş agrega ile üretilen betonlarda dayanımın arttığı görülmektedir. Ayrıca agrega tanelerinin olabildiğince küp veya küre biçimine yakın olması, beton için elverişli bir durum oluşturmaktadır (Postacıoğlu, 1987). Bu şekilde agregalar beton içinde daha iyi bir biçimde yerleşir ve daha az boşluklu bir yapı meydana gelir.

Agregaları birçok şekilde sınıflandırabilmek mümkündür. Sınıflandırma işlemi, agregaları daha iyi tanımlamak ve değişik sınıflara ait agregaları beton yapımında doğru bir şekilde kullanabilmek amacıyla yapılmaktadır. Sınıflandırma işlemi, belirli bir sınıf içerisinde yer alan agreganın beton için uygunluğunu göstermemektedir. Herhangi bir agreganın beton yapımı için uygunluğuna karar verebilmek için o agreganın özelliklerinin deneylerle araştırılması gerekmektedir. Agregalar için genel olarak yapılan sınıflandırmalar aşağıda verilmiştir (Erdoğan, 2003).

1) Kaynağına göre: Doğal ve yapay

2) Özgül ağırlık veya birim ağırlıklarına göre: Normal ağırlıklı, hafif, ağır

- 3) Tane büyüklüklerine göre: İri, ince
- 4) Tane şekline göre: Yuvarlak, köşeli, yassı, uzun
- 5) Yüzey dokusuna göre: Düzgün, granüler, pütürlü, kristalli, petekli
- 6) Elde edilmiş şekillerine göre: Doğal, yan ürün, ısıtılma tabii tutulmuş
- 7) Jeolojik orijinlerine göre: Volkanik, tortul, metamorfik
- 8) Mineralojik yapılarına göre: Silis mineralli, karbonat mineralli, mikalı, vb.
- 9) Reaktif özelliklerine göre: (agregaların yapısında, çimento içerisindeki alkalilerle reaksiyona girerek betonda genleşme yaratabilecek reaktif silis ve reaktif karbonat içerip içermediklerine göre): Reaktif, reaktif olmayan

Geleneksel betonda kullanılan ince ve iri agregalar KYB’de de kullanılabilir. Partikül boyutları uygulama yapılacak yere göre değişmekle birlikte,  $D_{max}$  için genellikle üst limit değer 20 mm’dir. Tane boyutları uygulama yapılacak yere göre değişmektedir. Ayrıca geleneksel betondan farklı olarak kum oranı artmış, buna karşılık iri agrega miktarı azalmıştır. KYB’de kullanılacak agregaların özellikleri, agrega standartlarına (TS 706 EN 12620) uygun olmalıdır. Agrega içinde bulunan ve tane boyutu 0,125 mm’nin altında olan malzemeler tasarımda ince malzeme miktarına katılmalıdır (Aykan, Onur Tezel, Gürol, Yüceer, 2003).

### **2.1.3 Su**

Beton imalinde kullanılan karma suyunun kalitesi, betonun priz süresini, dayanım kazanma hızını ve donatının korozyona karşı korunmasını etkileyebilir. Kalitesi bilinmeyen bir suyun, beton imali için karma suyu olarak uygunluğunun tayininde, suyun bileşimi ve imal edilecek betonun kullanım yeri dikkate alınmalıdır. Beton imalinde kullanılan suyun uygunluğu, genellikle kaynağına (orijinine) bağlıdır. Beton için kullanılacak su TS EN 1008’e uygun olmalıdır (TS EN 1008, 2003).

### 2.1.4 Mineral Katkılar

TS EN 206 standardında betonun bazı özelliklerini iyileştirmek veya betona özel nitelikler kazandırmak amacıyla kullanılan ince öğütülmüş malzeme olarak tanımlanmaktadır. Bu standartta inorganik iki tip mineral katkı tarif edilmiştir. Bunlar;

- İnert kabul edilebilir mineral katkılar (Tip I).
- Puzolanik veya gizli hidrolik (çimento benzeri etki gösteren) mineral katkılar (Tip II).

Betonda kullanılan en yaygın mineral katkılar puzolanik malzemelerdir. Puzolanik malzemeler kendi başlarına bağlayıcı özelliği bulunmayan, ancak ince öğütülmüş halde ve rutubetli ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girip bağlayıcı özelliğe sahip bileşenler meydana getiren silisli veya silisli alüminli malzemelerdir. Bims çeşitli volkanik küller ve tüfler doğal puzolanlardır. Termik santrallerin atıklarından olan ve elektro filtrelerde toplanarak daha sonra santral dışına atılan uçucu küller, demir üretiminde bir atık madde olan yüksek fırın cürufu ve silikon metal ve alaşım endüstrisi atığı olan silis dumanı ise yapay puzolanlara örnek olarak gösterilebilir.

Puzolanların çeşitli beton özelliklerine etkileri aşağıdaki özetlenmiştir.

- Karışım suyu ihtiyacında artma söz konusudur. Ancak bazı uçucu küller azalmaya neden olabilir.
- İşlenebilme artar, ayrışma ve terleme azalır.
- Donma – çözülme direnci erken yaşlarda azalır.
- Erken yaşlarda dayanım kazanma hızı azalır. Ancak ileri yaşlardaki dayanımlar yüksek olur.
- Alkali –agrega reaksiyonu riski azalır.
- Hidratasyon ısısı azalır.
- Rötire genellikle artar.



➤ Sülfat direnci artar.

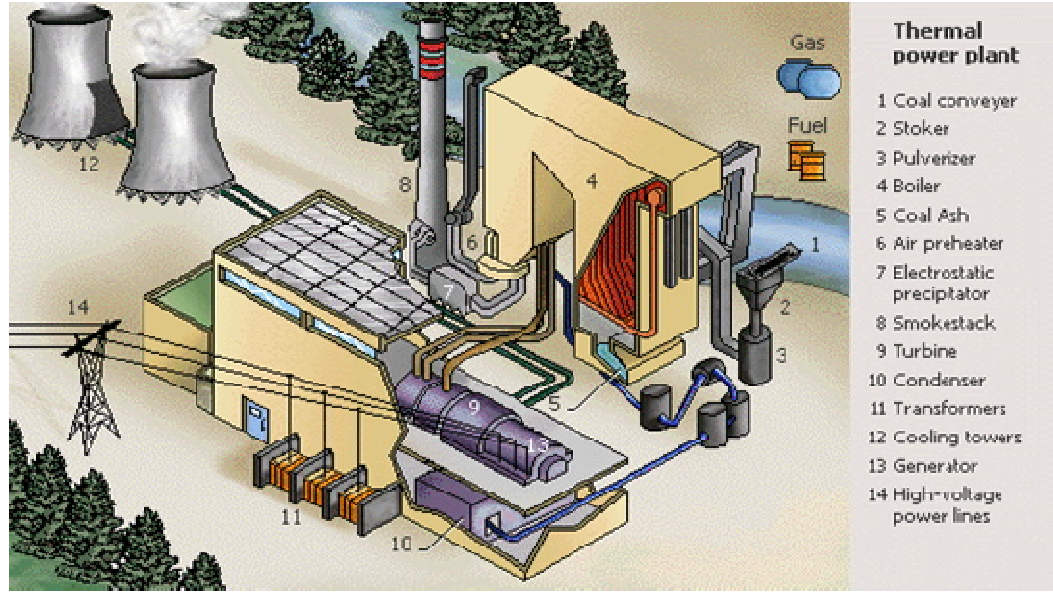
Puzolanların etkinliği kimyasal, mineralojik kompozisyonlarına, inceliklerine, birlikte kullanıldıkları çimentonun özelliklerine vb. bağlı olarak değişebilir. Örneğin, uçucu küllerin özellikleri elde edildikleri kömürün cinsine ve içerdiği safsızlıklara, termik santraldaki yakma sıcaklığına, kül toplama sistemlerine vb. birçok parametreye bağlıdır. Bu özelliklerdeki farklılıklar da kullanıldıkları betona olan etkilerinde değişikliklere yol açar (Özkuş, Taşdemir, Tokyay, Uyan, 2004).

#### 2.1.4.1 Uçucu Küller

TS EN 450-1 standardında Uçucu Kül'ün (UK) tanımı "Pulverize kömürün yanmaya yardımcı malzemeler ile birlikte veya tek başına yakılmasından elde edilen, puzolanik özelliklere sahip olan ve esas olarak  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'ten meydana gelen, EN 197-1'de belirtildiği gibi tanım ve tayin edilen reaktif  $\text{SiO}_2$  muhtevası kütlece en az % 25 olan, büyük ölçüde küresel ve camsı taneciklerin ince tozu" olarak tanım edilmektedir (Ün, 2007).

TÇMB Temmuz 2009 verilerine göre dünyada ortaya çıkan uçucu kül miktarı 600 milyon ton civarındadır. Türkiye'de halen Afşin Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan, Kangal, Kemerköy, Orhaneli, Seyitömer, Soma, Tunçbilek, Yatağan ve Yeniköy santralleri olmak üzere 11 termik santral faaliyet göstermektedir. Bu santrallerden yıllık uçucu kül üretimleri ortalama 13 milyon ton kadar olmakta, ancak doğalgaz santrallerinin devreye girmesiyle yıldan yıla değişmektedir.

Endüstriyel yakıt olarak ve konutlarda ısınma amacıyla kullanılma imkânı olmayan düşük kalorili kömürlerden, elektrik enerjisi üretmek amacıyla kurulan termik santrallerde yararlanılmaktadır. Bu tip kömürler termik santrallerde, buhar üreten kazanları ısıtmak amacıyla çoğunlukla pulverize (öğütülmüş) halde yakılır. 75  $\mu\text{m}$ 'lik elekten %80'i geçecek şekilde kırılıp incelen kömür tozları önceden ısıtılmış hava ile karıştırılır ve yanma için kazan içine üflenir. Bu yanma sonucunda farklı özellikteki çeşitli gazlar ve bazı atıklar (kömür küller ve yanmayan kalıntı) açığa çıkar. Genellikle, termik santrallerde yakılan taş kömürlerinin %10-15'i, linyit kömürlerinin ise %35-40'ı küldür. Şekil 2.1de bir termik santral gösterilmiştir. (Ün, 2007).



**Şekil 2.1** Uçucu kül termik santrali (Ün, 2007)

Oluşan atığın %75-80'lik birincil kısmı, çok küçük tanecikler halinde yanma odasından gazlarla birlikte uçarlar. Bu tanecikler, gazlarla birlikte bacadan havaya çıkarken, elektrostatik filtreler veya elektromekanik yöntemler kullanılarak tutulur ve kül toplayıcı silolara aktarılır. Daha sonra da silolardan konveyör bantlarla veya başka yöntemlerle, termik santrallerin uzağındaki bir yere atık olarak kuru ve yaş ortamda depolanmaktadır. Modern santrallerde, bu ince malzemelerin % 99'u gaz çıkmadan önce tutulmaktadır (Ün, 2007).

UK C tipi ve F tipi olmak üzere ikiye ayrılır. UK'nin ana bileşenleri olarak,  $\text{SiO}_2$  (%35-60),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (%10-30),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (%4-20)  $\text{CaO}$  (%1-35) sayılabilir. F tipi UK'de S+A+F toplamının en az %70 olması gerekmektedir. C tipi UK'de ise en az %50 olmalıdır. C tipi UK'de genel olarak %20'nin üzerinde  $\text{CaO}$  bulunmaktadır (Özkul, Taşdemir, Tokyay, Uyan, 2004).

UK'nin şekil, incelik, tane boyut dağılımı ve yoğunluğu taze betonun özelliklerini, dayanım gelişimini ve sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılığını etkiler. Tanelerin küresel olup – olmaması işlenebilirliği etkiler. İnceliği fazla olan taneler boşlukları doldurabilir. Ayrıca çimento hidratasyon ürünlerinin çökmesi için uygun yerler oluşturur. Öte yandan UK, çimentoya benzer şekilde C-S-H ürünleri de oluşturur. Diğer yandan farklı UK kaynaklarından gelen küller farklı renklere

sahiptir. Kullanılan uçucu külün rengi ve miktarı betonun görünümünü etkiler. Betonun rengi özellikle mimari olarak devamlı aynı bir rengin sağlanması gereken brüt betonlarda önem taşır. UK'lerde renk değişimi, uçucu külün özelliklerinde değişiklikler olduğuna işaret eder. (Yakma koşulları, kömür kaynağı, karbon miktarı, demir miktarı gibi) UK'nin etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- UK'nin çimentoyla birlikte öğütülmesi dayanıma olumlu etkide bulunur. UK'nin aşırı ince öğütülmesi su ihtiyacını artırır (Tane şekli).
- UK'nin inceliğinin, betondaki performansına etkisi vardır. İnceliğinin artmasıyla performans artar. C tipi ve F tipi UK'de 10 mikron altındaki tanelerin yüksek oranda olması dayanımda pozitif etki sağlamaktadır (İncelik).
- UK'nin kalsiyum hidroksit ve betondaki alkalilerle reaksiyona girmesiyle oluşan ana ürün Portland çimentosunun ana hidratasyon ürünüyle (CSH jeli) aynıdır. F tipi UK'nin reaksiyonuyla oluşan ürünler Portland çimentosu ürünlerinden daha yoğundur. UK reaksiyonlarını, camsı yapının yıkılıp çözülmesini hidroksit iyonları ve Portland çimentosunun reaksiyonuyla açığa çıkan ısı sağlar. UK'nin kısmen çimentoya ikame edilmesiyle açığa çıkan ısı azalır.

UK işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin değerlendirileceği deneme karışımlarından sonra kabul edilmelidir. Mineral katkıların kullanımı sertleşmiş çimento hamurunun yapısının modifikasyonuna yol açar ve özellikle ara yüzey bölgesinde değişikliklere sebep olabilir. Normal dayanımlı betonlar için UK ve yüksek fırın cürufu (YFC) gibi mineral katkıları çimento ile yer değiştirmeli olarak kullanılabilir. Bu durumda genellikle uzun dönemli dayanım artarken başlangıç dayanımı ve dayanım kazanma hızı azalabilir (Baradan, Yazıcı, Aydın, 2012).

#### **2.1.4.2 Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu**

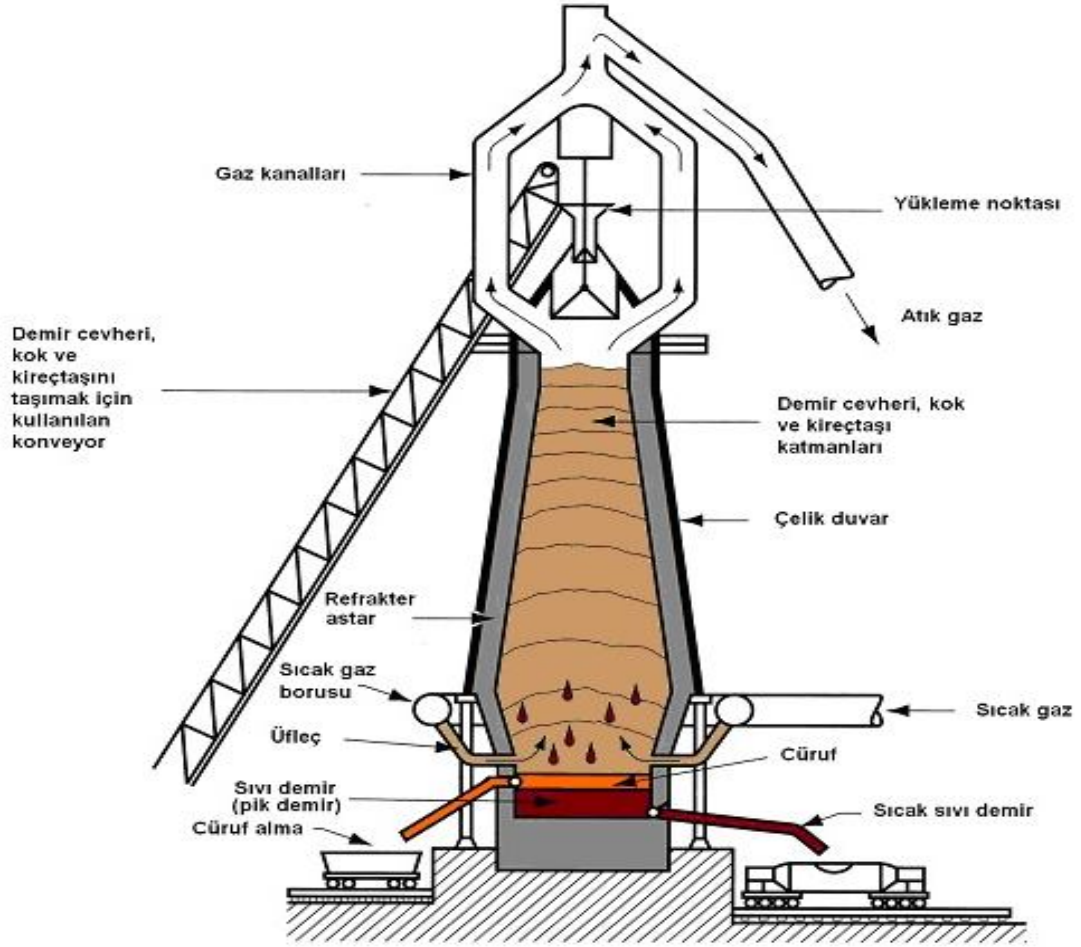
Ham demir üretiminde (Şekil 2.2) atık malzeme olarak elde edilen YFC yüksek fırınlarda, daha hafif olmasından dolayı, ham demirin üstünde yer alır. Demir filizi gangi, kok ve kireçtaşının yanma sonrası artıkları YFC'yi meydana getirirler. YFC'nin oluşum sıcaklığı 1400-1600 °C'dir. YFC yavaş soğutulduğu takdirde kristal bir yapıya sahip olur. Bu haliyle bazalta benzer mekanik özelliklere sahiptir

ve beton agregası olarak kullanılabilir. Öte yandan, hızlı soğutma uygulanması sonucunda ise camsı yapıda cüruf elde edilir. Bu tür cüruflar granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) olarak adlandırılırlar. 1862 yılında Emil Largens yüksek fırın cürufunun suyla granülasyonu sonucunda elde edilen malzemenin kireçle karıştırılmasıyla bağlayıcı özelliğe sahip olduğunu gözlemlemiştir.

Yüksek fırın cürufunun ani soğutulması için iki yöntem uygulanmaktadır. Bunlarda birincisi granülasyon yöntemi ikincisi ise peletleme yöntemidir. Granülasyon yönteminde soğutma işlemi için çok miktarda ( $100 \text{ m}^3$  /ton cüruf) su kullanılması zorunluluğu vardır. Bu işlem sonucunda cürufun içerdiği su miktarı yaklaşık % 30 civarındadır. Bu kurutucu değirmenler veya filtreli havuzlarda cüruftan uzaklaştırılır. Elde edilen GYFC özellikleri bakımından en iyi yöntem olmakla birlikte çok pahalı olması bu yöntemin kullanımını sınırlamaktadır.

Öte yandan, Kanada'da geliştirilmiş, daha yeni bir yöntem (Peletleme) daha yaygın kullanım alanı bulmuştur. Bu yarı-kuru proseste erimiş haldeki cüruf önce suyla soğutulur daha sonra dönen (dakikada 300 tur) bir tambur vasıtasıyla havaya fırlatılır. Bu yöntemde kullanılan su miktarı 1 ton cüruf için yaklaşık  $1 \text{ m}^3$ 'tür. İşlem sonucunda cüruf içinde kalan su miktarı ise % 10'un altındadır (Tokyay, Erdoğan, 2011).

Granüle yüksek fırın cürufunun (GYFC) puzolanik özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerden birisi kimyasal yapısıdır. Ancak, yapılan birçok araştırmaya rağmen puzolanik özellikler ile kimyasal yapı arasında kesin ve basit kurallar elde edilememiştir. Genel olarak alkalitesi yüksek olan GYFC'nin bağlayıcılığının da iyi olduğu kabul edilmektedir. GYFC'nin puzolanik özelliği belli bir sınır değere kadar, Ca/SiO<sub>2</sub> oranını artışına bağlı olarak artmaktadır. Ancak, CaO miktarının çok yüksek olması halinde puzolanik özellikte azalma görülür. Sabit bir Ca/SiO<sub>2</sub> oranı için Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarı artışı ise cürufun puzolanik aktivitesini arttırmaktadır. Cüruf içinde % 10'a kadar MgO bulunmasının dayanıma olumsuz bir etkisi olmamaktadır. Ancak daha yüksek MgO miktarları zararlıdır (Ün, 2007).



Şekil 2.2 Demir cevherinden cüruf üreten bir tesis

### 2.1.4.3 Filler Tozu

TS 706 EN 12620'ye uygun olmalıdır. İnce kalker, dolomit veya granit tozu, tasarımda ihtiyaç duyulan 0,125 mm'den küçük ince malzeme miktarını sağlamak için kullanılabilir. Dolomit alkali karbonat reaksiyonuna sebep olabileceği için riskli olabilir. Eğer kullanılacaksa tasarımda miktarı çok iyi ayarlanmalıdır (Aykan, Onur Tezel, Gürol, Yüceer, 2003).

### 2.1.5 Kimyasal Katkılar

Kimyasal katkı, taze veya sertleşmiş betonun bazı özelliklerini değiştirmek üzere, karıştırma işlemi esnasında betona, çimento kütlelerine oranla az miktarlarda (genellikle %5'den az) ilâve edilen malzemedir (TS EN 206, 2014).

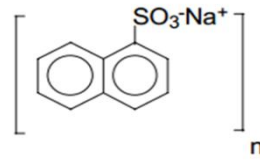
### 2.1.5.1 Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkılar

Normal Akışkanlaştırıcılar: Bu katkılar belirli bir işlenebilme değeri için betona gerekli olan karışım suyu miktarını azaltırlar. Bu özellikleriyle çeşitli avantajlar sağlarlar. İstenilen beton çökme değerini daha az miktarda suyla elde ederek, sabit bir çimento miktarı için, su/çimento (s/ç) oranını düşürürler. Böylece dayanımın artmasını, geçirimsizliğin azalmasını ve dayanıklılığın artmasını sağlarlar. Öte yandan, s/ç oranını sabit tutarak, kullanılan çimento miktarını azaltmak ekonomik gerekçelerle yapılabileceği gibi, hidrasyon ısısının azaltılması gibi teknik gerekçelerle de yapılabilir. Taze betonun yerleştirilmesini kolaylaştırmak için, hem s/ç oranı hem de çimento miktarı sabit tutarak daha yüksek çökme değeri elde edilebilir. Akışkanlaştırıcı katkılar beton karışım suyunu %5-10 civarında azaltırlar.

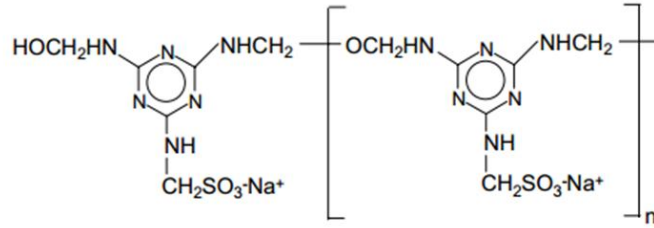
Su azaltıcı katkı kullanılmayan betonlarda, işlenebilirliği sabit tutup dayanımı artırmak gerektiğinde daha fazla çimento, dayanımı sabit tutup işlenebilmeyi artırmak gerektiğinde ise hem daha fazla çimento hem de daha fazla su kullanmak gerekmektedir. Buna karşılık, su azaltıcı katkı kullanıldığında, sabit işlenebilirlikteki bir betonun dayanımı karışım suyu azaldığından artar. Sabit bir dayanım ve sabit bir işlenebilirlikteki beton daha az su ve daha az çimento kullanarak elde edilir. Sabit bir dayanım için karışım oranlarında bir değişiklik yapmadan, yalnızca su azaltıcı katkı kullanarak işlenebilirlik artırılır (Topçu, Bilir, Baylavlı, 2008).

Süper Akışkanlaştırıcılar: Süper akışkanlaştırıcılar en az %12 oranında su kesme davranışı gösterirler. Süperakışkanlaştırıcı türleri, sülfonatlaştırılmış melamin formaldehit esaslı maddelerden, sülfonatlaştırılmış naftalin formaldehit esaslı maddelerden veya bazı organik bileşenlerden elde edilir. Gerek su kesme gerekse akışkanlık bakımından normal akışkanlaştırıcılara göre daha etkili oldukları bilinmektedir. Bu gruba aynı zamanda modifiye edilmiş lignosülfonat türleri de dahil edilebilir ama en çok kullanılanları naftalin ve melamin içerikli katkı türleridir (Erdoğan S. ve Erdoğan T., 2007; Çil, 2000).

Fazla su kesme özelliğine sahip olan süper akışkanlaştırıcılar sülfonat ( $SO_3^-$ ) bazlı ve karboksilat ( $COO^-$ ) bazlı olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. İlk üretilen süperakışkanlaştırıcı polinaftalin sülfonat (PNS) olmak üzere, polimelamin sülfonatta (PMS) diğer önemli sülfonat bazlı katkıdır (Ulaş 2009).



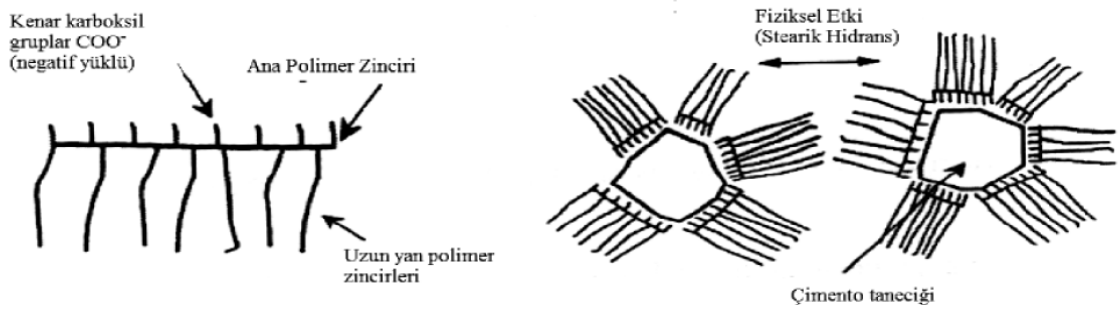
Şekil 2.3 Polinaftalin sülfonatın kimyasal yapısı (Tekin 2014)



Şekil 2.4 Polimelamin sülfonatın kimyasal yapısı (Tekin 2014)

Süperakışkanlaştırıcı katkılar, betonun/harcın su içeriğini azaltabilme aynı zamanda da istenen kıvam oranını da yakalayabilme özelliğine sahip olabilmeleriyle yüksek dayanımlı, işlenebilirliği yüksek malzeme oluşumu sağlarlar.

Yeni nesil (Hiper akışkanlaştırıcı) Akışkanlaştırıcılar: KYB katkıları ilk olarak Japonya'da sualtı uygulamaları için geliştirilmiştir. Özellikle yeni nesil katkılar; betonun, yüksek akıcılık, yüksek ayrışma direnci ve yüksek doldurma kapasitesi gibi özelliklerini artırır. Yüksek oranda su kesici özelliğe sahip ve molekül ağırlığı yüksek olan bir kimyasal katkı kullanılabilir. Bu amaçla polikarboksilat veya naftalin esaslı polimerler yaygın kullanılan katkılardır. (Topçu, Bilir, Baylavlı, 2008)



Şekil 2.5 Polimer bazlı katkılarda stearik etki

Polikarboksilat esaslı katkılarda elektrostatik etkinin yanında polimer zincirlerinin çimento tanesinin üzerine yapışarak oluşturduğu fiziksel etki daha etkili olmaktadır. Bu etki Şekil 2.5 de görüldüğü üzere stearik etki olarak tanımlanmaktadır. Hiperakışkanlaştırıcı olarak bilinen bu katkı maddeleri karışım suyu oranının %30 civarında azaltılmasını sağlar. Polikarboksilat bazlı katkılardan oluşmaktadırlar. Bu katkıların özelliği yüksek oranda su kesmelerinin yanı sıra, yüksek işlenebilirliğe de sahip olmalarıdır (Çil, 2000).

Süper akışkanlaştırıcı katkı, KYB'nin çalışma süresinin ayarlanmasındaki asıl bileşendir. KYB'de kullanılacak katkı, TS EN 934-2'ye uygun olmalıdır. Bu nedenle, kimyasal katkı olarak, erken dayanım kaybı oluşturmayacak (geciktirici özellikli olmayan) ve aynı zamanda, betona en az bir saat çalışma süresi özelliği katabilen bir katkı seçilmelidir. KYB tasarımında kullanılacak katkının miktarı belirlenirken ince malzeme (toz) miktarı dikkate alınmalıdır. Kullanılan ince malzemenin miktarı ve mineralojisindeki değişimler, ayrışma, kasma ve dayanımında düşüklük gibi olumsuzluklara neden olabilirler (Topçu, Bilir, Baylavlı, 2008).

#### **2.1.5.2 Viskozite Ayarlayıcı Kimyasal Katkılar**

Bu maddeler suyun viskozitesini artırarak, ayrışma ve terlemeyi azaltan, betonun kararlılığının bozulmamasını sağlayan ve agreganın çimento hamuru içinde askıda kalmasını gerçekleştiren maddelerdir. Viskozite artııcı katkılar (VAK), suda çözünen polimerik maddeler, nişasta ve doğal zambak (sakız) gibi doğal polimerler, ayrılmış nişasta, selüloz, eter türevleri, yarı sentetik polimerler, etilen ve vinil kökenli sentetik polimerlerdir. Bunlar, ayrışmayı yok etmek için katılabilir. Ancak, iyi bir tasarımla viskozite ayarlayıcıya gereksinim duyulmadan da KYB üretilebilir (Topçu, Bilir, Baylavlı, 2008).

#### **2.1.5.3 Hava Sürükleyici Kimyasal Katkılar**

Bu katkıları betonu donma-çözülme etkilerine karşı daha dirençli hale getirmek için kullanılırlar. Eğer kullanılacaksa TS EN 934-2 standardına uygun bir hava sürükleyici katkı seçilmelidir. Su donduğunda, % 9 oranında hacimce genişler.



Betonda gözeneklerde ve kılcal boşluklarda bulunan su da donduğunda genişerek bu boşlukların ve gözeneklerin duvarlarına gerilmeler uygular ve mikro çatlaklar oluşmasına neden olur. Betonun suya doygun olduğu veya doygunluk derecesine yakın olduğu durumlarda tekrarlı donma-çözülme etkileri altında önemli bir hasar ortaya çıkar. Böyle bir ortamda beton kısa bir sürede dağılıbilir. Dolayısıyla, donma çözülme etkisi gerekli önlem alınmadığı takdirde yol kaplamaları, barajlar, temeller gibi yerlerde betonun kullanılmasını güçleştirir. Hava sürükleyici katkıları kullanıldığında betonda meydana gelen, birbirinden bağımsız hava kabarcıkları genişlemenin yapılabileceği boşluklar sağlayarak gerilmelerin doğmasını önler. Genleşme sırasında henüz donmayan su, hava kabarcıklarına doğru hareket ederek bunların bir kısmını doldurur ve genişleme sırasında tamamı dolu olmadığından içsel gerilmeler meydana gelmez.

Hava sürükleyici katkıları, karışım işlemi sırasında betonda yaklaşık 0,2 mm boyutlarında birbirinden bağımsız hava kabarcıkları oluştururlar. Bu hava kabarcıkları priz tamamlandıktan sonra da beton içinde kararlı bir yapıda kalırlar. Betonun donma-çözülme direncini artırmak için hacimce % 4-8 hava içermesi önerilir. Normal betonlarla kıyaslandığında, hava sürüklenmiş betonların;

- Donma – çözülme direnci daha yüksektir.
- Buz çözücü tuzların zararlı etkilerine karşı direnci daha yüksektir.
- İşlenebilirliği daha yüksektir.
- Aynı su/çimento oranında, dayanımı sürüklenmiş hava miktarının her %1'i için %4-6 daha düşüktür.
- Birim ağırlığı daha düşüktür.
- Terlemesi daha azdır.
- Hava sürükleyici katkı kullanımı sonucunda betonda sağlanan hava miktarı birçok parametre tarafından etkilenir. Sabit bir hava sürükleyici katkı miktarı için, taze betonun çökmesi (kıvamı), su/çimento oranı ve ince agrega miktarı fazlaştıkça betonda sürüklenmiş hava miktarı da artar.

- Kumdaki ince madde miktarı, ortam sıcaklığı, çimentonun inceliğinin artması ve karıştırma süresinin uzaması hava miktarında azalmaya yol açar (Özku, Taşdemir, Tokyay, Uyan, 2004).

## 2.2 Kendiliğinden Yerleşen Beton

KYB'ler ilk kez 1988 yılında Japonya'da kalıcı betonarme yapılar yapmak amacıyla geliştirildi. KYB üzerine yazılan ilk bildiri 1989'da Okawa tarafından Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansında sunulmuştur. Aynı bildirinin 1992'de İstanbul'daki CANMET & ACI Uluslararası Konferansında sunulması KYB kavramının dünyaya yayılmasını hızlandırmıştır. 1994'de Bangkok'daki ACI çalıştayından sonra KYB, dünyadaki araştırmacıların ve mühendislerin ilgi odağı haline gelmiştir. 1996'da New Orleans'da ACI Sonbahar Kongresinde KYB, Amerika ve Kanada'da da iyice yaygın hale geldi; sonuç olarak KYB üzerine dünya ölçeğinde araştırmalar başlamış oldu (Okamura, Ouchi, 1999). KYB ile ilgili dünyada yapılmış araştırmalar KYB'nin tüm sertleşmiş ve taze haldeki özelliklerini incelemek amacıyla yapılmıştır. Pratikteki sorunları görmek için pilot uygulama projeleri geliştirilmiştir. Günümüz itibariyle önemli deneyimler elde edilmiş ve büyük gelişme kaydedilmiştir, ancak bazı noktalarda halen yanıtlanması gereken sorular bulunmaktadır (Walraven, 2003).

KYB üretiminde, sınırlı iri agrega miktarı ve güçlü bir süperakışkanlaştırıcı yüksek akıcılık özelliğini gerçekleştirirken, azaltılmış (su/ince malzeme) oranı, sınırlı iri agrega miktarı, artırılmış ince malzeme (toz malzeme) ve/veya viskozite artırıcı katkı yüksek ayrışma direncini sağlamaktadır. En yaygın kullanılan süperakışkanlaştırıcı polimer karboksilat esaslı olmaktadır, ancak sülfonatmelamin formaldehid ve naftalin formaldehid benzeri polimerler de kullanılmaktadır. Süperakışkanlaştırıcı katkı dağıtıcı (dispersiyon) etkisini, çimento tanelerini aynı işaretle elektriksel olarak yüklerken aynı zamanda doldurma (sterik) etkisi ile de ince tanelerin birbirlerini itmesine borçludur.

KYB'ların tasarımlarında temel olarak 3 yöntem izlenmektedir:

- Artırılmış ince malzeme (toz malzeme) yöntemi

- Viskozite artırıcı katkı kullanımı
- Her iki yaklaşımın karışımı

Birinci yöntemde ayrışma direnci ve yayılma, çimento inceliğinde veya daha ince olan malzeme miktarı artırılarak sağlanmaktadır. Bu malzemelerin bir bölümünü çimentonun kendisi oluşturur; buna ek olarak uçucu kül, öğütülmüş kalker, cüruf (öğütülmüş), silis dumanı kullanılabilir (Özkuş, 2013). KYB'nin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- İnşaatda daha hızlı üretim
- Şantiyede işçilikte azalma
- Daha iyi yüzey bitişi
- Kolay yerleştirme
- Dayanıklılıkta artış
- Tasarımda özgürlük
- Daha dar kesitlerle çalışma imkânı
- Gürültü seviyesinde (vibrasyonda) azalma

**Çizelge 2.1** KYB'ler için test metod. ve kabul edilebilir limit değerler (THBB, 2007)

Özellikler	Deney adı	Birim	Sınıflandırma	Değer aralığı
Akıcılık/Doldurma Yeteneği	Çökme	mm	SF1	550-650
	Yayılma		SF2	660-750
Viskozite /Akıcılık	T <sub>50</sub> süresi	sn	SF3	760-850
			VS1	≤2
	V Hunisi	sn	VS2	>2
			VF1	≤8
		VF2	9-25	
Geçme Yeteneği	L Kutusu	mm/mm	PA1	≥0,80 (2 donatılı)
	U Kutusu	mm	PA2	≥0,80 (3 donatılı)
			-	-

KYB'nin taze haldeki doldurma yeteneği ve kararlılığı (stabilitesi) dört temel özellik ile tanımlanır. Taze haldeki KYB'nin doldurma yeteneği, viskozite/akıcılık özelliği, geçme yeteneği ve ayrışmaya karşı direnç gibi özellikleri sağlaması gerekmektedir (Gürdal, Yüceer, 2004). KYB'nin taze beton özellikleri TS EN 12350 serisinde yer alan test metotları ile belirlenmektedir. Her bir özellik bir ya da daha fazla test metoduyla belirlenebilir. KYB için uygun test metotları ve kabul edilebilir limit değerleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. (THBB, 2007)

### 2.3 KYB'nin Tasarım Kriterleri

KYB'ler için tasarım kriterleri Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Ancak KYB'nin tasarıma yönelik bu çizelgede verilen değerlerin öneri nitelikli olup oranların kesinlikle kısıtlayıcı olmadığını belirtmiştir (Atahan, 2002). Bu çizelgede belirtilen tanımlamalar örnek teşkil etmesi sebebiyle verilmiştir. Tasarımlarda öncelikle EFNARC'ın belirlemiş olduğu kriterler göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca üretilecek KYB'de amaç tasarımı tanımlandıktan sonra malzeme seçimleri yapılmalıdır. Tasarım kriterlerinde bu kapsamda öncelikli s/b, toplam toz malzeme ve toplam ince malzeme miktarları tanımlanmaktadır. Hiperakışkanlaştırıcının su keme kabiliyeti de bir diğer parametre olarak görölmektedir.

**Çizelge 2.2** KYB'ler için yaklaşık tasarım kriterleri (THBB, 2007)

Bileşen	Kütlece Tipik Aralık (kg/m <sup>3</sup> )	Hacimce Tipik Aralık (lt/m <sup>3</sup> )
Toz	380-600	
Hamur		300-380
Su	150-210	150-210
İri agrega	750-1000	270-360
İnce agrega	Bu miktar diğer bileşenlerin hacmini dengeler, tipik olarak toplam agrega ağırlılığının %48-%55'idir.	
Hacimce su/toz		0,85-1,10

## 2.4 KYB Deneyleri

### 2.4.1 Çökme Yayılma Deneyi (TS EN 12350-8)

Çökme-yayılma (akma) değeri ve  $T_{50}$  süresi KYB'nin akıcılığını ve akış hızını, hiçbir engel olmadığı durumlarda test etme yöntemidir.

Çökme-yayılma değeri, KYB'nin boşluklara dolabilme ve yerleşebilme yeteneğinin bir göstergesidir. Çökme hunisi yukarı kaldırıldığında, kendi ağırlığıyla yayılan betonun en büyük çapı ve bu çapa dik olarak ölçülen diğer çap ölçülür ve ölçülen yayılma çaplarının aritmetik ortalaması deney sonucu olarak kaydedilir.

$T_{50}$  süresi, KYB'nin akış hızının dolayısıyla da viskozitesinin (akmaya karşı direncinin) göstergesidir.  $T_{50}$  süresi, çökme hunisi yukarı kaldırıldığı andan, kendi ağırlığıyla yayılan betonun yayılma tablası üzerine önceden çizilmiş 500 mm çapındaki çembere herhangi bir noktada temas ettiği ana kadar geçen süredir (Gökalp, Ördek, Özen, Ekim, 2008).

### 2.4.2 V Hunisi Deneyi (TS EN 12350-9)

Betonun doldurma kabiliyetini ve ayrışmaya karşı direncini test etme yöntemidir. Betonun huni içerisine yerleştirilmesinin ardından en altta bulunan sürgülü kapağın açılması ile huni üzerinden bakıldığında, ilk olarak alttaki kap görünene kadar geçen süre V hunisi akma süresi olarak kaydedilir (Gökalp, Ördek, Özen, Ekim, 2008).

### 2.4.3 L Kutusu Deneyi (TS EN 12350-10)

L kutusu deneyi, betonun kendi ağırlığı altında donatı çubukları arasından geçebilme kabiliyetini ölçebilmek için kullanılan bir test yöntemidir. Betonun L kutusu içerisine yerleştirilmesinin ardından bölmeler arasındaki kapak açılır ve atmosferik basınç altında kendi ağırlığıyla donatı çubukları arasından geçen ve akışı tamamlanan betonun, L kutusunun yatay kısmının başındaki ( $h_1$ ) ve sonundaki ( $h_2$ ) yükseklikleri ölçülür. Bu yüksekliklerin birbirlerine oranlanmasıyla ( $h_2/h_1$ ) geçme oranı hesaplanır (Gökalp, Ördek, Özen, Ekim, 2008).

#### 2.4.4 U Kutusu Deneyi (TS EN 12350-10)

U kutusu deneyi, betonun kendi ağırlığı altında donatı çubukları arasından geçebilme kabiliyetini ölçebilmek için kullanılan bir başka test yöntemidir. Betonun, U kutusunun bir gözüne yerleştirilmesinin ardından, bölmeler arasındaki kapak açılır ve beton atmosferik basınç altında kendi ağırlığıyla donatı çubukları arasından diğer göze geçmeye çalışır. Akışı tamamlanan betonun her iki gözdeki yükseklikleri ölçülür ve arasındaki fark ( $h_2-h_1$ ) hesaplanır (Gökalp, Ördek, Özen, Ekim, 2008).

#### 2.5 Konu İle İlgili Çalışmalar

(Yılmaz, Andiç Çakır, 2013) Hamur üzerinde uygulanan deney sonuçları dikkate alındığında, karışımların zaman içerisinde kıvam kaybı göstermediği, en az katkı ile doygunluk noktasına (Marsh hunisi “huni şeklindeki deney aparatına daha önceden hazırlanmış olan hamur karışımının doldurulması ve ağız kısmının açılması ile birlikte toplam akış süresinin belirlenmesi prensibi” akış sürelerine göre doygunluk noktası katkı eklenmeye devam edilse de akış süresinin sabit kaldığı değer) ulaşan çimentoların CEM II A-S ve CEM III A 42,5 N ve en çok katkı ile doygunluk noktasına ulaşan çimentonun ise CEM II (B-M) olduğu belirlenmiştir. Bu durum çimentonun bileşiminde yer alan öğütülmüş yüksek fırın cürufu formunun (mikroskop altındaki görünümü) klinkere benzemesi ve cürufun süperakışkanlaştırıcı katkılarla genel olarak iyi uyum göstermesi şeklinde açıklanmaktadır. Eşit katkı oranları için hamur deneyleri incelendiğinde, çimentoların cüruf içermesinin ve bu miktarın artmasının şahit katkısız çimentolu hamura oranla akışkanlığa olumlu etki ettiği gözlenmiştir. Kalker içeren çimentolar için ise şahit hamura göre akışkanlığın azaldığı, kalker miktarının artmasının da bu etkiyi arttırdığı görülmektedir. KYB karışımlarında eşit çökme-yayılma değerleri hedeflenmiş, bu durumda hamur deneylerinde olduğu gibi kalker ve kül katkılı betonlarda daha yüksek katkı ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Artan kimyasal katkı ihtiyacı ile birlikte üretilen betonların ölçülen hava miktarları da yükselmiştir. Mineral katkı içeren çimentoların benzer yayılma yeteneğini sağlayabilmek için katkısız çimentodan daha fazla kimyasal katkı gerektirdiği görülmektedir. Ayrıca, özellikle cüruf içeren çimentolarda benzer yayılma yeteneğine sahip olsalar dahi daha iyi doldurma ve geçebilme yeteneğine sahip olduğu belirlenmiştir.

(Topçu, Bilir, Baylavlı, 2008) Betonda istenen işlenebilirlik, inşaatın tipine, seçilen yerleştirme ve sıkıştırma yöntemlerine, kalıbın karmaşık şekline ve donatının sıklık derecesini etkileyen yapısal tasarım detaylarına bağlıdır. KYB'nin avantajlarının net bir şekilde görülebilmesi için, tasarımın doğru yapılması gerekmektedir. Doğru tasarım için, karışımda kullanılan malzemeler belirtilen standartlarda olmalıdır. Uygulamayı yapan işçilerin eğitilmiş olması gerekmektedir. KYB, çok akıcı bir kıvama sahip olduğundan, kullanılacak kalıp sistemleri özenle seçilmelidir. Kalıp destekleri düzgün ve yeterli olmalıdır. Özellikle parçalı kalıp kullanılacaksa, kalıp birleşim noktalarından betonun akması için gerekli önlemler alınmalıdır.

(Felekoğlu, Baradan, 2003) KYB tasarımında sabit bir çimento dozajında akışkanlaştırıcı katkı miktarı artırılıp karışım suyu azaltıldıkça, yayılma değeri belirli sınırlar arasında tutulurken viskozite hızla artmaktadır. Sabit bir çimento dozajı ve agrega gradasyonunda, su/toz oranı artışıyla aynı anda katkı dozajının azaltılması, taze betonun donatılar arasından geçiş yeteneğini arttırmaktadır.

(Gesoğlu, Güneyisi, Özbay, 2007) Uçucu kül ve yüksek fırın curufunun portland çimentosu ile tek ve ikili kullanımının KYB'lerin taze özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdikleri, UK ve YFC'nin portland çimentosu ile tek kullanımlarının KYB'lerin priz başlangıç ve bitiş sürelerini kontrol betona göre önemli ölçüde uzattığı, UK ve YFC'nin portland çimentosu ile tek ve ikili kullanımları KYB'lerin viskozitesini önemli ölçüde azaltmıştır. UK kullanımının basınç dayanımını azalttığı, YFC'nin tek kullanımının ise basınç dayanımını önemli ölçüde değiştirmedeği görülmüştür. Kullanılan mineral katkıların tamamı KYB'lerin klorür geçirimsizliğini kontrol betona göre önemli ölçüde azaltmıştır.

(Arslan, Özbebek, Açık, 2013) Hazır beton sektöründe KYB üretimi, herhangi bir ilave mineral katkı kullanılmadan sadece yüksek fırın cürufu çimento ile yapılmış ve başarılı örnek bir uygulama yapılmıştır. Burada YFC çimentonun yüksek performansı etkili olmuştur. Üretilen betonlardan sahada alınan test sonuçları ile projenin şartname değerleri sağlamıştır. YFC çimentolu KYB'de, hedeflenen taze ve sertleşmiş beton performansı yakalanmıştır.

(Alexander, Milne, 1995) Yaptıkları çalışmada, dört çeşit çimento karışımı ile yapılan betonlarda agrega çeşitlerinin beton mukavemetine etkisini incelemiştir.

Dolomit ve andezit agregaları ile portland çimentosu kullanılarak üretilen betonlarda mukavemet değerinin yüksek çıktığını, granit ve kuvarsit agregaları ile üretilen betonlarda özellikle erken yaşlardaki elastisite modülünün düşük çıktığını belirtmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, değişen su/çimento oranının agrega türüne bağlı olarak 20 MPa kadar değişkenlik gösterdiğini belirtmişlerdir. Dört farklı agrega kullanılarak yapılan araştırmada, agrega ile çimento geçiş bölgelerinin, agreganın doğal yapısına göre değişik özellikler gösterdiğini belirtmişlerdir.

(Özturan, Çeçen, 1997) Bazalt, beyaz kalker ve çakıl kullanarak yaptıkları çalışmada, düşük beton sınıfında kalker içeren betonun, yüksek beton sınıfında ise bazalt içeren betonun en yüksek dayanıma sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Çakıl kullanılarak üretilen betonlar ise, tüm sınıflarda en düşük dayanımı vermiştir. Beton karışım oranlarını değiştirmeden, sadece daha yüksek dayanımlı çimento kullanarak çakılla da yüksek dayanım elde etmeye çalışmışlar, ancak bağlayıcı kalitesini arttırmanın basınç dayanımını pek etkilemediğini, sadece eğilme ve yarma dayanımlarını % 30 civarında yükselttiğini görmüşlerdir.

(Özkahraman, Işık, 2005) Kullanılan malzeme ve karışım oranlarının aynı fakat kimyasal ve mineralojik yapıları farklı olan 10 agrega çeşidiyle yaptıkları araştırmada, en iyi beton özelliklerini % 80-95 oranında SiO<sub>2</sub> (silisyum dioksit) ve en az % 0,5-3,4 CaCO<sub>3</sub> (kalsiyum karbonat) içeren agregalarda elde ettiklerini belirtmişlerdir.

(Giaccio, Rocco, Violini, Zappitelli, Zeerbino, 1992) Bazalt, granit ve kireçtaşı kullanarak yaptıkları çalışmada, elastisite modülü, basınç dayanımı, çekme ve eğilme deneyleri sonuçlarına göre betonun iç bağındaki çözümler ve süreksizlik sınırlarını incelemişlerdir. Beton iç bağındaki çözümlerin nedenini, agreganın temizliğine, sıkıştırılmasına, karışımına ve agrega türüne göre değiştiği süreksizlik sınırının ise agregaya göre değişmediği iddia edilmiştir. Bununla birlikte daha sert kayalardan elde edilen agregaların mukavemet değerlerinin de yüksek çıktığı sonucuna ulaşmışlardır.

(Gutierrez, Canovas, 1996) 6 farklı türden agrega kullanarak yaptıkları çalışmada kullanılan agreganın betonun kıvamına ve basınç dayanımına olan etkilerini incelemişlerdir. Beton kıvamını etkileyen en önemli faktör agreganın su emmesi



olduğu için, su emmesi yüksek olan agregalarda işlenebilirliğin azaldığını, düşük olan agregalarda ise işlenebilirliğin arttığını göstermişlerdir. Yakın su emme değerlerine sahip agregalarda ise; granülometri, tane şekli ve maksimum tane boyutu işlenebilmeyi etkileyen diğer özelliklerdir. Mekanik özellikleri birbirine yakın olan iki tip agregadan, kireçtaşı ile üretilen betonun daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Bu sonucu ise, kireçtaşının çimento hamuru ile arasındaki epitaksi bağının iyi olmasına bağlamışlardır.

(Murdock ve diğ., 1991) Tortul kayaç olan kireçtaşının, kalsiyum karbonattan oluştuğunu, sert ve yoğun türlerinin betonda en uygun kayaç türü olduğunu belirtmiştir. Daha yumuşak ve yoğunluğu daha düşük olitik kireçtaşlarının dona ve aşınmaya dayanıklılıklarının düşük olması nedeniyle, özellikle aşınmaya ve atmosfer etkilerine maruz karayolu kaplama betonları, dolu savak betonları ile köprü tabliye betonları için uygun olmadığını, tebeşir türü kireçtaşlarının ise çok yumuşak olması nedeniyle betonda kullanılamayacağını ifade etmiştir. Yüksek oranda magnezyum karbonat içeren dolomitik kireçtaşlarının beton agregası olarak uygunluğunu belirtmektedir.

(Şengül, 2000) 4 farklı agrega kullanarak C18'den C90'a 6 ayrı beton sınıfında üretimler yaptığı çalışmada, bütün beton sınıflarında en düşük elastisite modülünü kumtaşı ile ürettiği betonlarda elde etmiştir. Özellikle yüksek dayanımlı beton sınıflarında en iyi basınç mukavemetine sahip agreganın bazalt olduğunu belirtmiştir. Bunun sebebi olarak ise; yüksek dayanımlı betonlarda, normal dayanımlı betonlara göre ara yüzeylerin daha kuvvetli olduğunu göstermiştir.

(Uysal, 2012) farklı tip kırmataş agregaların KYB'lerin taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkilerini çalışmıştır. Bu amaçla 5 farklı kırmataş agregası (bazalt, mermer, dolomit, kireçtaşı ve kumtaşı) uçucu küllle birlikte KYB üretiminde kullanılmıştır. s/ç oranı 0.33 olarak tüm karışımlarda sabit tutulmuştur. Çalışmada işlenebilirlik, aşınma direnci, basınç dayanımı, statik ve dinamik elastiklik modülü ve ultrases ölçümleri yapılmıştır. İşlenebilirlikte slump akışı, T<sub>50</sub> süresi ve V hunisi testleri yapılmıştır. Sonuçlara göre tüm agregalarla KYB başarıyla üretilebilmiştir. Aşınma derinliği 0.98 – 3.02 arasında ve aşınmadan sonraki kütle kaybı %0.71 – 3.24 arasında olmuştur. 28, 56 ve 90 gün yaşlarında en yüksek basınç dayanımı

bazalt agregasında elde edilirken, en düşük basınç dayanımı kireçtaşı ile elde edilmiştir. Bazalt agregasıyla üretilen KYB'lerin performans değerleri diğer agregalara göre daha yüksek çıkmıştır.

(Uysal ve diğ., 2012) farklı mineral katkıların KYB üretimine etkilerini araştırmışlardır. Buna göre UK, ÖYFC, kireçtaşı tozu, bazalt tozu ve mermer tozu KYB karışımlarında kullanılmıştır. KYB'nin işlenebilirliği slump akışı, T<sub>50</sub> süresi, L kutusu, ve V hunisi testleri ile belirlenmiştir. Sertleşmiş beton özellikleri için ultrases ölçümü, 7 ve 28 gün yaşlarında basınç dayanımları deneyleri gerçekleştirilmiştir. UK ve ÖYFC işlenebilirliği önemli derecede artırmıştır. KYB numuneleri üzerinde ilave olarak klor iyon penetrasyonu ve su impermeabilitesi deneyleri de yapılmıştır. Test sonuçlarına göre kireçtaşı yalnızca iyi sonuçlar vermekle kalmamıştır ayrıca bazalt ve mermer tozu da iyi sonuçlar vermiştir. PÇ'nin yerine %20 ÖYFC ikamesi basınç dayanımını 28 günde 78 MPa'nın üstüne çıkarmıştır. Dahası %60 ÖYFC ikamesi en iyi klor iyonu geçirimsizliği direnci sağlamıştır. Diğer bir taraftan, impermeabilite derinlikleri 4.42 – 12.58 mm olarak elde edilmiştir.

### **3. MALZEME VE YÖNTEM**

#### **3.1 Malzemeler**

##### **3.1.1 Çimento**

Deneylerde, Akçansa Büyükçekmece çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42,5 R tipi Portland Çimentosu, Batı Bornova İzmir çimento fabrikasından temin edilen CEM II/B-M (L-W) 42,5 R tipi Portland – Kompoze Çimento ve Adana Çimento'ya bağlı İskenderun çimento fabrikasından temin edilen CEM III A 42,5 N tipi cürüflü çimento kullanılmıştır. CEM I 42,5 R tipi çimento' da %95-100 arasında klinker ve %0-5 minör ilave bileşen, CEM II/B-M (L-W) 42,5 R tipi çimento' da %65 klinker, %26 kalkersi uçucu kül %6 kalker ve %2 minör ilave bileşen, CEM III A 42,5 N tipi çimento' da %48,60 klinker, %47,65 yüksek fırın cürufu ve %3,75 minör ilave bileşen bulunmaktadır. CEM III A 42,5 N çimento elde edilirken klinker ve yüksek fırın cürufu, CEM II/B-M (L-W) 42,5 R çimento için klinker ve uçucu kül ayrı ayrı öğütülerek farklı silolara beslenmekte, karışım oranları belirlendikten sonra klinker, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile karıştırılarak CEM III A 42,5 N çimentosu; klinker, uçucu kül ile karıştırılarak CEM II/B-M (L-W) 42,5 R çimentosu elde edilmektedir. Kullanılan çimentoların kimyasal özellikleri Çizelge 3.1, fiziksel özellikleri Çizelge 3.2 ve mekanik mukavemetleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

##### **3.1.2 Agregalar**

Deneysel çalışmalarda toplam 3 farklı tür agrega kullanılmıştır. KYB'lerde agrega kökeninin etkisi incelenmiş olup, detayları aşağıda verilmiştir. Kireçtaşı ve bazalt iki farklı tane boyut aralığında (0/4 ve 4/11,2 mm) ve doğal kum 0/2 mm aralığında kullanılmıştır.

**Çizelge 3.1** Çimentoların kimyasal özellikleri

Oksitler (%)	CEM I	CEM II	CEM III	TS EN 197-1
CaO	63,01	56,79	49,88	
SiO <sub>2</sub>	20,25	21,69	28,85	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,52	7,57	7,65	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,14	2,5	2,65	
Na <sub>2</sub> O	0,24	0,21	0,30	
K <sub>2</sub> O	0,66	0,97	0,70	
MgO	0,73	1,37	4,02	≤ 2,0
SO <sub>3</sub> (%)	3,03	2,89	2,26	≤ 4,0
Serbest kireç	1,98	1,54	-	
LOI (%)	1,67	5,17	2,49	≤ 5,0
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,42	9,45	0,54	≤ 5,0
Cl (%)	0,0405	0,0091	0,0137	≤ 0,10

**Çizelge 3.2** Çimentoların fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	CEM I	CEM II	CEM III	TS EN 197-1
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	3,14	3,01	3,00	
Özgül Yüzey-Blaine (cm <sup>2</sup> /gr)	3790	4414	5420	
Hacim Genleşmesi (mm)	1	1	1	≤ 10
Priz Başlangıcı (dk)	92	185	206	≥ 60
Priz Sonu (dk)	160	235	260	
45 µm elek kalıntısı (%)	5,2	3,9	1,2	
90 µm elek kalıntısı (%)	0,3	0,1	0,1	

**Çizelge 3.3** Çimentoların mekanik mukavemetleri

Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	CEM I	CEM II	TS EN 197-1	CEM III	TS EN 197-1
2 gün	28,0	25,7	≥ 20,0	16,4	≥ 10,0
28 gün	55,4	49,1	≥ 42,5 ve ≤ 62,5	47,4	≥ 42,5 ve ≤ 62,5

### 3.1.2.1 Kireçtaşı

Deneysel çalışmada kullanılan kireçtaşı agregası Cebeci – Dalbay Agregası Ocağı'ndan temin edilmiştir. Bu agregaya ait mineralojik ve petrografik analizler Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından yapılmıştır. Buna göre Kireçtaşı orta gri, masif dokulu ve ince tanelidir. Ana bileşenleri, kalsit, fosil tane ve kavkıları, dolomit, kuvars; tali bileşenleri, opak mineraller'den oluşmaktadır. Kayaç büyük oranda kalsit ve fosil ve kavkılardan oluşmuştur. Kayaçta bol miktarda mikro fosil ve fosil kavkısı homojen dağılımlı gözlenmektedir. Bunun yanında dolomit mineralleri heterojen dağılımlı olarak, kuvars mineralleri ise eser miktarda gözlenmektedir. Kayaçta damarlar boyunca ikincil kalsit dolguları gözlenmektedir. Kireçtaşı Agregasının Mineral Bilesimi, Kalsit, Dolomit, Kuvars'tan oluşmaktadır. 2 farklı tane boyut aralığında kullanılan kalker agregalarının granülometrik bileşimleri Çizelge 3.4 ve tane yoğunluğu ve su emme değerleri Çizelge 3.5 de verilmiştir.

Kireçtaşı agregaları üzerinde, çok ince malzeme muhtevası (0,063 mm geçen ) % 14,2 ( $f_{16}$ ), çok ince malzemenin kalitesi (metilen mavisi) 1,0 gr boya/kg numune, yassılık %8,7 ( $FI_{15}$ ), los angeles (parçalanma direnci) %20 ( $LA_{20}$ ) tespit edilmiştir.

### 3.1.2.2 Bazalt

Deneysel çalışmada kullanılan bazalt agregası Tekirdağ – Osmanlı Köyü Karakaya Mevkii, Yolaş Madencilik'ten temin edilmiştir. Bu agregaya ait mineralojik ve petrografik analizler Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından yapılmıştır. Buna göre bazalt koyu yeşilimsi gri, taneli dokuya sahip, ince tanelidir. Hipokristalin porfirik dokuda ana bileşenleri: mikro fenolkristaller, olivin, idiomorf, hipidiyomorf (prizmatik şekilli) kristaller'den oluşmaktadır. Boşluklu yapıdaki bazalt içinde zeolit ve az oranda karbonat kristallerince doldurulmuştur. Örnek karbonat ve zeolit dolgulu çok az kılcal mikro çatlak içermektedir. Bazalt agregasının mineral bileşimi, piroksen grubu mineral, feldispat grubu mineral, hematit, olivin grubu mineral, manyetit, klorit grubu mineral, dolomit, zeolit grubu mineral, karışık tabakalı kil, amorf malzeme, çok az mika grubu minerallerden oluşmaktadır. 2 farklı

tane boyut aralığında kullanılan bazalt agregalarının granülometrik bileşimleri Çizelge 3.4 ve tane yoğunluğu ve su emme değerleri Çizelge 3.5 de verilmiştir.

Bazalt agregaları üzerinde, çok ince malzeme muhtevası (0,063 mm geçen ) % 6 ( $f_{10}$ ), çok ince malzemenin kalitesi (metilen mavisi) 2,3 gr boya/kg numune, yassılık %10,4 ( $FI_{15}$ ), los angeles (parçalanma direnci) %11 ( $LA_{15}$ ) tespit edilmiştir.

### 3.1.2.3 Kum

Bu çalışmada kullanılan Doğal kum İstanbul – Kemerburgaz Akçelik Madencilik'ten temin edilmiştir. Doğal kuma ait mineralojik ve petrografik analiz sonuçları Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nde gerçekleştirilmiştir. Buna göre kumun yapısı kuvars, feldspat grubu mineraller ve kalsittir. Kumun fiziksel özellikleri Çizelgeler 3.4 ve 3.5 de verilmiştir.

Doğal kum üzerinde, çok ince malzeme muhtevası (0,063 mm geçen ) % 0,8 ( $f_3$ ), çok ince malzemenin kalitesi (metilen mavisi) 0,6 gr boya/kg numune tespit edilmiştir.

Agregaların tane büyüklüğü dağılımları TS 3530 EN 933-1'e göre yapılmıştır ve Çizelge 3.4.'te verilmiştir. Tane yoğunluğu ve su emme oranı deney sonuçları TS EN 1097-6'e göre yapılmıştır ve Çizelge 3.5'te verilmiştir.

**Çizelge 3.4** Tane büyüklüğü dağılımı

Elekler (mm)	32	22	16	11	8	5,6	4	2	1	0,5	0,250	0,125	0,063
0/4 mm Bazalt	100	100	100	100	100	100	92	55	31	17	10	7	6
4/11,2 mm Bazalt	100	100	100	100	56	16	1	0	0	0	0	0	0
0/4 mm Kireçtaşı	100	100	100	100	100	100	92	55	35	24	19	14	11
4/11,2 mm Kireçtaşı	100	100	100	99	63	28	3	0	0	0	0	0	0
0/2 mm Doğal kum	100	100	100	100	100	100	100	100	99	97	15	0	0

**Çizelge 3.5** Tane yoğunluğu ve su emme oranı

Elek Göz Açıklığı (mm)	Tane Yoğunluğu (kg/dm <sup>3</sup> ) (Yüzey Kuru Suyu Doygun)	Su Emme (%)
0/4 mm Bazalt Kırmakum	2,75	1,1
4/11,2 mm Bazalt Kırmataş	2,76	0,8
0/4 mm Kireçtaşı Kırmakum	2,68	1,4
4/11,2 mm Kireçtaşı Kırmataş	2,69	0,7
0/2 mm Doğal kum	2,65	0,8

### 3.1.3 Kimyasal Katkı

Beton karışım tasarımlarında polikarboksilik eter esaslı, zero energy system ile çalışan yüksek oranda su azaltıcı / yeni nesil süperakışkanlaştırıcı beton katkı kullanılmıştır (BASF, 2014). Bu kimyasal BASF firmasına ait Master Glenium ACE 450 olarak adlandırılmış olup, polikarboksilik eter esaslı, yüksek oranda su azaltan, erken ve nihai yüksek dayanım ve dayanıklılığa gereksinim duyulan prekast endüstrisi için geliştirilmiş, Zero Energy System (Sıfır Enerji Sistemi) ile çalışan, yeni nesil süperakışkanlaştırıcı beton katkı malzemesidir. Katkının teknik özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

**Çizelge 3.6** Kimyasal katkının fiziksel özellikleri

Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Renk	Opak
Yoğunluk	1,04-1,08 kg/litre
Klor içeriği % (EN 480-10)	< 0,1
Alkali içeriği % (EN 480-12)	< 3,0
Katı madde miktarı g.	31

\*+20 °C'de, %50 bağıl nem koşullarında elde edilmiştir.

### 3.1.4 Mineral Katkı

Deneylerde, Oyak Bolu Çimento Ereğli fabrikasından temin edilen öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve Kütahya – Tunçbilek'ten temin edilen Uçucu kül kullanılmıştır. Kullanılan mineral katkıların fiziksel özellikleri Çizelge 3.7, kimyasal özellikleri Çizelge 3.8 ve basınç dayanımları Çizelge 3.9'da verilmiştir.

**Çizelge 3.7** Mineral katkıların fiziksel özellikleri

<b>Fiziksel Özellikler</b>	<b>ÖYFC</b>	<b>UK</b>
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	2,86	2,23
Priz Başlangıcı, Referans (dk.)	140	
Priz Başlangıcı, Karışım (dk.)	188	245
Özgül Yüzey-Blaine (cm <sup>2</sup> /gr)	4512	2452
45 µm elek kalıntısı (%)	0,8	41,30

**Çizelge 3.8** Mineral katkıların kimyasal özellikleri

<b>Kimyasal Özellikler</b>	<b>ÖYFC</b>	<b>UK</b>
CaO	36,77	2,58
SiO <sub>2</sub>	41,83	57,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,33	10,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,2	20,6
Na <sub>2</sub> O	0,49	0,15
K <sub>2</sub> O	1,03	1,63
S	0,89	
MgO (%)	4,75	2,64
SO <sub>3</sub> (%)	0,48	1,66
LOI (%)	0	0,66
Serbest CaO		2,14
Cl (%)	0,017	
CaO+MgO+SiO <sub>2</sub>	83,67	



**Çizelge 3.9** Mineral katkıların basınç dayanımları

<b>Basınç Dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>ÖYFC</b>	<b>TS EN 15167-1</b>	<b>UK</b>	<b>TS EN 450-1</b>
7 gün	52,3	> 45		
28 gün	71,7	> 70	76	> 75
90 gün			89	> 85

## 3.2 Yöntem

### 3.2.1 KYB'lerin Tasarımı

KYB tasarımlarında farklı kökenli iki tip agrega (kalker ve bazalt) ile doğal kum, 3 farklı tip çimento ve 2 farklı tip mineral katkı kullanılarak 12 farklı karışım hazırlanmıştır.

Agrega karışımları TS 706 EN 12620 standardında verilen B eğrisi esas alınarak belirlenmiştir. Her bir agrega tipi için hesaplanan agrega karışım oranları Çizelgeler 3.10 ve 3.11 de, ayrıca granülometri eğrileri şekiller 3.1 ve 3.2 de verilmiştir.

KYB tasarımlarında yayılma miktarı en az 60 cm hedeflenmiştir. Kimyasal katkı kullanım oranı toplam bağlayıcı malzeme miktarının kütlece %1,0'i ve s/b oranı 0,27 olarak bütün karışımlarda sabit tutulmuştur.

Tüm karışımlarda bağlayıcı dozajı 550 kg/m<sup>3</sup> olarak sabit tutulmuştur. Puzolanik karışımlarda CEM I çimentosu 350 kg/m<sup>3</sup> ve puzolan miktarı 200 kg/m<sup>3</sup> olarak seçilmiştir. İki puzolanlı karışımlarda ise her bir puzolan 100 kg/m<sup>3</sup> olarak kullanılmıştır. Beton bileşimleri Çizelge 3.12 ve 3.13 de verilmiştir.

KYB karışım tasarımı için malzemede rutubet yüzdeleri ve su emme değerleri hesaplanmıştır. Bu arada agregayı doygun kuru yüzey (DKY) haline getirmek için rutubet miktarından su emme değerleri düşülmüştür. Tane yoğunluğu ve elek analizi değerlerine göre beton karışımında malzemelerin % cinsinden miktarları hesaplanarak 30 dm<sup>3</sup> beton karışımları hazırlanmıştır.

Laboratuvar çalışmaları, TS EN 17025 Türkak Akreditasyon sertifikasyonuna sahip, Türkiye Hazır Beton Birliği Yapı Malzemeleri Laboratuvarında yapılmıştır. Karışımlar düşey eksenli karıştırıcı tipli, kendi eksenini etrafında ortalama 1,5 devir/saniye hızla dönen 30 dm<sup>3</sup> kapasiteli karıştırma makinesi (betoniyer) kullanılarak yapılmıştır. Betoniyer içerisine sırasıyla kırma taş, kırma kum, çimento ve üzerine doğal kum eklenerek karışım kuru olarak karıştırılır. Karışımda çimentonun tozuma ile etrafa saçılışını engellemek için en son doğal kum eklenmiştir.

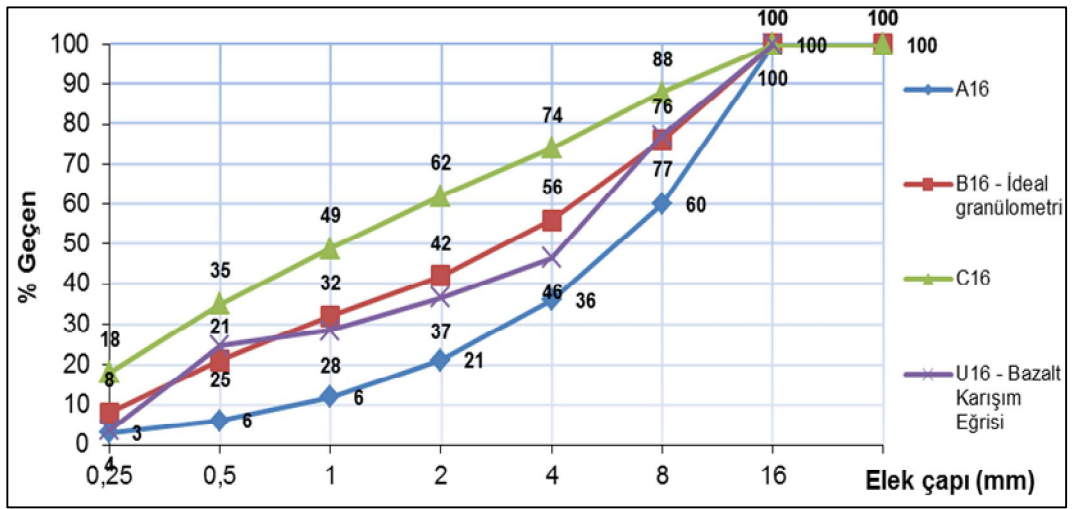
Beton karışım suyunun %50'si karışıma eklenerek malzeme 1 dakika karıştırıldı. Sonra katkı hassas terazide tartıldı ve su ile karıştırılarak beton karışımına ilave edildi. Yaklaşık 5 dakikalık toplam karışım süresinin ardından yayılma deneyi gerçekleştirildi. Taze KYB hedeflenen yayılma değerine (60 cm) ulaştığında elde edilen su miktarı diğer beton karışımlarında aynı tutularak çalışmalar tamamlandı (Şekil 3.3). Çalışmada taze beton harçları üzerinde pH, yayılma, T<sub>50</sub> süresi, birim hacim ağırlık (BHA), hava içeriği, priz süresi verileri elde edilmiştir.

9 adet 100x200 mm boyutlarında silindir, 2 adet 150x150x150 mm boyutlarında küp numuneler kalıplanmıştır. (Şekil 3.4) Sertleşmiş KYB numuneleri 20±2 °C sıcaklıkta standard küre bırakılmıştır. 7, 28 ve 90 gün yaşlarındaki silindir numunelerde alt ve üst yüzeyleri aşındırma makinesi ile silme işlemine tabi tutulduktan sonra silindir numuneler üzerinde doğrudan basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. 28 gün yaşında klor geçirimliliği ve basınçlı su geçirimliliği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sertleşmiş betonda klorür geçirimliliği NT Build 492'e göre yapılmıştır.

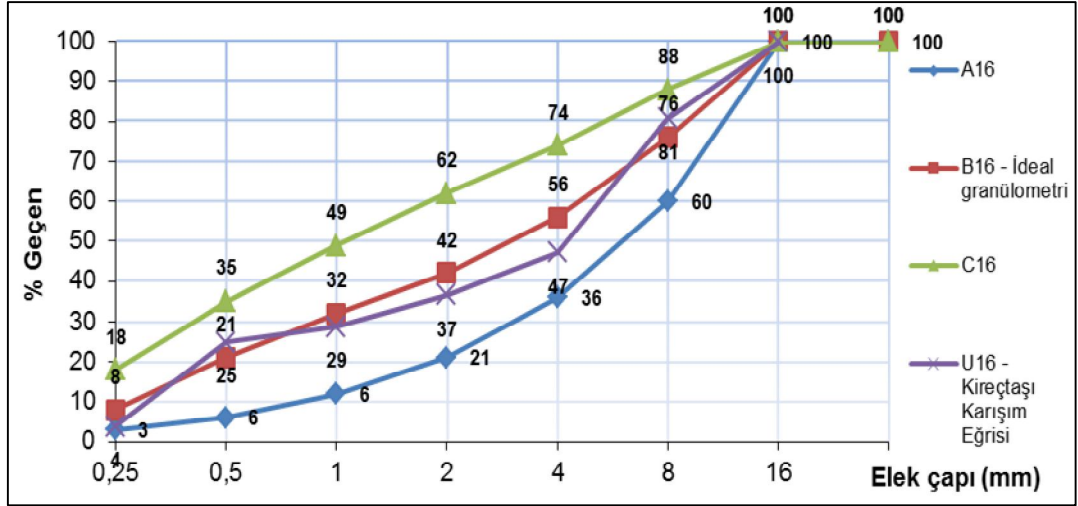
Klorür migrasyon katsayısının tespiti, deneye tabi tutulan malzemenin içerisine klor iyonlarının penetrasyonuna karşı malzemenin gösterdiği direncin ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Gösterilen direnç ne kadar yüksekse migrasyon katsayısı o kadar düşüktür. Sertleşmiş betonda basınç altında su işleme derinliğinin (permeabilite) tayini deneyi TS EN 12390-8'e göre yapılmıştır.

**Çizelge 3.10** Bazalt agregası karışım eğrisi yüzdeleri

Malzeme	Karışım %	Beton Agregası Karışım Eğrisi Yüzdeleri									
		32	22	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125
0/2 D. Kum	25	25	25	25	25	25	25	25	24	4	0
0/4 K. Kum	23	23	23	23	23	21	12	4	1	0	0
4/11,2 Kırmataş	52	52	52	52	29	0	0	0	0	0	0
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>77</b>	<b>46</b>	<b>37</b>	<b>28</b>	<b>25</b>	<b>4</b>	<b>0</b>

**Şekil 3.1** Bazalt agregası karışımı ve TS 802 Dmaks: 16 mm için referans eğrisi**Çizelge 3.11** Kireçtaşı agregası karışım eğrisi yüzdeleri

Malzemeler	Karışım %	Beton Agregası Karışım Eğrisi Yüzdeleri									
		32	22	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125
0/2 mm Doğal Kum	25	25	25	25	25	25	25	25	24	4	0
0/4 mm Kırmakum	23	23	23	23	23	21	12	4	1	0	0
4/11,2 mm Kırmataş	52	52	52	52	33	1	0	0	0	0	0
<b>Toplam</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>81</b>	<b>47</b>	<b>37</b>	<b>29</b>	<b>25</b>	<b>4</b>	<b>0</b>



Şekil 3.2 Kireçtaşı agrega karışımı ve TS 802 Dmaks: 16 mm için referans eğrisi

Çizelge 3.12 KYB karışım tasarımı (Malzeme miktarları)

Karışım	Doğal kum (kg/m <sup>3</sup> )	0/4 mm Kırma kum (kg/m <sup>3</sup> )	4/11 mm Kırma kum(kg/m <sup>3</sup> )	CEM I	CEM II	CEM III	UK (kg/m <sup>3</sup> )	GYFC (kg/m <sup>3</sup> )	Kimyasal Katkı Kullanım Miktarı (kg/m <sup>3</sup> )	Su (kg/m <sup>3</sup> )	Teorik BHA (kg/m <sup>3</sup> )
No											
KT-D1	439	409	927	550					5,5	148	2478
KT-D2	427	398	902		550				5,5	148	2431
KT-D3	421	392	890			550			4,84	148	2406
KT-D4	426	396	899	350			200		4,8	148	2423
KT-D5	423	394	893	350				200	4,42	148	2412
KT-D6	428	398	903	350			100	100	4,42	148	2431
BA-D1	442	422	958	550					5,5	148	2527
BA-D2	433	414	938		550				4,84	148	2488
BA-D3	426	407	923			550			4,18	148	2457
BA-D4	423	404	916	350			200		4,16	148	2446
BA-D5	430	411	932	350				200	4,5	148	2476
BA-D6	423	404	916	350			100	100	4,84	148	2445

### 3.2.2 KYB'lerin Üretimi

**Çizelge 3.13** KYB karışım tasarımı (Malzeme oranları)

Agrega Tipi	Deney Kodu	Kullanım Oranları	Çimento Tipleri ve Oranları
KİREÇTAŞI	KT-D1	%52 Kireçtaşı 1 No + %23 Kireçtaşı Kırmakum + %25 Doğal kum	CEM I
	KT-D2	%52 Kireçtaşı 1 No + %23 Kireçtaşı Kırmakum + %25 Doğal kum	CEM II
	KT-D3	%52 Kireçtaşı 1 No + %23 Kireçtaşı Kırmakum + %25 Doğal kum	CEM III
	KT-D4	%52 Kireçtaşı 1 No+ %23 Kireçtaşı Kırmakum + %25 Doğal kum	CEM I + UK
	KT-D5	%52 Kireçtaşı 1 No + %23 Kireçtaşı Kırmakum + %25 Doğal kum	CEM I + ÖYFC
	KT-D6	% 52 Kireçtaşı 1 No + % 23 Kireçtaşı Kırmakum + %25 Doğal kum	CEMI+UK+ÖYFC
BAZALT	BA-D1	%52 Bazalt 1 No + %23 Bazalt Kırmakum + %25 Doğal kum	CEM I
	BA-D2	%52 Bazalt 1 No + %23 Bazalt Kırmakum + %25 Doğal kum	CEM II
	BA-D3	%52 Bazalt 1 No + %23 Bazalt Kırmakum + %25 Doğal kum	CEM III
	BA-D4	%52 Bazalt 1 No + %23 Bazalt Kırmakum + %25 Doğal kum	CEM I + UK
	BA-D5	%52 Bazalt 1 No + %23 Bazalt Kırmakum + %25 Doğal kum	CEM I + ÖYFC
	BA-D6	%52 Bazalt 1 No+ %23 Bazalt Kırmakum + %25 Doğal kum	CEMI+UK+ÖYFC

KYB karışım tasarımı için malzemede rutubet yüzdeleri ve su emme değerleri hesaplanmıştır. Bu arada agregayı doygun kuru yüzey (DKY) haline getirmek için rutubet miktarından su emme değerleri düşülmüştür. Tane yoğunluğu ve elek analizi değerlerine göre beton karışımında malzemelerin % cinsinden miktarları hesaplanarak 30 dm<sup>3</sup> beton karışımları hazırlanmıştır. 60 cm yayılma için ilk karışım tasarımında betoniye içerisine sırasıyla kırma taş, kırma kum, çimento ve üzerine doğal kum eklenerek betoniye içerisinde malzeme karıştırıldı.

Karışımında çimentonun tozuma ile etrafa saçılışını engellemek için en son doğal kum eklendi. Beton karışım suyunun %50'si karışıma eklenerek malzeme karıştırıldı. Malzeme DKY haline getirildikten sonra katkının bir miktarı mezüre alınarak hassas terazide tartıldı ve su ile karıştırılarak beton karışımına ilave edildi. Yaklaşık 5 dakikalık toplam karışım süresinin ardından yayılma deneyi gerçekleştirildi. Taze KYB harçları hedeflenen yayılma değerine ulaştığında elde edilen su miktarı diğer

beton karışımlarında aynı tutularak çalışmalar tamamlandı. Numuneler sıcaklığı  $20\pm 2$  °C olan kirece doymun su içinde muhafaza edilmiştir. Taze betonun mikserde görüntüsü Şekil 3.3’de alınan numunelerin görüntüleri Şekil 3.4’de verilmiştir.



**Şekil 3.3** Malzemenin betoniyerde karıştırılması



**Şekil 3.4** Numune kalıpları şekil ve boyutları

### 3.2.3 KYB’lerde Taze Beton Deneyleri

#### 3.2.3.1 Yayılma deneyi

KYB betonları laboratuvar tipi karıştırıcıyla karıştırıldıktan sonra yayılma tablası üzerinde 1 m çapında daire çizilmiş ve merkezinde slump konisi ters çevrilerek içi KYB harcıyla doldurulmuştur. (Şekil 3.5) Ardından slump konisi çekilip toplam yayılma miktarı ölçülmüştür. Beton yayıldıktan sonra iki dik yönde ölçüm

alınmıştır. (Şekil 3.6) Elde edilen iki ölçümün ortalaması alınarak toplam yayılma miktarları kaydedilmiştir.



Şekil 3.5 Yayılma deneyi öncesi



Şekil 3.6 Yayılma deneyi sonrası

### 3.2.3.2 T<sub>50</sub> Süresi Deneyi

Yayılma tablası üzerinde merkezden 500 mm çapında bir daire çizilmiştir. Yayılma deneyi sırasında harcın çizilen çizgiye ulaşması için geçen süre kronometre ile ölçülmüş ve kayıt edilmiştir.



### 3.2.3.3 Hava miktarı deneyi ve taze betonda birim hacim ağırlığı tayini

KYB karışımlarında Şekil 3.7 ve 3.8’de görülen 8 lt kapasiteli hava ölçer ekipmanı kullanılarak hava %’si ölçümleri yapılmıştır. Bunun için taze beton yayılma deneyi yapıldıktan sonra KYB 8 lt kapasiteli kaba yerleştirildikten sonra tartılarak 8 lt hacme giren malzeme miktarları Şekil 3.9’da görüldüğü gibi ölçülmüştür. Ardından çelik kabın manometre başlığı oturtularak iki musluktan biri kapatılmış ve diğer ucu hava kompresörüne bağlanmış ve manometre ile hava %’si ölçülmüştür.



Şekil 3.7 Hava %’si deney öncesi



Şekil 3.8 Hava %’si deney sonrası



**Şekil 3.9** Birim hacim ağırlığı

#### 3.2.3.4 Beton Sıcaklığı

Beton karışım yapıldıktan 15 dakika sonra metal problu termometre ile beton sıcaklıkları ölçülmüştür. Termometrenin probu KYB harçlar numune kaplarına yerleştirildikten sonra kalıpların tam ortasına batırılarak ölçümler alınmıştır.

#### 3.2.3.5 pH Ölçümü

Deneylerde beton karışımlarından sonra istenen hedef yayılma değerine ulaşıldıktan sonra KYB harçları numune kaplarına yerleştirilmiştir. Yüzey tamamlama işlemlerinden sonra ilk pH ölçümü cam problu pH metre taze beton içerisine daldırılarak beton harcının karışımından 15 ve 30 dakika geçtikten sonra pH ölçümleri yapılmış ve Şekil 3.10'da ölçüm görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 3.10** Taze Beton pH ölçümü

### 3.2.3.6 Priz Süresi Deneyi

Taze beton priz süresi ölçümleri TS 2987 standardına göre gerçekleştirilmiştir ve deney Şekil 3.11 ve 3.12’de gösterilmiştir. Priz süresi deneyinde Taze beton göz açıklığı 5 mm olan elekten su emmeyen bir yüzey üzerine elenir ve harç kısmı ayrılır. Harç mala ile karıştırıldıktan sonra numune kabı içerisine yaklaşık on tabaka halinde yerleştirilir. Her tabakanın ilavesinden sonra kabın kenarlarına dört kere vurulur. Harç kabın ağzından yaklaşık 5 mm aşağıda bir seviyeye kadar doldurulur. Numune kaplarının dolması beton karma işleminden en fazla 15 dakika sonra tamamlanmış olmalıdır. Doldurulmuş olan numune kabının ağzı buharlaşmayı önlemek amacıyla kapatılır. Numune kabı deney zamanına kadar sıcaklığı  $20 \pm 2$  °C olan bir ortamda muhafaza edilmelidir. Sondanın kelepçe ile bağlı bulunduğu sehpa baskülün yanına ve yeterince rijit olan bir düzlem üzerine sabitlenir. Başlangıçta sondanın düzlenmiş olan alt ucu baskülü, kefesine konulacak olan numune kabının ağzından yaklaşık 6 mm yukarıda bulundurulur. Önceden belirlenen bir zamanda numune kabı üstü açılarak baskülün kefesine yerleştirildikten sonra mümkünse dara düzeltilmesi yapılır veya dolu kabın ağırlığı tartılır. Sonda yavaşça alçaltılarak rondelası kap içerisindeki harcın yüzeyine temas edinceye kadar harca batırılır. Temas anında baskül kadranı kg olarak okunur ve kaydedilir. Dara düzeltilmesi yapılmamışsa okunan değer dolu kabın ağırlığı çıkarıldıktan sonra kaydedilmelidir. Harcın sondanın daldırılmasına karşı dayanımı kg olarak kaydedilen bu değer in sonda kesit alanına bölünmesi ile elde edilir ve sonda kesit alanı, bu amaçla  $0,3 \text{ cm}^2$  olarak kabul edilebilir. Deneye numunenin hazırlanmasından en fazla bir saat sonra başlanmalıdır. Deney saatlik aralarla tekrarlanır. Deney sırasında kap içerisindeki harç yüzeyine çıkan kuma suyuna dokunulmaz. Betonda priz başlama süresini tayin etmek için beton karılırken suyun çimentoya temas ettiği andan itibaren numunenin sondanın daldırılmasına karşı  $5 \text{ kgf/cm}^2$  ( $49 \text{ N/cm}^2$ ) lik bir dayanım kazanmasına kadar geçen sürenin, priz bitme süresini tayin etmek için de numunenin sonda daldırılmasına karşı  $35 \text{ kgf/cm}^2$  ( $343 \text{ N/cm}^2$ ) lik bir dayanım kazanmasına kadar geçen sürenin belirlenmesi gerekir. Bu amaçla elde edilen deney sonuçları arasında gerekirse doğrusal enterpolasyon yapılır ve istenilen süreler en yakın 15 dakikaya kadar tahmin edilerek belirlenir.



**Şekil 1.11** Priz süresi deneyinde numune alımı



**Şekil 3.12** Priz süresi deneyinde ölçüm

### 3.2.4 KYB'lerde Sertleşmiş Beton Deneyleri

#### 3.2.4.1 Basınç Dayanımı Deneyi

KYB numuneleri 24 saat numune kalıpları içinde bekletildikten sonra sökülmüştür. Ardından Şekil 3.13'de gösterildiği gibi sıcaklığı  $20 \pm 2$  °C olan kür tankında bulunan kirece doymun su içine bırakılmış ve 90 güne kadar kür havuzunda bekletilmiştir. 7, 28 ve 90 gün yaşlarında ayrı ayrı kür tankından çıkarılan 100\*200 mm boyutlarında silindir numuneler Şekil 3.14'deki aşındırma makinesi ile önce alt ve üst yüzeyleri silinme işlemine tabi tutulduktan sonra, basınç dayanımı deneyleri tek eksenli 300 ton kapasiteli hidrolik preste gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3.13** Numunelerin kür havuzu içerisinde korunması



**Şekil 3.14** 100/200 mm silindir numunelerin alt ve üst yüzeylerinin aşındırma makinası

#### **3.2.4.2 Klorür Geçirirliği “Klorür Migrasyon Katsayısının Tespiti Deneyi”**

Sertleşmiş betonlarda klorür geçirirliği deneyi NT Build 492 standardına göre yapılmıştır. Deneye tabi tutulan betonların klor iyonu penetrasyonuna karşı gösterikleri direncin ölçülmesi prensibine “Klor İyonu Migrasyonu Deneyi” denilmektedir. Gösterilen direnç ne kadar yüksekse migrasyon katsayısı o kadar düşük olur. Çözelti olarak saf su,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaOH}$  ve  $\text{AgNO}_3$  çözeltileri kullanılmıştır.

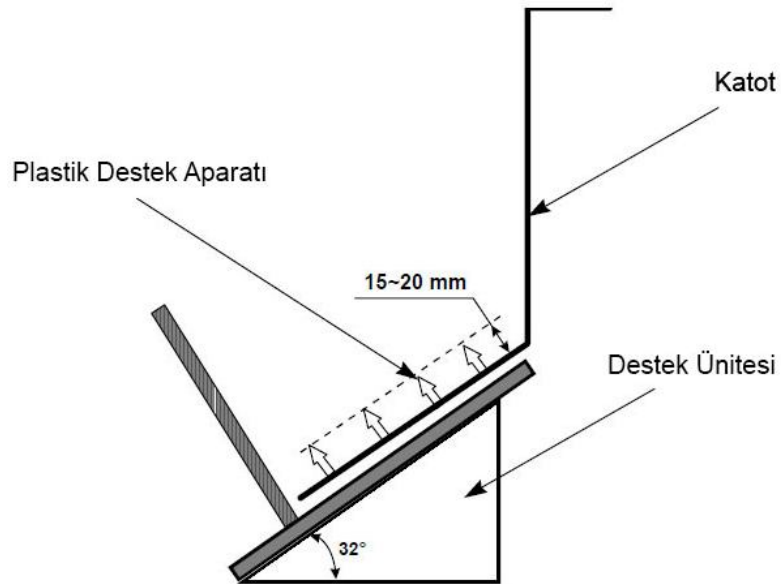
Deneylerde 100/200 mm boyutlu silindir beton numuneler kullanılmıştır. Deney iki adet numune üzerinden gerçekleştirilmiştir. Deneylerden önce beton numuneler 50 mm yükseklik olacak şekilde elmas uçlu testere ile kesilmiştir. Kesme işlemlerinde  $\text{Ø}100/200$  mm boyutlu silindir numuneler başlangıçta tam ortasından iki parçaya kesilerek 2 adet  $\text{Ø}100/100$  mm boyutlu silindir numune elde edilmiştir. Ardından

elde edilen Ø100/100 mm boyutlu silindir numunelerden bir tanesi ilk kesimin yapıldığı orta kesim yüzeyi katolit çözeltisi yönü olacak şekilde  $50 \pm 2$  mm kalınlığında bir kez daha kesilmiştir. Kesme işlemlerinden sonra deney numuneleri yüzeyindeki partiküller tel fırça ile uzaklaştırılmış ve numuneler musluk suyu ile yıkandıktan sonra havlu ile kurulanıp kurumaya bırakılmıştır. Yüzeyleri tamamen kuruyan numuneler vakum işlemine tabi tutulmak üzere vakum kutusu içerisine alındıktan sonra vakum kutusu içerisindeki raylar üzerine her iki yüzleri de açıkta kalacak şekilde yerleştirilmiştir. (Şekil 3.17) Vakum kutusunun 1. çıkışına çözelti emdirmek için silikon hortum bağlanmış, 3. çıkışına sıvı transferini engellemek için su kapanı ve vakum pompası bağlanmıştır. 4. çıkışına ise sayısal vakum ölçer cihazı bağlanmıştır. Tüm çıkış muslukları kapatıldıktan sonra vakum pompası çalıştırılmış ve ardından 3 ve 4. musluklar açılarak vakum kutusu içerisindeki havanın tahliyesi 3. musluğa bağlı olan vakum pompası ile sağlanmıştır. Bu arada yaklaşık 500 mbar vakum seviyesinde iken 1. musluk, hortum bağlantı elemanlarının tıkanıklık kontrolü amaçlı 1-2 saniye az miktarda açılıp kapatılabilir. Daha sonra birkaç dakika içerisinde 10 – 50 mbar (1 – 5 kPa) arasında vakum ortamının yaratılması vakum ölçer vasıtası ile kontrol edilmiştir. Numuneler 10 – 50 mbar vakum ortamında 3 saat bekletildikten sonra vakum pompası çalışır vaziyette iken çözelti emdirme silikon hortumunun bağlı olduğu 1. musluk açılmış ve tüm numuneler saf su ile hazırlanan doymuş  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  çözeltisi içerisine tamamen gömülene kadar çözelti vakum kutusu içerisine emdirilmiştir. Numuneler çözelti vakum ortamında 1 saat daha bekletilmiş ve bunun sonunda vakum pompası çalışır vaziyette iken başta 3. musluk kapatılmış, ardından vakum pompası da kapatılmıştır. 2. musluk vakum kutusu içerisine tekrar hava girişi için açıldıktan sonra numuneler çözelti içerisinde  $18 \pm 2$  saat kalacak şekilde bekletilmiştir.

Sonra numuneler çözelti içerisinden alınarak kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra her bir deney numunesi çözelti kaçağı ihtimaline karşı dış yüzeyi polietilen bant ile sarılarak hazırlanmıştır. Deney numuneleri silikon kauçuk boruların bir tarafından sıfırlanarak yerleştirildikten sonra iki adet çift kısaçallı ağır hizmet kelepçesi silikon kauçuk dışından numuneyi kavrayacak şekilde yerleştirilmiş ve sıkılmıştır. (Şekil 3.17) Numune dış çeperlerinde sızdırmazlığa engel teşkil edecek çatlak, yarık, hava boşluğu gibi kusurların bulunması durumunda numunenin dış çeperlerinin silikon

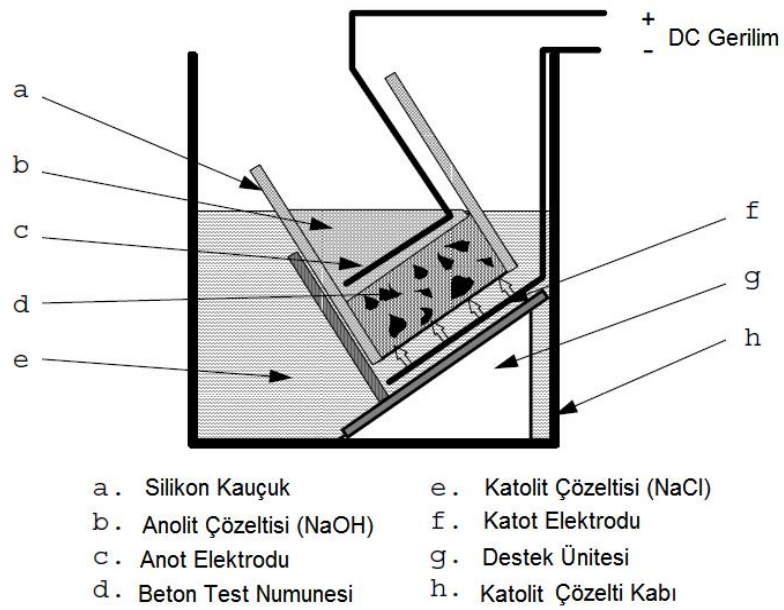
kauçuk ile kavuştuğu kısımlara ince bir tabaka akvaryum silikonu sürülerek tam bir sızdırmazlık sağlanabilir. Bu sırada deneyde kullanılmak üzere NaCl çözeltisi (katolit çözeltisi) hazırlanmıştır. Hazırlanan yaklaşık 12 litre %10 luk NaCl (900 g musluk suyu içerisinde 100 g NaCl çözülerek elde edilir) çözeltisi her bir katolit çözelti kabı içerisine boşaltılmıştır.

Daha sonra 0,3 M NaOH çözeltisi (yaklaşık 1 litre saf su içerisinde 12 g NaOH tuzu çözülerek elde edilir) hazırlanarak her bir silikon kauçuk içerisine 300 ml NaOH çözeltisi (anolit çözeltisi) boşaltılmıştır. Katolit çözelti kapları içerisindeki destek ünitesi üzerine başta katot elektrotu yerleştirildikten sonra elektrot ile numune arasında çözelti boşluğu yaratmada kullanılan plastik destek aparatları destek ünitesi üzerine yerleştirilmiştir. Her bir numune Şekil 3.15’de gösterildiği gibi  $32^\circ$  açılı destek ünitesi üzerine dikkatlice yerleştirilmiştir. Anot elektrotu silikon kauçuk içerisine numune yüzeyine oturacak şekilde yerleştirilip anot ve katodun DC güç kaynağı ile bağlantısı kablolar kullanılarak yapılmıştır. Güç kaynağının “-” işaretli siyah kablosu katot elektrotuna, “+” işaretli kırmızı kablosu ise anot elektrotuna bağlandıktan sonra tüm düzenek kablo ve bağlantıları deneye başlamak üzere kontrol edilmiştir. Tüm numune ve çözeltilerin sıcaklığı  $20 - 25^\circ\text{C}$  aralığında olmalıdır.



**Şekil 3.15** Numunelerin yerleştirileceği destek ünitesi ve plastik destek aparatı

Şekil 3.16 ve Şekil 3.18’de görülen deney düzeneğine göre başta DC güç kaynağının akım kısmı ince ayar düğmesi sonuna kadar açılarak güç kaynağının gerilim moduna geçmesi sağlandıktan sonra güç kaynağının gerilim kısmı kaba ve ince ayar düğmeleri kullanılarak deney düzeneğine 30 V DC gerilim uygulanmıştır. Avometre kullanılarak her bir hücredeki 30 V DC gerilime karşı devreden geçen akım miktarı mA biriminden okunarak Çizelge 3.14’deki veriler kullanılarak ve 30 volt DC geriliminde okunan akım aralığına göre gerekli olduğunda gerilim ayarlaması yapılarak ölçümler alınmıştır.



**Şekil 3.16** NT Build 492 Klorür migrasyon katsayısı tespiti deney düzeneği



**Şekil 3.17** Klorür geçirimsizliği deneyi - 1



**Çizelge 3.14** Uygulanacak gerilim, oluşan akım ve test süresi çizelgesi

Başlangıç Akımı (mA) I 30V (30 Volt)	Uygulanan Gerilim U (Ayardan sonra) (V)	Ayardan Sonra Okunan Akım I <sub>0</sub>	Test süresi t (saat)
I <sub>0</sub> < 5	60	I <sub>0</sub> < 10	96
5 £ I <sub>0</sub> < 10	60	10 £ I <sub>0</sub> < 20	48
10 £ I <sub>0</sub> < 15	60	20 £ I <sub>0</sub> < 30	24
15 £ I <sub>0</sub> < 20	50	25 £ I <sub>0</sub> < 35	24
20 £ I <sub>0</sub> < 30	40	25 £ I <sub>0</sub> < 40	24
30 £ I <sub>0</sub> < 40	35	35 £ I <sub>0</sub> < 50	24
40 £ I <sub>0</sub> < 60	30	40 £ I <sub>0</sub> < 60	24
60 £ I <sub>0</sub> < 90	25	50 £ I <sub>0</sub> < 75	24
90 £ I <sub>0</sub> < 120	20	60 £ I <sub>0</sub> < 80	24
120 £ I <sub>0</sub> < 180	15	60 £ I <sub>0</sub> < 90	24
180 £ I <sub>0</sub> < 360	10	60 £ I <sub>0</sub> < 120	24
I <sub>0</sub> <sup>3</sup> 360	10	I <sub>0</sub> <sup>3</sup> 120	6

Gerilim ayarlaması yapılan her bir hücredeki akım tekrar okunarak her bir hücredeki anolit çözeltisi deney başlangıç sıcaklığı ölçülmüştür. Çizelge 3.14'e uygun olarak deney süresi tespit edilmiş ve süre sonunda her bir hücredeki devreden geçen son akım miktarı ölçülmüştür. Her bir hücredeki anolit çözeltisi deney bitiş sıcaklığı ölçülmüştür. Ardından güç kaynağı kapatılarak deney sonlandırılmıştır. Numuneler katolit çözelti kaplarından dışarı alınmış, kelepçeler sökülerek numuneler silikon kauçuk boruların içerisinden çıkarılmıştır. Numuneler musluk suyunda yıkanarak ve adsorbe su havlu yardımıyla numunelerin yüzeyinden uzaklaştırıldıktan sonra numuneler beton yarma aparatı vasıtasıyla ortadan ikiye ayrılarak parçalardan yarıma yüzeyi kenarlara göre daha düzgün olan parça migrasyon derinliği ölçümleri için seçilmiştir. Yarılmış taze numune yüzeylerine 0,1 M AgNO<sub>3</sub> çözeltisi spreyleme şişesi yardımıyla spreylenecek yaklaşık 15 dakika bekledikten sonra klorür iyonlarının beton numune içerisinde ilerleme miktarı beyaz bir bölge şeklinde kendini açık bir şekilde göstermeye başlar. Her iki kenardan 10 mm'lik kısımdan sonra 10 mm'lik aralıklarla toplam 7 adet ölçüm noktası belirlenmiştir. Şekil 3.18'de gösterilen bu 7 adet ölçüm noktası hizasında görünür klor migrasyon sınırının numune yüzeyinden derinliği sayısal kumpas yardımı ile ölçülmüştür. Migrasyon

derinliği ölçölürken, eğer migrasyon belirgin bir şekilde bir agregata tarafından bloke edilmiş ise ölçüm hizasına en yakın blokajın olmadığı nokta tercih edilmiştir. Eğer yine de ölçüm mümkün olmuyor ise ve 5'den fazla derinlik ölçümü mevcut ise raporda agregata blokajı ile ilgili not düşölürken bu ölçüm iptal edilebilir. Migrasyon derinliği ölçölürken, eğer numunede ortalama dışı migrasyona neden olabilecek beton içinden dış yüzeye açılan hava boşluğu, çatlak gibi kusurlar mevcut ise bu ölçümler değerlendirmeye alınmaz. Klorür geçirimliliği deneyi çalışmasında kireçtaşı agregaları kullanılarak hazırlanan şekil 3.19'da bazalt agregaları kullanılarak hazırlanan klorür geçirimliliği deney numuneleri şekil 3.20'de gösterilmiştir.

Migrasyon katsayısı aşağıdaki formöl yardımı ile hesaplanmıştır:

$$D_{nssm} : \frac{0,0239 (273+T)L}{(U-2)t} \left( x_d - 0,0238 \sqrt{(273+T)L x_d} \right) \quad (U-2)$$

$D_{nssm}$  : Migrasyon katsayısı,  $\times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$

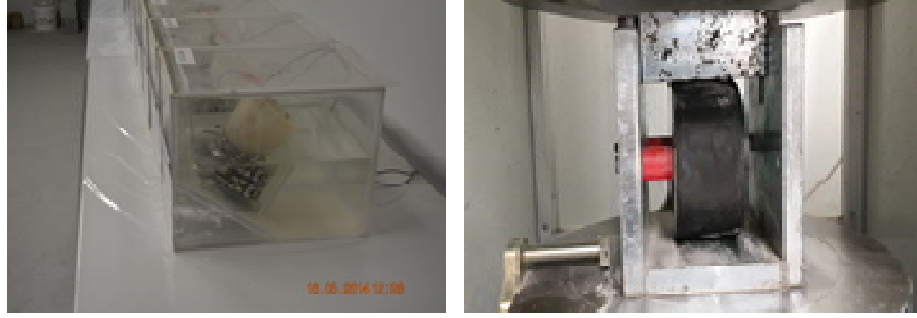
U : Uygulanan gerilim, Volt

T : Anolit çözeltilisinin deney başlangıcı ve deney sonundaki sıcaklık ortalaması, °C

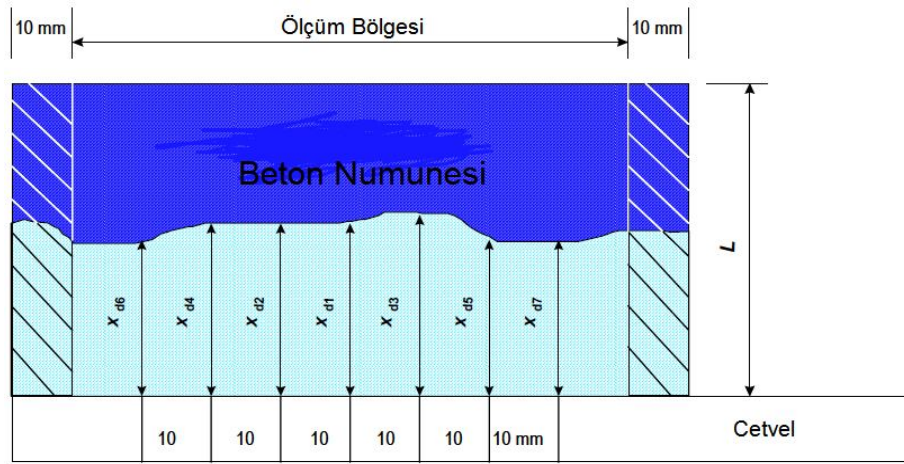
L : Deney numunelerinin kalınlığı, mm

$x_d$  : Deney numuneleri içirisine klorür migrasyonu ortalama derinliği, mm

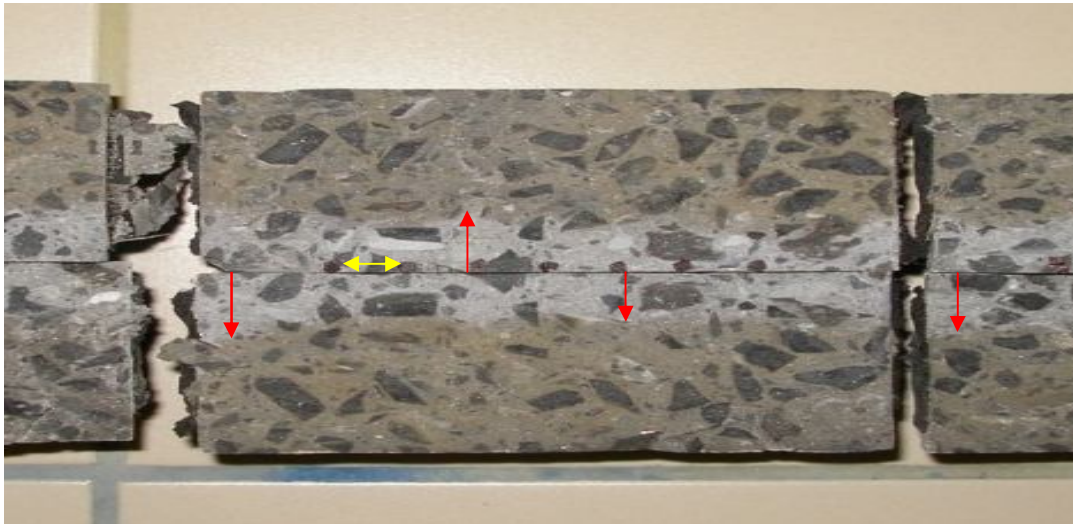
t : Deney süresi, saat



Şekil 3.18 Klorür geçirimsizliği deneyi - 2



Şekil 3.19 Beton numunesi içinde işleme derinliği ölçüm noktalarının belirlenmesi



Şekil 3.20 KT-D1 Kireçtaşı agregaları kullanılarak yapılan KYB'de klorür geçirimsizliği



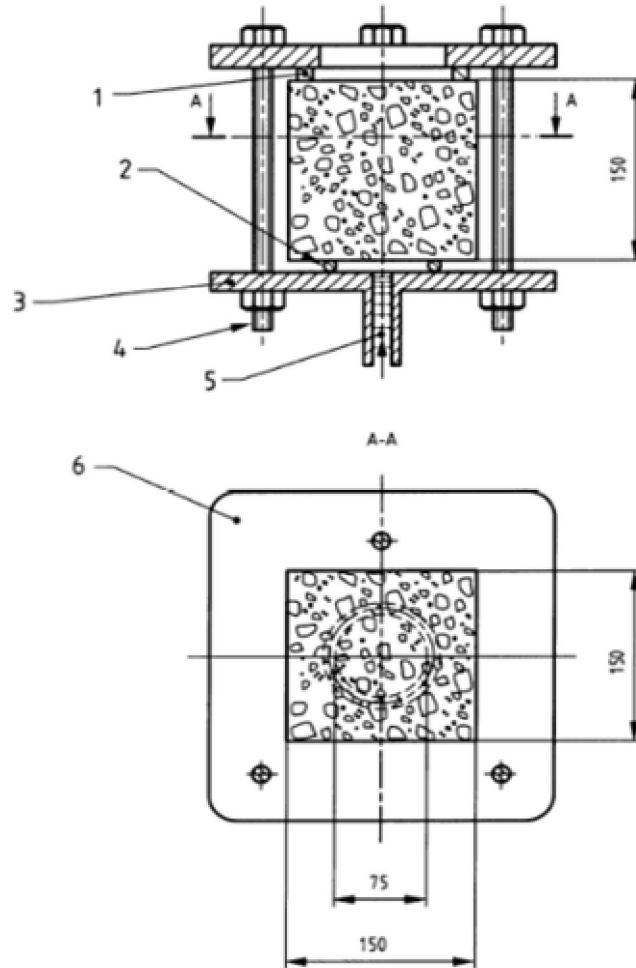
**Şekil 3.21** BA-D1 Bazalt agregaları kullanılarak yapılan KYB’de klorür geçirimliliği

### 3.2.4.3 Basınç altında su işleme derinliği tayini deneyi

Sertleşmiş betonda basınç altında su işleme derinliğinin tayini deneyi TS EN 12390-8 standardına göre yapılmıştır. Standardda verilen ölçülere sahip deney numunesi, Şekil 3.21’de gösterildiği gibi bir cihazla deney alanına su basıncı uygulanabilecek ve uygulanan basınç sürekli olarak göstergeden izlenebilecek şekilde yerleştirilir. Deney esnasında, lastik veya diğer benzeri malzeme kullanılarak gerekli sızdırmazlık sağlanmalıdır. Deney uygulanan alanın boyutları, numune yüzey çapı veya kenar uzunluğunun yaklaşık yarısı kadar olmalıdır. Deney numunesi; küp, silindir veya prizma şeklinde olmalı, numune yüzeyinin en küçük boyutu 150’mm’den, numunenin diğer boyutları ise 100 mm’den daha küçük olmamalıdır.

Deney numunesinin su basıncı uygulanacak yüzeyi, numune kalıptan çıkartıldıktan hemen sonra, tel fırça ile pürüzlendirilmeli ve numune EN 12390-2’de verilen işleme göre su içerisinde küre tabi tutulmalıdır. Numune, deney başlangıcında en az 28 günlük olmalıdır. Su basıncı, numunenin masterlanmış yüzeyine uygulanmamalıdır. Numune, cihaza yerleştirilir (Şekil 3.20) ve numuneye  $(72 \pm 2)$  saat süreyle  $(500 \pm 50)$  kPa su basıncı uygulanır.(Şekil 3.21) Deney esnasında, deney numunesinin basınç uygulanmayan yüzeyleri, belirli aralıklarla gözlenmeli ve yüzeylerde su görülmesi durumu kaydedilmelidir. Su sızıntısı görülmesi hâlinde, deneyin sonuca ulaştığı kabul edilir ve durum kaydedilir. Deney için, içilebilir nitelikteki şebeke suyu kullanılması yeterlidir.

Basıncın, belirtilen süreyle uygulanmasından sonra deneye son verilir ve numune cihazdan çıkartılır. Basıncı su uygulanan yüzeydeki fazla su silinerek temizlenir. Numune, basınçlı su uygulanan yüzeye dik şekilde, ortasından yarılarak ikiye bölünür.(Şekil 3.22) Numunenin bölünmesi ve incelenmesi esnasında, basınçlı su uygulanan yüzey alt tarafa getirilir. Numunenin bölünmesiyle ortaya çıkan numune yüzeyinin, su işleyen kısım kesitinin belirgin şekilde görülünceye kadar kurutulmasından hemen sonra, ıslak alanın sınırları işaretlenir. (Şekiller 3.23 ve 3.24) Basınç uygulanan deney alanından itibaren, suyun işlediği en büyük derinlik, ölçülerek en yakın milimetreye yuvarlatılmak suretiyle kaydedilir. Deney sonucu, en yakın milimetreye yuvarlatılmak suretiyle gösterilen, en büyük su işleme derinliğidir.



**Şekil 3.22** Basınç altında su işleme derinliği deney düzeneği

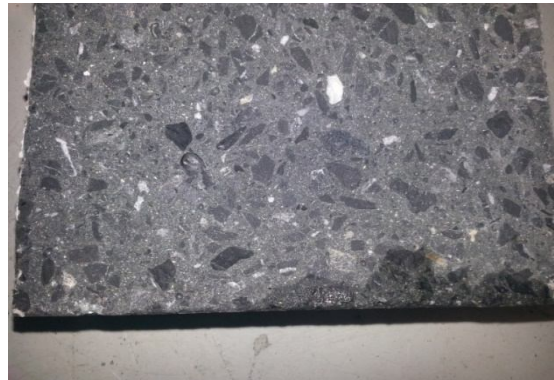
- |                         |                            |                       |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 1. Yerleştirme parçası  | 3. Sıkıştırma plakası      | 5. Basınçlı su girişi |
| 2. Sızdırmazlık contası | 4. Yivli sıkıştırma çubuğu | 6. Sıkıştırma plakası |



**Şekil 3.23** Basınçlı su emme deneyi için numunenin deney düzeneğine yerleştirilmesi



**Şekil 3.24** Numunenin basınçlı su uygulanan yüzeye dik şekilde ortasından yarılması



**Şekil 3.25** KT-D5 Kireçtaşı Karışım deney sonucuna ait basınçlı su emme deneyi numunesi



**Şekil 3.26** BA-D5 Bazalt Karışım deney sonucuna ait basınçlı su emme deneyi numunesi

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1 Taze beton deney sonuçları

Çizelge 4.1'de KYB'lerin taze harçları üzerinde gerçekleştirilen beton sıcaklıkları, alkalinite ölçümleri, yayılma deneyi, T<sub>50</sub> süresi, hava yüzdesi, BHA ölçümleri ve priz süreleri deney sonuçları verilmiştir. Çizelge 4.1.'de gösterilen sonuçlara göre değerlendirmeler maddeler halinde yapılmıştır:

- KYB'lerde ölçülen sıcaklık agregada değişiminden etkilenmiştir. Bu durum özellikle CEM III tip çimentoda daha önemli bir oranda gerçekleşmiştir. Kireçtaşı ve bazalt agregası ile hazırlanan KYB'ler karşılaştırıldığında bazalt agregası ile hazırlanan KYB'lerde kireçtaşıyla hazırlanan KYB'lere göre CEM I için %4,37, CEM II için %10,76, CEM III için %12,87, CEM I+UK için %4,60, CEM I+ÖYFC için %5,98 ve CEM I+UK+ÖYFC için %7,02 daha fazla hidrasyon sıcaklığı olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin bazaltın içerdiği reaktif puzolanik yapının hidrasyon reaksiyonlarına etki etmesi sebebiyle açıklanabilir. (Liu Laibao, ve diğ., 2013)
- Hidrasyon sıcaklıkları açısından bağlayıcı farklılıkları incelendiğinde CEM I tip çimentoyla üretilen KYB'lerde hidrasyon sıcaklıklarının CEM II ve CEM III'e göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu literatürle örtüşmektedir. UK ikamesi yapılan çimentolu KYB'lerde ÖYFC ikamesine göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin UK'nin yüzey alanıyla ilgili olduğu ve reaksiyon kapasitesinin ÖYFC'ye göre daha düşük olduğundan kaynaklandığı düşünülmüştür. Ayrıca en düşük sıcaklık CEM III çimentosunda gerçekleşmiştir.
- Yayılma deney sonuçlarında hedeflenen en az 60 cm yayılma değerine tüm karışımlarda ulaşılmıştır. Ölçülen değerlerin en az 60 cm değer aralığında olması SF1 yayılma sınıfına ve en fazla 74 cm değer aralığı için SF2 yayılma sınıfı içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.



- Çizelge 3.12 ve Çizelge 4.1 incelendiğinde bazalt agregasıyla hazırlanan KYB'lerde CEM I, CEM II ve CEM III çimentoları kullanımının kimyasal katkı azalmasına rağmen bazalt agregalarının yayılmaya olan etkisinin yüksek olduğu düşünülebilir. Kireçtaşı agregası ile üretilen KYB'lerde CEM I ve CEM II için %5,5 kimyasal katkı ile 60 cm, CEM III için %4,84 kimyasal katkı ile 60 cm yayılma elde edilirken, bazalt agregası ile CEM I için %5,5 kimyasal katkı ile 61 cm ve CEM II için %4,84 kimyasal katkı ile 62 cm, CEM III için %4,18 kimyasal katkı ile 61 cm yayılma elde edilmiştir. UK'li karışımlarda %4,8 ile 74 cm yayılma kireçtaşı KYB'lerde, %4,16 ile 68 cm yayılma bazaltlı KYB'lerde olduğu görülmüştür. UK yayılmaya olumlu etki etmiştir.
- TS EN 206'ya göre yayılma miktarları karşılaştırıldığında puzolan ilave edilmiş karışımların %100 çimentolu karışımlara göre daha fazla yayılma gösterdikleri tespit edilmiştir. Benzer şekilde Girish ve diğ. (2010) hem karışımdaki toplam bağlayıcı malzeme miktarının hem de toplam bağlayıcı içindeki uçucu kül miktarının artışı ile yayılmasının arttığını belirtmişlerdir. Öte yandan uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun özgül ağırlıkları (2,33 ve 2,86) çimentodan daha küçük olduğu için aynı ağırlık için kapladıkları hacim çimentoya göre daha büyüktür. Bu durum puzolanlı karışımların daha fazla ince malzeme (bağlayıcı) hacmine sahip olduklarını gösterir. Bu durum bu karışımların daha fazla yayılma göstermelerinin diğer bir nedenidir.
- BHA deney sonuçlarında kireçtaşı ve bazalt agregası ile hazırlanan KYB'ler karşılaştırıldığında bazalt agregası ile hazırlanan KYB'lerde kireçtaşıyla hazırlanan KYB'lere oranla sırasıyla D1-D6 üretimleri için yaklaşık olarak %1,90 %3,48 %3,13 %0,62 %0,13 ve %0,46 oranında artışlar gözlenmiştir. Burada bazalt agregalarının tane yoğunluğunun kireçtaşına göre yüksek olduğu için deney sonuçları değerlerinin daha yüksek olduğu düşünülmüştür.
- Taze beton üzerinde yapılan hava içeriği deney sonuçlarının değerlendirilmesinde çimentolu karışımlar için bazalt agrega kullanılarak yapılan karışımların, kireçtaşı agregaları ile yapılan beton karışımlarına oranla sırasıyla CEM I, CEM II, CEM III çimentoları için elde edilen hava %'lerinde % 55,6 %42,1 %21,4 oranında azaldığı gözlenmiştir. Bazaltlı karışımların kireçtaşı ile yapılan karışımlara oranla CEM I çimentoya UK ikame edilen karışımlarda CEM I+UK ve CEM I+UK+GYFC %

75,0 %63,6 oranında arttığı, GYFC ikame edildiğinde %39,3 oranında azaldığı gözlenmiştir. Genelde kireçtaşı agrega karışım deney sonuçlarında yüksek çıkması karışımlarımızda kireçtaşı kırma kumundaki inceliğinin yüksek olması (Kireçtaşı kırma kumunda çok ince malzeme muhtevası 63  $\mu$  elek bakiyesi %14,2, bazalt kırma kumunda %6) ve polimer esaslı katkı ile gösterdiği etkileşim olarak yorumlanabilir.

- Taze beton üzerinde yapılan priz süresi deney sonuçlarında çimentolu karışımlar için bazalt agrega kullanılarak yapılan karışımların, kireçtaşı agregaları ile yapılan beton karışımlarına oranla sırasıyla CEM I, CEM II, CEM III çimentoları için elde edilen priz başlama sürelerinde % 10,7 %22,6 %12,5 ve priz bitiş sürelerinde % 23,3 %26,1 %11,1 oranında azalma olduğu gözlenmiştir. Bazaltlı karışımların kireçtaşı ile yapılan karışımlara oranla CEM I çimentoya UK ikame edilen karışımlarda CEM I+UK ve CEM I+UK+GYFC için priz başlama süresinin % 4,4 %10,3 oranında azaldığı, GYFC ikame edildiğinde farkın %0,0 olduğu, CEM I+UK ve CEM I+UK+GYFC için priz bitiş süresinin % 2,6 %7,7 oranında arttığı, GYFC ikame edildiğinde %2,7 oranında azaldığı gözlenmiştir. Çimentolara UK ikame edilmesinde priz başlama süresini azaltma yönünde olurken, priz bitiş süresinin arttığı görülmüştür. GYFC için bu durumun azalma yönünde olduğu gözlenmiştir. Burada UK'nin inceliğinin ve çimento ile gösterdiği kimyasal reaksiyonun priz süresini ötelediğini göstermiştir.
- Taze beton üzerinde yapılan T<sub>50</sub> süresi deney sonuçlarında çimentolu karışımlar için bazalt agrega kullanılarak yapılan karışımların, kireçtaşı agregaları ile yapılan beton karışımlarına oranla sırasıyla CEM I, CEM II, CEM III çimentoları için elde edilen T<sub>50</sub> sürelerinde % 60,0 %28,6 azalma %75,0 oranında artma gözlenmiştir. Burada bazaltın mineralojik yapısının etkili olduğu düşünülmektedir. Bazaltlı karışımların kireçtaşı ile yapılan karışımlara oranla CEM I çimentoya UK ve GYFC ikame edilen karışımlarda CEM I+UK ve CEM I+GYFC için T<sub>50</sub> süresinin % 33,3 %166,7 oranında arttığı, CEM I çimentoya UK+GYFC ikame edildiğinde %20,0 oranında azaldığı görülmüştür. Mineral katkıların ayrı ayrı katıldığında T<sub>50</sub> süresinde artma yönünde olduğu, birlikte karışıma girdiklerinde azalma yönünde olduğu görülmektedir. Girish ve diğ. (2010) uçucuküllü karışımlarda T<sub>50</sub> süresinin azaldığını belirtmişlerdir.

- Taze betonda pH ölçümlerinde bazalt agregası kullanılarak yapılan karışımların, kireçtaşı agregaları ile yapılan beton karışımlarına oranla sırasıyla CEM III, CEM I, CEM II çimentolarına doğru azalmanın arttığı gözlenmiştir. CEM III çimentolu karışımda pH' 0 dk, 15 dk, 30 dk. için % 1,4 %2,1 % 3,8, CEM I çimentolu karışımda pH' 0 dk, 15 dk, 30 dk. için % 1,8 %2,7 % 4,4 CEM II çimentolu karışımda pH' 0 dk, 15 dk, 30 dk. için % 2,9 %4,1 % 4,7 oranında olmuştur. Bazalt agregası karışımlarının kireçtaşı agregası karışımlarına göre çimentolu karışımlarda azalmanın bazaltın mineralojisiyle ilgili olduğu gözlenmiştir. Ayrıca pH' 0 dk, 15 dk, 30 dk. ya doğru kendi CEM I, CEM II, CEM III çimentolu ve CEM I+UK+GYFC ve ikame edilen karışımda artma yönünde olduğu gözlenmiştir.

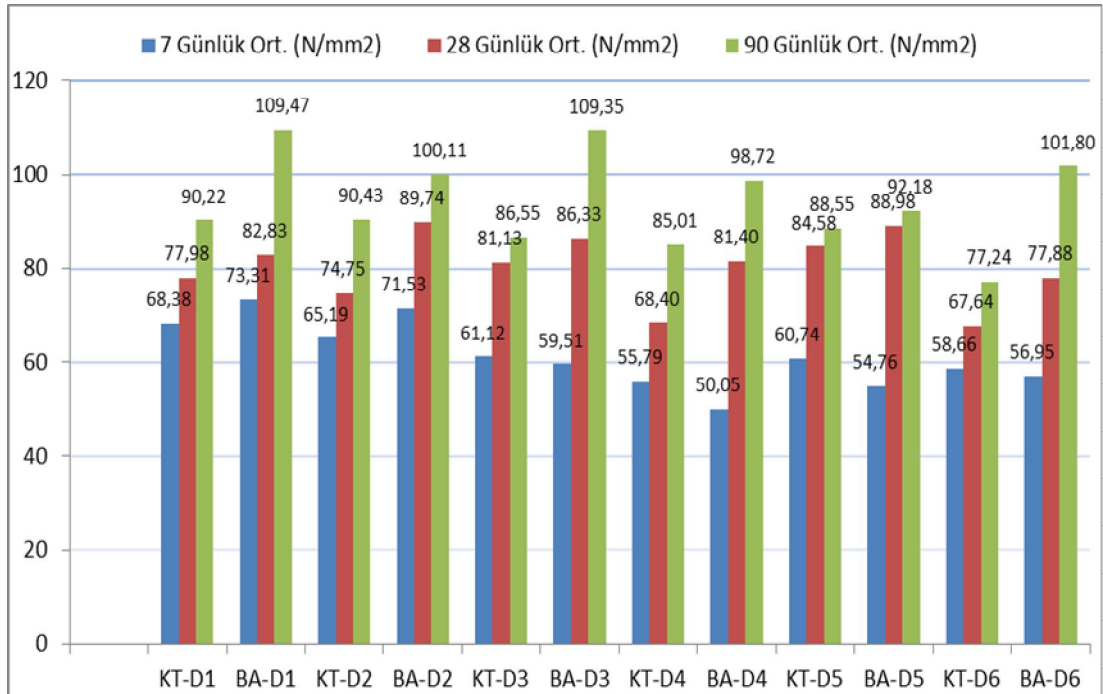
Çizelge 4.1 KYB taze beton deney sonuçları

Deney Kodu	Çimento Tipleri	Beton Sıcaklığı (°C)	pH (0 dk)	pH (15 dk)	pH (30 dk)	Yayılma (cm)	T <sub>50</sub> (sn)	Hava (%)	Taze Beton BHA (kg/m <sup>3</sup> )	Priz Başlama (dk)	Priz Bitişi (dk)
KT-D1	CEM I	25,2	13,14	13,24	13,28	60	10	0,9	2477	140	215
KT-D2	CEM II	22,3	13,1	13,18	13,23	60	7	1,9	2386	155	230
KT-D3	CEM III	20,2	12,76	12,82	12,86	60	4	2,8	2367	120	180
KT-D4	CEM I + UK	23,8	12,96	12,84	12,87	74	6	0,4	2420	115	195
KT-D5	CEM I + ÖYFC	23,4	12,98	12,95	12,91	66	3	2,8	2392	110	185
KT-D6	CEMI+UK+ÖYFC	24,2	12,71	12,79	12,82	68	5	1,1	2371	145	195
BA-D1	CEM I	26,3	12,9	12,88	12,69	61	4	0,4	2524	125	165
BA-D2	CEM II	24,7	12,72	12,64	12,61	62	5	1,1	2469	120	170
BA-D3	CEM III	22,8	12,58	12,55	12,37	61	7	2,2	2441	105	160
BA-D4	CEM I + UK	25	12,56	12,52	12,38	68	8	0,7	2435	110	200
BA-D5	CEM I + ÖYFC	24,8	12,5	12,68	12,66	70	8	1,7	2395	110	180
BA-D6	CEMI+UK+ÖYFC	25,9	12,59	12,48	12,51	71	4	1,8	2382	130	210

## 4.2 Sertleşmiş beton deney sonuçları

### 4.2.1 Basınç Dayanımı

TS EN 206 Beton - Özellik, performans, imalat ve uygunluk standardına açıklayıcı olarak hazırlanan ulusal standard olarak TS EN 206'nın uygulamasına yönelik tamamlayıcı standart TS 13515 standardı 2014 tarihinde yürürlüğe girmiştir. TS 13515 standardında 100\*200 mm boyutlarındaki numunelerin basınç dayanımları 0,95 katsayısı ile çarpılarak 150\*300 mm silindir numune basınç dayanım değerlerinin elde edilebileceği belirtilmiştir. Şekil 4.2'de basınç dayanımlarının zamana göre gelişim grafiği verilmiştir. Şekil 4.3'de beton basınç dayanımlarında 7/28, 7/90, 28/90 günlük dayanım gelişimleri hesaplanarak verilmiştir. Bu şekildeki değerler 100\*200 mm silindir ile ölçülen dayanımların 0,95 katsayısı ile çarpılarak hesaplanan 150\*300 mm silindir dayanımları olarak verilmiştir.  $f(150x300) = 0,95 * f(100x200)$



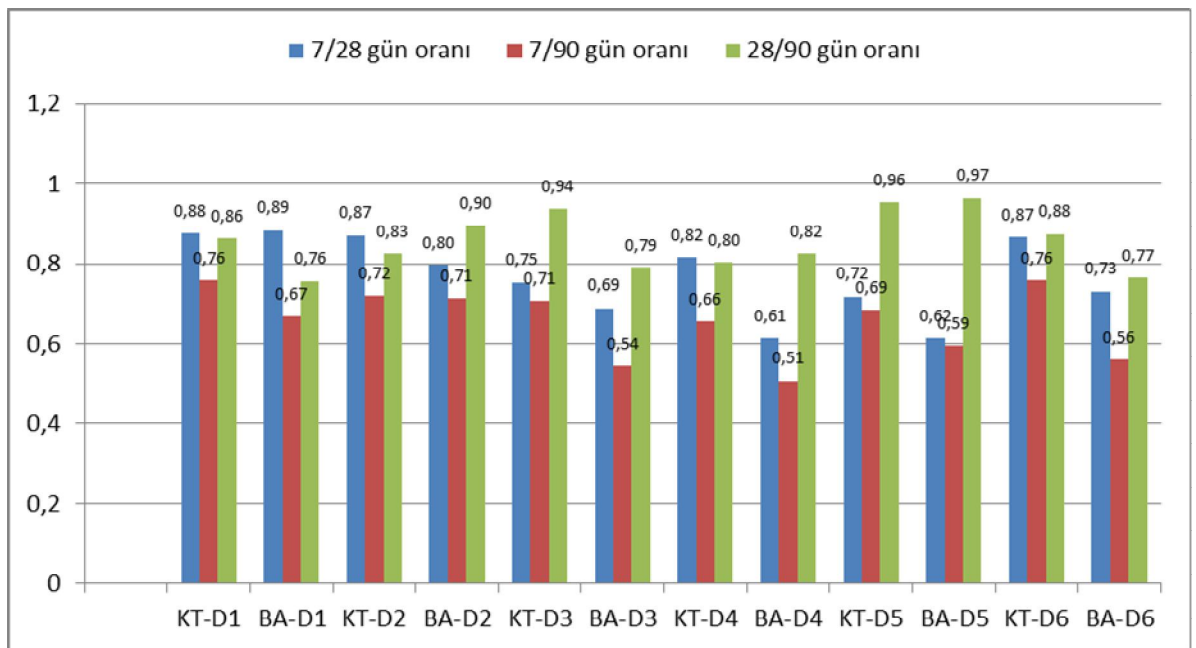
Şekil 4.2 Beton karışımları basınç dayanım deney sonuçları (N/mm<sup>2</sup>) (150\*300 mm)

Çizelge 4.5’de Sertleşmiş beton deney sonuçlarından elde edilen bulgular aşağıdaki maddeler halinde özetlenmiştir:

- Sertleşmiş beton 7 günlük basınç dayanım sonuçlarının değerlendirilmesinde bazalt agregalarının kireçtaşı agregalarına göre CEM I ve CEM II çimentolu karışımların dışında diğer bütün karışımlarda daha düşük değerler elde edilmiştir. Bu oran %7,2 ve %9,7 oranında CEM I ve CEM II için artarken; CEM III, CEM I+UK, CEM I+ÖYFC, CEM I+UK+ÖYFC için %2,6 %10,3 %9,8 %2,9 oranında azalmıştır. CEM I ve CEM II karışımlarının dışında CEM III ve CEM I çimentoya UK, ÖYFC, UK+ÖYFC ikame edilmesi durumunda 7. günde bazalt agregalarında dayanımın azaldığı görülmüştür.
- Sertleşmiş beton 28 günlük basınç dayanım sonuçlarının değerlendirilmesinde bazalt agregalarının kireçtaşı agregalarına göre bütün karışımlarda daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bu oran CEM I, CEM II, CEM III, CEM I+UK, CEM I+ÖYFC, CEM I+UK+ÖYFC için sırası ile %6,2 %20,1 %6,4 %19,0 %5,2 %15,1 oranında artmaktadır.
- Sertleşmiş beton 90 günlük basınç dayanım sonuçlarının değerlendirilmesinde bazalt agregalarının kireçtaşı agregalarına göre bütün karışımlarda daha yüksek değerler elde edilmiştir. Bu oran CEM I, CEM II, CEM III, CEM I+UK, CEM I+ÖYFC, CEM I+UK+ÖYFC için %21,3 %10,7 %26,3 %16,1 %4,1 %31,8 oranında artmaktadır.
- 7/28 günlük dayanım gelişiminde bazalt agregalarının kireçtaşı agregalarına göre en yüksek CEM I’de % 0,9 artarken, en düşük CEM I+UK’de 24,6 değerlerinde azalma görülmüştür. Bazalt agregalarının kireçtaşı agregalarına göre CEM II, CEM III, CEM I+ÖYFC, CEM I+UK+ÖYFC için % 8,6 %8,5 %14,3 % 15,7 oranında azalma devam etmiştir. Bu durum CEM II, CEM III çimentolu ve CEM I çimentoya UK, ÖYFC, UK+ÖYFC ikame edilmesinde de erken yaşlarda dayanımı azalttığını göstermiştir.
- 28/90 günlük dayanım gelişiminde bazalt agregalarının kireçtaşı agregalarına göre en yüksek CEM II’de % 8,4 artarken, en düşük CEM III’de %15,8 oranında azalma görülmüştür. Bazalt agregalarının kireçtaşı agregalarına göre CEM I+UK,

CEM I+ÖYFC karışımlarda % 2,5 %1,1 artarken; CEM I ve CEM I+UK+ÖYFC için %12,5 % 12,6 oranında azalmaktadır. Bu durum CEM I çimentoya UK, ÖYFC ilave edilmesinde 90. günde dayanım gelişiminin arttığı, CEM I, CEM III ve CEM I+UK+ÖYFC karışımlarda azalttığını göstermiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde bazalt agregaları ile yapılan karışımların 28. günde elde edilen basınç dayanım sonuçlarının, kireçtaşı ile yapılan karışımlardan elde edilen 90 günlük dayanım sonuçlarına ulaştığı görülmektedir.



Şekil 4.3 Taze beton deneyleri basınç dayanım gelişimleri

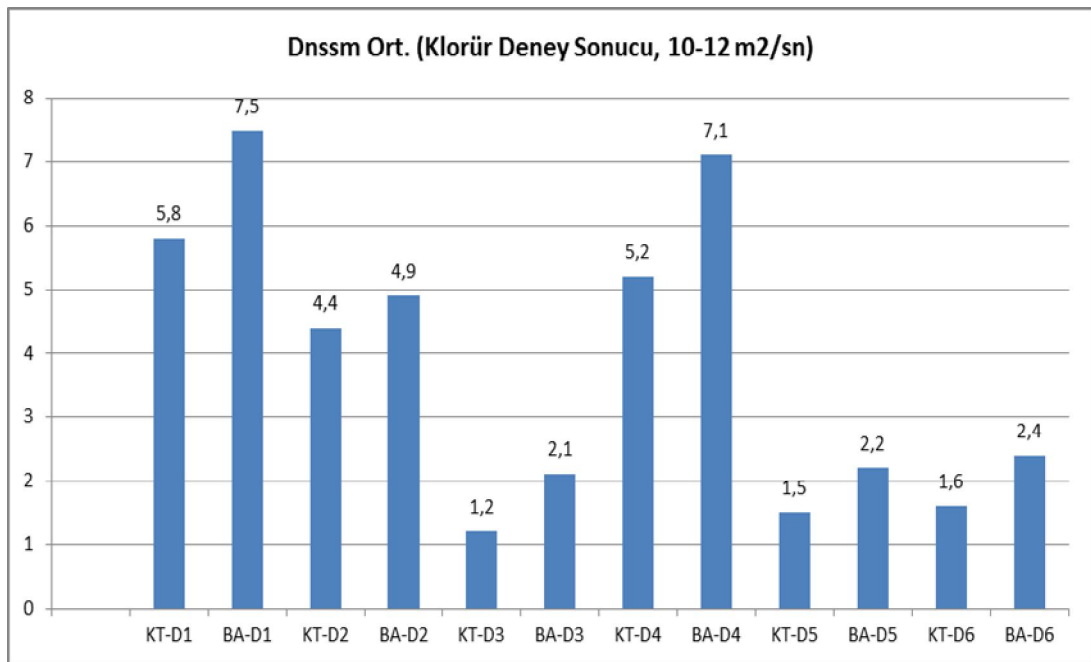
#### 4.2.2 Klorür Geçirirliği Deney Sonuçları

Klorür geçirirliği tayini deney sonuçları Çizelge 4.5 ve Şekil 4.4'de verilmiştir. Buna göre:

- Klorür geçirirliği (Klorür Migrasyon Katsayısının Tespiti) deneyinde bazalt agregaları ile yapılan karışımların kireçtaşı ile yapılan karışımlara oranla klorür geçirirliğinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu durum büyükten küçüğe doğru CEM III % 75, CEM I+UK+ÖYFC % 50, CEM I+ ÖYFC % 46,7, CEM I+UK % 36,5, CEM I % 29,3, CEM II % 11,4 oranında azaldığı görülmüştür.

- Klorür geçirimsizliğinin Bazalt, CEM I karışımında en yüksek  $7,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{sn}$  değerine, en düşük Kireçtaşı, CEM III  $1,2 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{sn}$  değerine ulaşılmıştır.
- Sonuçlar incelendiğinde CEM III çimentolu betonların (hem bazalt hem kireçtaşı) diğer çimentolardan daha düşük klor geçirimsizliği gösterdiği anlaşılmıştır. Bilindiği gibi CEM III çimentosunda puzolan katkı olarak ÖYFC bulunmaktadır.
- Yukarıdaki sonucu destekler şekilde ÖYFC içeren karışımların her iki agrega tipi için de diğer karışımlardan daha düşük klor geçirimsizlik katsayısı verdiği görülmüştür.
- Uçucu külün klor geçirimsizliğini düşürmede ÖYFC kadar etkili olmadığı anlaşılmaktadır.

Genel olarak 28. günde yapılan klorür geçirimsizliği deney sonuçlarının değerlendirilmesi sonrasında, bazalt ile yapılan karışım tasarımlarının, kireçtaşı ile yapılan beton karışımlarından elde edilen klorür geçirimsizliğinden “klorür migrasyon katsayısı” daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir (Klorür migrasyon katsayısı arttıkça geçirimsizlik artmaktadır). Pereira ve diğ. (2009) su emme, vakumlu su emme, kılcal su emme ve hava geçirimsizlik deneylerinde agrega cinsinin etkisinin önemli olmadığını belirtmişlerdir.



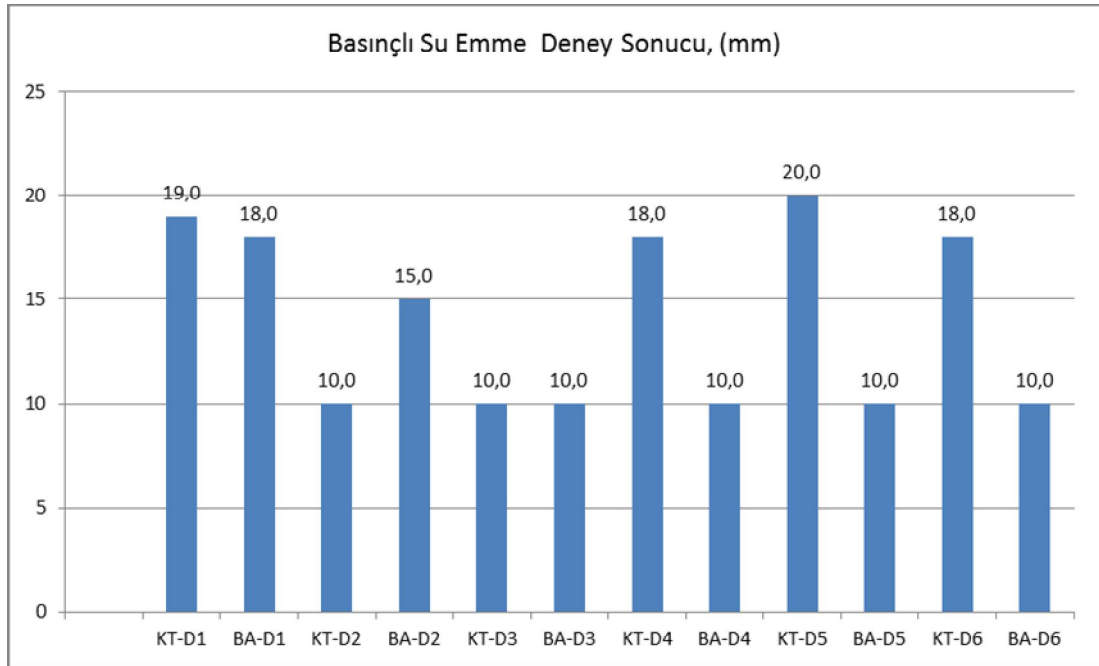
**Şekil 4.4** Klorür geçirimsizliği deney sonuçları



### 4.2.3 Basınçlı Su Emme Deneyi

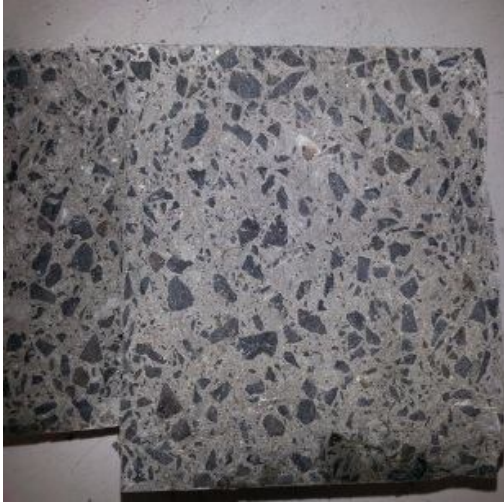
Basınçlı su emme deneyi (impermeabilite) sonuçları Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekil 4.5.'e göre yapılan değerlendirmeler maddeler halinde verilmiştir.

- Basınçlı su emme deneyinde bazalt agregaları ile yapılan karışımların kireçtaşı ile yapılan karışımlara oranla su işleme derinliğinin CEM III de değişmezken CEM II de %50 oranında arttığı; CEM I de %5,3 CEM I+UK'de %44,4 CEM I+ÖYFC'de %50,0 CEM I+UK+ÖYFC'de %44,4 oranında azaldığı gözlenmiştir.
- Basınçlı su emme deneyinin kireçtaşı, CEM I+ÖYFC karışımında en yüksek 20 mm değerine, en düşük kireçtaşı karışımlarında CEM II, CEM III, ve bazalt karışımlarında ise CEM III, CEM I+UK, CEM I+ÖYFC, CEM I+UK+ÖYFC'de 10 mm değerine ulaşılmıştır.

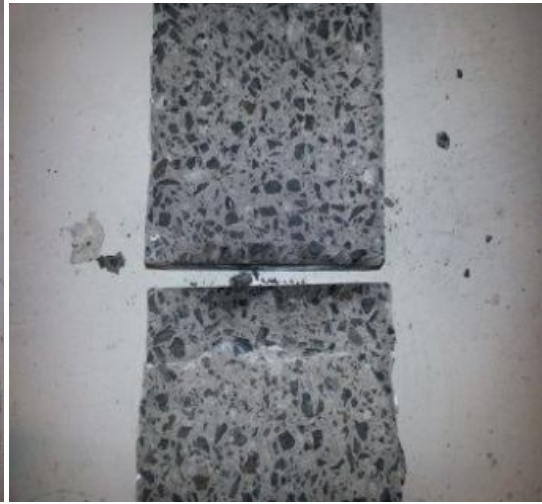


**Şekil 4.5** Basınçlı su emme deney sonuçları

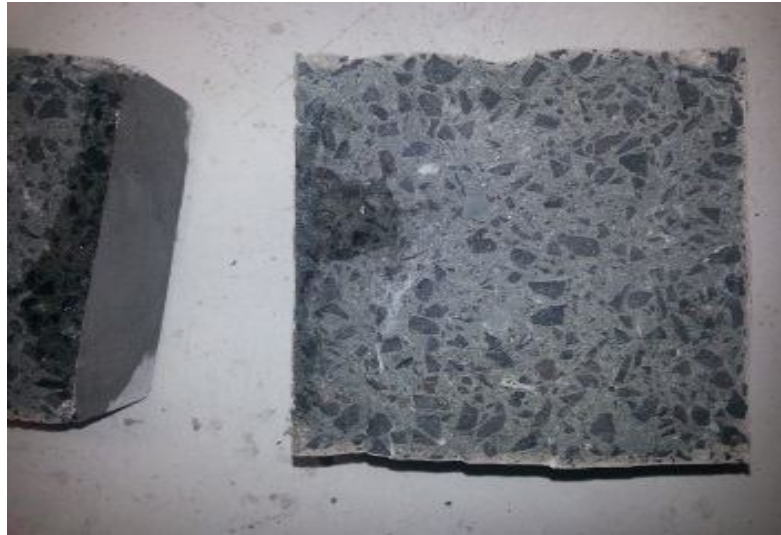
Genel olarak basınçlı su emme deney sonuçlarının değerlendirilmesinde, bazalt ile yapılan karışım tasarımlarının, kireçtaşı ile yapılan beton karışımlarından elde edilen basınçlı su emme deneylerinden daha az olduğu (su işleme derinliği az) görülmüştür. BA-D7-D8 ve D9'da bazalt agregalarında basınçlı su emme deneyleri için alınan 150\*150 mm numunelerin yarma deneyi sonuçları görülmektedir.



Şekil 4.6 BA-D1 Agregası davranışı



Şekil 4.7 BA-D2 Agregası davranışı



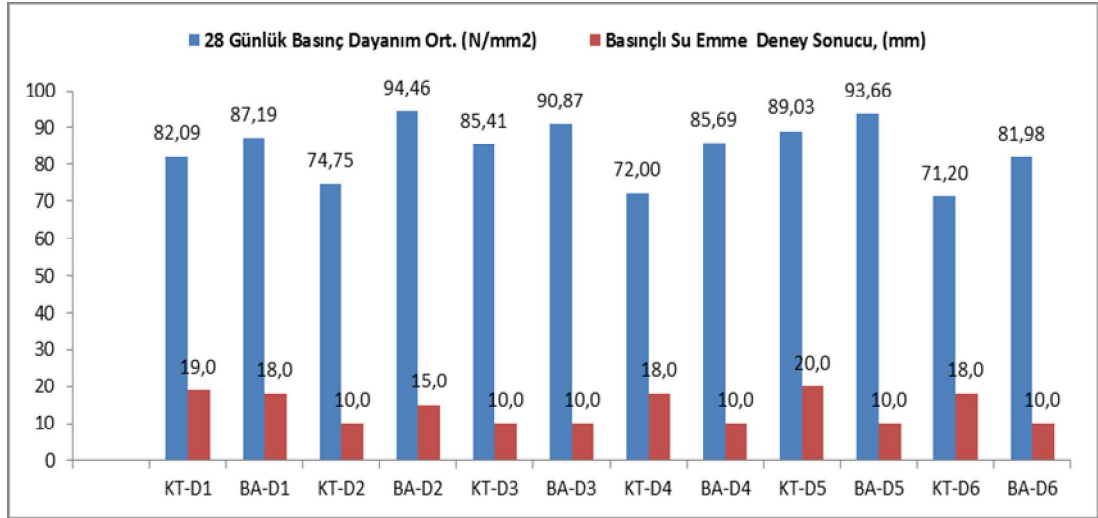
Şekil 4.8 BA-D3 Agregası davranışı

#### 4.2.4 Sertleşmiş Beton Deneyleri Arasında Çapraz Karşılaştırmalar

##### 4.2.4.1 Basınç dayanımı ile basınç altında su işleme derinliğinin karşılaştırılması

Genel olarak değerlendirildiğinde bazalt agregaları ile yapılan karışımlarda mineral katkıli tasarımlarında (CEM I+UK, CEM I+GYFC, CEM I+UK+GYFC) basınç dayanımları kireçtaşı agregası karışımlarına göre daha yüksek ve basınç altında su işleme derinliğinin az olduğu görülmektedir.

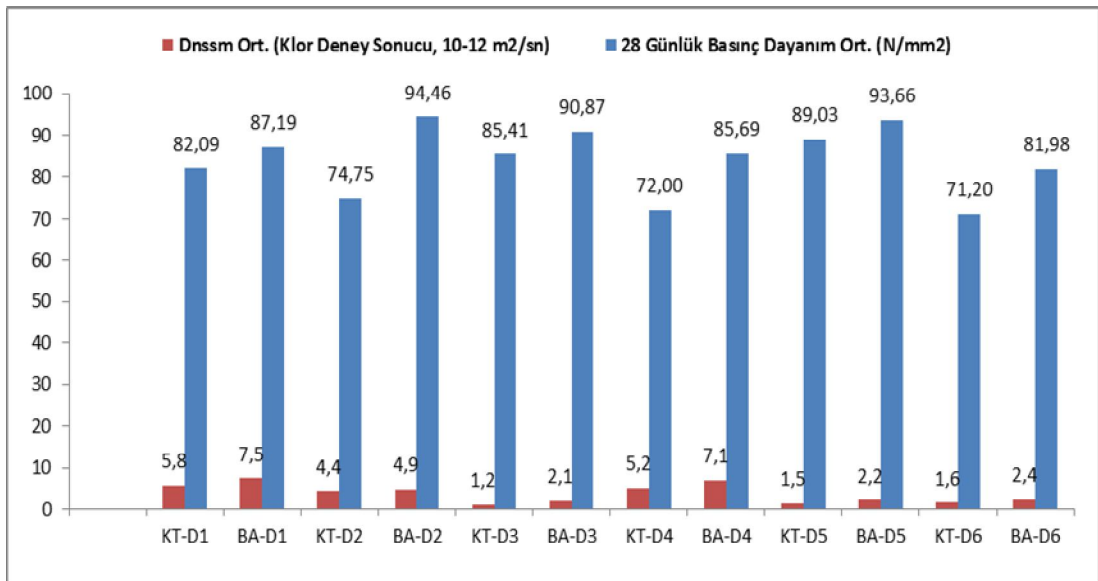
Çimento ile yapılan beton karışımlarında (CEM I, CEM II, CEM III) bazalt agregalı karışımlarda dayanım artarken, su işleme derinliğinde genel olarak aynı seviyede devam ettiği veya artma eğiliminde olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.9 Basınç dayanımı ile basınç altında su işleme derinliğinin karşılaştırılması

#### 4.2.4.2 Klorür geçirimliliği ile basınç dayanımının karşılaştırılması

Genel olarak değerlendirildiğinde bazalt agregaları ile yapılan karışımların tamamında basınç dayanımlarının kireçtaşı agrega karışımlarına göre daha yüksek ve karışımların tamamı için de klorür geçirimliliğinin daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

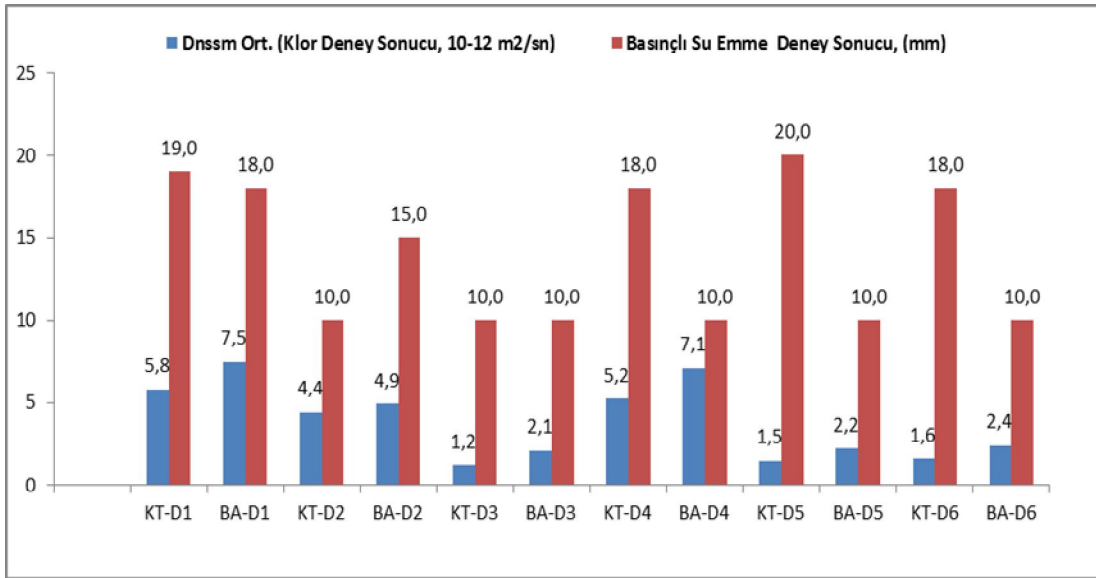


Şekil 4.10 Klorür geçirimliliği ile basınç dayanımının karşılaştırılması

#### 4.2.4.3 Klorür geçirimsizliği ile basınç altında su işleme derinliğinin karşılaşt.

Yukarıda elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde CEM II karışımlarda, bazalt karışımlarının kireçtaşı karışımlarına göre klor geçirimsizliği ve su işleme derinliğinin yükseldiği görülmüştür.

CEM I+UK, CEM I+GYFC, CEM I+UK+GYFC karışımlarda, bazalt karışımlarının kireçtaşı karışımlarına göre klor geçirimsizliği artarken, su işleme derinliğinin azaldığı gözlenmiştir.



**Şekil 4.11** Klorür geçirimsizliği ile basınç altında su işleme derinliğinin karşılaştırılması

#### 4.2.5 Sertleşmiş betonun birim hacim kütlesi

Sertleşmiş betonun birim hacim kütlesi bazalt agregaları ile yapılan beton karışımlarının kireçtaşı ile yapılan beton karışım oranlarına göre arttığını göstermiştir. Bu durum bazalt agregalarında DKY tane yoğunluğu değerlerinin yüksek olması ile açıklanabilir.

Çizelge 4.2 Sertleşmiş beton deney sonuçları

Deney Kodu	Çimento Tipleri	7. Gün Dayanım Ort. (N/mm <sup>2</sup> )	7. gün BHA Ort. (kg/m <sup>3</sup> )	28. Gün Dayanım Ort. (N/mm <sup>2</sup> )	28. gün BHA Ort. (kg/m <sup>3</sup> )	90. Gün Dayanım (N/mm <sup>2</sup> )	90. gün BHA Ort. (kg/m <sup>3</sup> )	7/28 günlük	7/90 günlük	28/90 günlük	28. gün Klor Deney Sonucu, (10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /sn)	28. gün Basınçlı Su Emme Deney Sonucu, (mm)
KT-D1	CEM I	68,38	2455	77,98	2475	90,22	2484	0,88	0,76	0,86	5,8	19
KT-D2	CEM II	65,19	2418	74,75	2405	90,43	2413	0,87	0,72	0,83	4,4	10
KT-D3	CEM III	61,12	2376	81,13	2383	86,55	2401	0,75	0,71	0,94	1,2	10
KT-D4	CEM I + UK	55,79	2404	68,4	2427	85,01	2427	0,82	0,66	0,8	5,2	18
KT-D5	CEM I + ÖYFC	60,74	2410	84,58	2393	88,55	2424	0,72	0,69	0,96	1,5	20
KT-D6	CEMI+UK+ÖYFC	58,66	2404	67,64	2380	77,24	2412	0,87	0,76	0,88	1,6	18
BA-D1	CEM I	73,31	2474	82,83	2504	109,47	2534	0,89	0,67	0,76	7,5	18
BA-D2	CEM II	71,53	2492	89,74	2482	100,11	2466	0,8	0,71	0,9	4,9	15
BA-D3	CEM III	59,51	2422	86,33	2467	109,35	2422	0,69	0,54	0,79	2,1	10
BA-D4	CEM I + UK	50,05	2401	81,4	2412	98,72	2401	0,61	0,51	0,82	7,1	10
BA-D5	CEM I + ÖYFC	54,76	2409	88,98	2444	92,18	2420	0,62	0,59	0,97	2,2	10
BA-D6	CEMI+UK+ÖYFC	56,95	2424	77,88	2394	101,8	2424	0,73	0,56	0,77	2,4	10

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Basınç dayanımları üzerine agrega cinsinin etkisinin değerlendirilmesinde 28 ve 90. günde bazalt agregaları kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının, kireçtaşı agregaları kullanılarak yapılan beton karışımlarına oranla basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunda bazalt agregalarının tane yoğunluğu değerlerinin kireçtaşına göre yüksek olması ve parçalanma direnci (Los Angeles) değerinin daha az olması, kırılmanın ilk yaşlarda betonun agrega ile çimento ara yüzeyinde, ileri yaşlarda (28. ve 90. günde) agregaların kırılması şeklinde oluşmasının etkili olduğu sonucuna varılmıştır. 7 günlük sonuçlarda genel bir eğilim gözlenmemiştir.
- Basınç dayanımlarında (Kireçtaşı agregaları tasarımlarında 7, 28, 90. günde) CEM I 42,5 R tipi çimentonun etkisinin daha yüksek olduğu, ondan sonra CEM III A 42,5 N tipi çimento ve CEM II / B-M (L-W) 42,5 R tipi çimentonun etkisinin yüksek olduğu görülmüştür. Bunda CEM I 42,5 R çimentonun 28 günlük aktivitesinin yüksek olmasının etkili olduğu düşünülmüştür. Genel olarak basınç dayanımı değerlendirildiğinde bazalt agregaları ile yapılan karışımların 28. günde elde edilen basınç dayanım sonuçlarının, kireçtaşı ile yapılan karışımlardan elde edilen 90 günlük dayanım sonuçlarına ulaştığı görülmektedir.
- Bazalt agregalarda klorür geçirimliliğinin (migrasyon katsayısının tespiti) kireçtaşı agregalarına göre yüksek olduğu görülmüştür. Klorür geçirimliliği deneyi için genel olarak CEM I'den CEM II'ye ve CEM III'e doğru klorür geçirimliliği (migrasyon katsayısı tespiti) değerinde azalmanın olduğu, bu değerlerde kireçtaşında görülen azalmanın bazalt agregaları ile yapılan çalışmaya oranla daha az olduğu gözlenmektedir. Sonuç olarak uçucu kül ikame etmenin (çimento ile yer değişikliği)

- artırdığı, ancak cüruf ikame etmenin uçucu külle göre daha çok etkili olduğu görülmektedir.
- Kireçtaşı agregalı betonlarda en yüksek 28 günlük dayanımın CEM I +ÖYFC'li karışımda, 90. günde ise CEM I çimentolu karışımda elde edilmiştir.
  - Basınçlı su emme deney sonuçlarının değerlendirilmesinde, bazalt ile yapılan karışım tasarımlarının, kireçtaşı ile yapılan beton karışımlarından elde edilen basınçlı su emme deneylerinden daha az olduğu (su işleme derinliği az) görülmüştür.
  - Basınçlı su emme deney sonuçları değerlendirildiğinde CEM I çimento içerisine uçucu kül (UK), öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC), uçucu kül ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu (UK+ÖYFC) ikame edildiğinde bazalt agregalarının kireçtaşı agregalarına göre basınç altında su işleme derinliğinin daha az olduğu görülmüştür. Basınçlı su emme deneyinin kireçtaşı ile yapılan karışımlarda CEM II ve CEM III çimentolu karışımları da aynı değeri alırken CEM I çimentolu karışıma göre su işleme derinliğinin daha az olduğu görülmüştür. Bazalt ile yapılan karışımlarda CEM III'ün su işleme derinliğinin CEM II çimentolu karışıma, CEM II'inde CEM I çimentolu karışıma göre su işleme derinliğinin daha az olduğu görülmüştür.
  - Taze betonda pH ölçümlerinde bazalt agregası kullanılarak yapılan karışımların, kireçtaşı agregaları ile yapılan beton karışımlarına oranla sırasıyla CEM III, CEM I, CEM II çimentolarına doğru azalmanın arttığı gözlenmiştir. Bazalt agregası karışımlarının kireçtaşı agregası karışımlarına göre çimentolu karışımlarda azalmanın bazaltın mineralojisiyle ilgili olduğu gözlenmiştir.
  - Taze beton üzerinde yapılan  $T_{50}$  süresi deney sonuçlarında çimentolu karışımlar için bazalt agregası kullanılarak yapılan karışımların, kireçtaşı agregaları ile yapılan beton karışımlarına oranla sırasıyla CEM I, CEM II, CEM III çimentoları için artma gözlenmiştir. Burada bazaltın mineralojik yapısının etkili olduğu düşünülmektedir. Mineral katkıların ayrı ayrı katıldığında  $T_{50}$  süresinde artma yönünde olduğu, birlikte karışıma girdiklerinde azalma yönünde olması, mineral katkıların farklı elde edilme yöntemleri, inceliklerinin yüksek olması ile açıklanabilir.

- KYB harçlarında ölçülen sıcaklık agregası değişiminden etkilenmiştir. Bunun sebebinin bazaltın içerdiği reaktif puzolanik yapının hidrasyon reaksiyonlarına etki etmesi sebebiyle açıklanabilir (Liu Laibao, ve diğ., 2013). Hidrasyon sıcaklıkları açısından bağlayıcı farklılıkları incelendiğinde CEM I tip çimento ile üretilen KYB'lerde hidrasyon sıcaklıklarının CEM II ve CEM III'e göre daha düşük olduğu görülmüştür. UK ikamesi yapılan çimentolu KYB'lerde ÖYFC ikamesine göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin UK'nin yüzey alanıyla ilgili olduğu ve reaksiyon kapasitesinin ÖYFC'ye göre daha düşük olduğundan kaynaklandığı düşünülmüştür. Hidrasyon sıcaklıkları çalışmamızda beton karışımından sonra 15 dakikadaki ölçüm değerleri üzerinden yorumlanmıştır. Daha uzun süreli yapılacak olan sıcaklık okumaları, hidrasyon sıcaklığı değişimlerinin gözlenmesinde yararlı sonuçlar vereceği düşünülmektedir.
- Beton birim ağırlığı deney sonuçlarında kireçtaşı ve bazalt agregası ile hazırlanan KYB'ler karşılaştırıldığında bazalt agregası ile hazırlanan KYB'lerin daha yüksek birim ağırlığına sahip olduğu görülmüştür. Burada bazalt agregalarının tane yoğunluğunun kireçtaşına göre daha yüksek olmasının etkili olduğu açıktır.
- Taze beton üzerinde yapılan hava içeriği deney sonuçlarının değerlendirilmesinde çimentolu karışımlar için bazalt agregası kullanılarak yapılan betonların, kireçtaşı agregaları ile yapılanlara göre azaldığı gözlenmiştir. Kireçtaşı agregası karışım deney sonuçlarında daha yüksek hava miktarı çıkması kireçtaşı kırma kumdaki inceliğinin yüksek olmasına bağlanabilir.
- Taze beton üzerinde yapılan priz süresi deney sonuçlarında çimentolu karışımlar için bazalt agregası kullanılarak yapılan karışımların, kireçtaşı agregaları ile yapılan beton karışımlarına oranla azalma olduğu gözlenmiştir. Çimentolara UK ikame edilmesi priz başlama süresini azaltma yönünde olurken, priz bitiş süresinin arttığı görülmüştür. ÖYFC için bu durumun azalma yönünde olduğu gözlenmiştir. Burada UK'ün inceliğinin ve çimento ile gösterdiği kimyasal reaksiyonun priz süresini ötelediği anlaşılmaktadır.
- Taze betonda yayılma üzerine agregası cinsinin belirli bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.



- Taze beton yayılma miktarları karşılaştırıldığında puzolan ilaveli karışımların sadece çimentolu karışımlara göre daha yüksek değerler verdiği görülmüştür. Bunda puzolanın çimento ile eşit ağırlıkta yer değiştirmesi durumunda, daha düşük özgül ağırlığa sahip olan puzolanın daha fazla hacime sahip olduğu, bu durumun da ince malzeme hacmini artırarak yayılmayı artırdığı değerlendirilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Alexander, M.G., Milne, T.I., 1995. Influence of Cement Blend and Aggregate Type on Stress- Strain Behavior and Elastic Modulus of Concrete, ACI Materials Journal, Volume 92, May-June.pp 227–235.
- Arslan M., Özbebek H., Açık H., 2013. “*Rüzgâr Enerji Santrali İnşaatında Kullanılan Yüksek Fırın Curufu (YFC) Çimentolu Kendiliğinden Yerleşen Betonun (KYB) Tasarımı Ve Uygulaması*” Adana.
- Atahan, N. H., 2002. “*Düşük Su/Çimento Oranlı Betonlarda Özelliklerin Çimento Hamurun Boşluk Yapısına Duyarlılığı*”, Doktora Tezi, İ.T.Ü.
- Aykan G., Onur Tezel O., Gürol G., Yüceer Z., 2003. “**Kendiliğinden Yerleşen Beton Deney Metodları Ve Uygulama Örnekleri** ” İstanbul
- Baradan B., Yazıcı H., Aydın S., 2012. “**Beton**” DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları No:334.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., 2002. **Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)**, DokuzEylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın No:298.
- Basf Yapı *Kim. ürün kataloğu*, 2013. Master Glenium ACE 450, Teknik Doküman, İstanbul.
- Bye, G.C., 1983. Portland Cement, Pergamon Press, Oxford.
- Colleparadi M., 2001. “A Very Close Precursor of Self-Compacting Concrete (SCC)”, unpublished data.
- Draffin, J.O., 1943. A Brief History of Lime, Cement, Concrete and Reinforced Concrete, Journal of the Western Society of Engineers, Vol. 48, March, pp. 14–47.
- Erdoğan Y.T., 1995. **Betonu Oluşturan Malzemeler Agregalar**, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul.
- Erdoğan, Y.T., 2003. **Beton**, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayını, Ankara.
- Felekoğlu B., Baradan B. 2003. “*Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri*” Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Gesoğlu M., Güneyisi E., Özbay E. 2007. “*Mineral Katkılar Kullanılarak Elde Edilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri*” Gaziantep Üniversitesi Gaziantep, Kilis 7 Aralık Üniversitesi Kilis”

- Giaccio, G., Rocco, C., Violini, D., Zappitelli, J., Zeerbino, R., 1992. *High Strength Concretes Incorporating Different Coarse Aggregates*, ACI Materials Journal, Volume 89, pp.242–247, May-June.
- Girish, S., Ranganath, R.V., Vengala, J., 2010. **Construction and Building Materials**, Vol.24, pp. 2481 – 88.
- Gökalp İ., Örddek A., Özen M., Ekim H., 2008. “**Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları**” İstanbul.
- Gutierrez, P.A., Canovas, M.F., 1996. *High Performance Concrete: Requirements for Constituent Materials and Mix Proportioning*, ACI Materials, Volume 93, pp. 233–141, May-June.
- Gürdal, H., Yüceer, Z., 2004. “*Türkiye’de ve Dünya’da Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları*”, Hazır Beton Kongresi, İstanbul, Bildiriler Kitabı, sf. 266-276
- Jennings, H.M., 1998. **Design Of High Strength Cement Based Materials**, Part2: Microstructure, Materials Science And Technology.
- Kocataşkın, F., 1991. *Betonun Dünü Bugünü Yarını*, 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, Kardeşler Matbaası, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası s.23–42.
- Liu Laibao, Zhang Yunsheng, Zhang Wenhua, Liu Zhiyong, Zhang Lihua, Investigating the influence of basalt as mineral admixture on hydration and microstructure formation mechanism of cement, **Construction and Building Materials**, Volume 48, November 2013, Pages 434–440
- Murdock, L.J. ve dig., 1991. **Concrete Materials and Practice**, 26, London.
- Uysal M., The influence of coarse aggregate type on mechanical properties of fly ash additive self-compacting concrete, **Construction and Building Materials** 37, 2012, 533–540
- Okamura, H., Ouchi, M., 1999. “*Self Compacting Concrete Development, Present and Future*”, proceeding of 1st International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, Sweden.
- Özkul, M. H., 2002. “*Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton*”, THBB Hazır Beton Dergisi, Sayı 52, sf. 64-71.
- Özkul M. H. 2002. “**Kendiliğinden Yerleşen Beton**” İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Özkul M. H., Taşdemir M., Tokyay M., Uyan M. 2004. **Her Yönüyle Beton**, İstanbul.

- Özkahraman, H.T., Işık, E.C., 2005. The Effect of Chemical and Mineralogical Composition of Aggregates on Tensile Adhesion Strength of Tiles, **Construction and Building Materials**, Vol: 9, No:4. pp.251–255.
- Özturan, T., Çeçen, C., 1997. *Effect of Aggregate Type on the Mechanical Properties of Concretes with Different Strengths*, *Cement and Concrete Research*, 27, No: 2, pp. 165–170.
- Periara, C.G., Castro – Gomes, J., Oliveira, L.P., 2009. Influence of Natural Coarse Aggregate Size, Mineralogy and Water Content on the Permeability of Structural Concrete, **Construction and Building Materials**, Vol.23, pp.602-608.
- Popovics, S., 1992. **Concrete Materials, Properties**, Specifications and Testing, Second Edition.
- Postacıoğlu, B., 1986. **Beton, Cilt 1-** Bağlayıcı Maddeler, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- Postacıoğlu, B., 1987. Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, **Beton, Cilt 2**, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- Sağlam, A.R., Özkul, M.H., 2006. “*Kendiliğinden yerleşen betonların reolojik özelliklerine bilişim parametrelerinin etkisi*”, İTÜ Dergisi/d, Cilt:5, Sayı:1b, sf: 239-250.
- Şengül, Ö., 2000. *Agrega Türünün Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tekin, D., 2014 *Farklı İnceliklerdeki Mineral Katkılı Çimentoların Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Bayburt Üniversitesi.
- Topçu İ.B., Bilir T., Baylavlı H., 2008. “*Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri*” Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi C.XXI, S.1.
- TS EN 12350-8, 2011. **Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 8: Kendiliğinden Yerleşen Beton – Çökme Yayılma Deneyi**.
- TS EN 12350-9, 2010, **Taze Beton Deneyleri – Bölüm 9: Kendiliğinden Yerleşen Beton Çökme – V Hunisi Deneyi**.
- TS EN 12350-10, 2010. **Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 10: Kendiliğinden Yerleşen Beton – L Kutusu Deneyi**.
- TS EN 206, 2014. “**Beton – Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk**”
- TS EN 197-1, 2012. **Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri**.

- TS EN 1008, 2003. **Beton** Karma suyu Numune alma, deneyler ve beton endüstrisinde işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları.
- TS 802, 2009. **Beton** Karışım Tasarımı ve Hesap Esasları.
- THBB, 2007. “*Kendiliğinden Yerleşen Beton Kılavuzu*”.
- Tokyay M., Erdoğan K., 2011. *TÇMB Cürüfler ve Cürüflü Çimentolar*, Ankara.
- Ulaş, A., 2009. *Uçucu küllü harçlarda yeni nesil akışkanlaştırıcıların kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi.
- Walraven, J., 2003. “*Structural Aspects of Self Compacting Concrete*”, proceeding of 3rd International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, Iceland.
- Yılmaz, G., Andiç Çakır, Ö., 2013. “*Kendiliğinden Yerleşen Betonda Çimento-Yeni Nesil Akışkanlaştırıcı Katkı Etkileşimi*” İzmir.

## **EKLER**

**Ek 1:** Çağlar Şaşmaz tarafından deneyler esnasında çekilmiş olan fotoğraflar

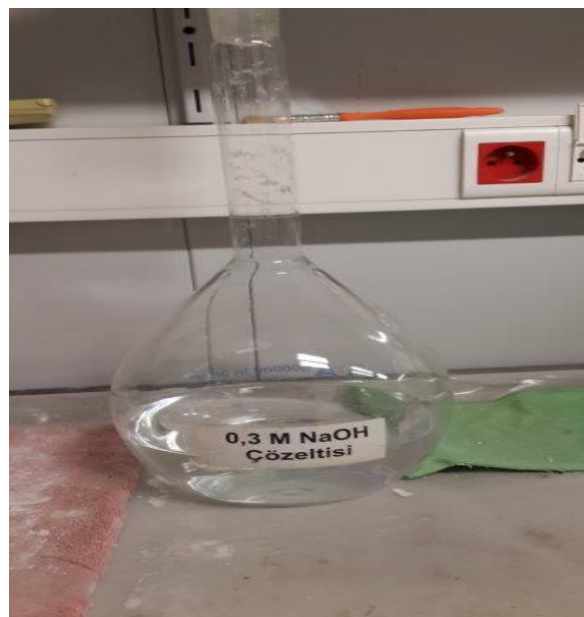
**EK 1****Deney Görüntüleri****Şekil B.1** KT-D5 Basınç Altında Su İşleme Derinliği**Şekil B.2** BA-D4 Basınç Altında Su İşleme Derinliği**Şekil B.3** KT-D5 Klorür Geçirimsizliği Deneyi



Şekil B.4 KT-D6 Klorür Geçirimsizliği Deneyi



Şekil B.5 Klorür Geçirimsizliği Deneyinde Kullanılan Yarma Aparatı



Şekil B.6 Klorür Geçirimsizliği Deneyinde Kullanılan 0,3 M NaOH Çözeltisi





**Şekil B.7** Klorür Geçirirnililiği Deneyinde Numunenin Kelepçe İle Sıkılması



**Şekil B.8** Taze Beton Priz Süresi Deneyinde Betonun 5 mm Elekten Elenmesi



**Şekil B.9** KT-D5 Deneyinde Kullanılan Malzemeler



**Şekil B.10** BA-D1 Numunesinin Basınç Dayanım Deney Sonrası Görünümü



**Şekil B.11** BA-D4 Yayılma Deneyi



**Şekil B.12** BA-D6 Yayılma Deneyi

## ÖZGEÇMİŞ

### ÇAĞLAR ŞAŞMAZ



1974 yılında Amasya’da doğdu. İlk ve Ortaöğrenimini 1990 yılında tamamladı. 1998 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği’nden mezun oldu. 1998 yılında başladığı iş hayatında Çolakoğlu İnşaat firması’nın Sinop Boyabat Dodurga Barajı, Bilecik Likör ve Cin Fabrikası, İstanbul Zeytinburnu Eküri İnşaatı ve Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü şantiyelerinde Saha Mühendisi olarak bir yıl çalıştı. Askerlik görevi sonrasında Kocaeli Gebze’de Kibsaş A.Ş.-Kar Beton firmasında Kalite Güvence Sorumlusu olarak iki yıl çalıştı. Yıldızlar İnşaat San. Tic. Ltd. Şti. firmasında Şantiye Şefi olarak bir yıl görev yaptı. Daha sonra Mtg – Kz. San. Tic. Ltd. Şti. Aktau-Kazakistan’da Kalite Güvence ve Kontrol Mühendisi olarak 6 ay Konut ve Otel şantiyesinde çalıştı. 2004 yılında girdiği yapı malzemelerinde (Hazır beton, agregalar, yapı kimyasalları, mineral katkıları (cüruf, uçucu kül) bitümlü karışımlar, lifler vb.) ürün belgelendirmesinde hizmet veren Türkiye Hazır Beton Birliği Kalite Güvence Sistemi İktisadi İşletmesi’nde Belgelendirme Birimi Sorumlusu görevinde halen devam etmektedir.

Tezden bir bölüm 28-30 Mayıs 2015 tarihleri arasında yapılacak olan II. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu’nda sunulmak ve kongre kitapçığında basılmak üzere kabul edilmiştir.