

**YÜKSEK DAYANIMLI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN  
FİZİKSEL, MEKANİK VE DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİNE  
AGREGA TİPİNİN ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Ferdi ŞENOL

Danışman

Dr. Öğr.Üyesi Ahmet Raif BOĞA

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Eylül 2019

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YÜKSEK DAYANIMLI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN  
BETONLARIN FİZİKSEL, MEKANİK VE DAYANIKLILIK  
ÖZELLİKLERİNE AGREGA TİPİNİN ETKİSİ**

**Ahmet Ferdi ŞENOL**

**Danışman**  
**Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Eylül 2019**

## TEZ ONAY SAYFASI

Ahmet Ferdi ŞENOL tarafından hazırlanan “Yüksek Dayanımlı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Fiziksel, Mekanik ve Dayanıklılık Özelliklerine Agregası Tipinin Etkisi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 12/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda** **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA

**Başkan** : Doç. Dr. Cenk KARAKURT  
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KÜRKLÜ  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

İmza



Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
...../...../..... tarih ve  
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....  
Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım  
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

12/09/2019

  
Ahmet Ferdi ŞENOL

**ÖZET**  
Yüksek Lisans Tezi

**YÜKSEK DAYANIMLI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN FİZİKSEL,  
MEKANİK VE DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİNE AGREGA TİPİNİN ETKİSİ**

Ahmet Ferdi ŞENOL  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA

Bu tez çalışmasında, kalker esaslı kırmataş agregasının yerine belli oranlarda bazalt ve mermer kırığı agregası kullanılarak yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton (KYB) serileri üretilmiş ve betonların fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerine agrega tipinin etkisi araştırılmıştır. Ayrıca tez çalışmasında, yine yüksek dayanım ve kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerini sağlayabilmek için, silis dumanı mineral katkısı kullanılarak, bu katkının yüksek dayanımlı KYB özelliklerine etkileri değerlendirilmiştir. Yüksek dayanımlı KYB numunelerinin üretiminde, silis dumanı ve çimento sabit oranlarda kullanılmıştır. Mermer kırığı ve bazalt agregaları, kalker esaslı agregaların yerine; hacimce %25, 50, 75 ve 100 oranlarında kullanılarak, 100x200 mm boyutlarında silindir ve 150x150x150 mm boyutlarında küp numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelere 28 ve 180 gün boyunca 20±2 °C sıcaklığa sahip kirece doymuş su havuzlarında standart kür uygulanmıştır. Kür süresi sonunda numuneler üzerinde; fiziksel, mekanik ve dayanıklılık deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak bazalt agregası ve atık bir malzeme olan mermer kırığı agregası ile yüksek dayanımlı betonların üretilebileceği sonucuna varılmıştır.

**2019, xi + 73 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Kendiliğinden yerleşen beton, Yüksek dayanımlı beton, Mermer kırığı agregası, Bazalt agregası, Silis dumanı.

**ABSTRACT**  
M.Sc. Thesis

**THE INFLUENCE OF AGGREGATE TYPE ON THE PHYSICAL, MECHANICAL  
AND DURABILITY PROPERTIES OF HIGH STRENGTH SELF COMPACTING  
CONCRETE**

Ahmet Ferdi ŞENOL

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

**Supervisor:** Asst. Prof. Ahmet Raif BOĞA

In this thesis study, high-strength, self-compacting concrete (SCC) series were produced by using basalt and marble crushed aggregate instead of limestone based crushed aggregate and the effect of aggregate type on physical, mechanical and durability properties of concrete were investigated. In addition, in order to provide high strength and self-compacting properties, by using silica fume mineral admixture, the effects of the additive on high-strength SCC properties was assessed. Silica fume and cement were used at constant rates in the production of high strength SCC specimens. Crushed marble and basalt aggregates are replaced by limestone-based aggregates; Cube specimens with dimensions of 100x200 mm and dimensions of 150x150x150 mm were produced by using 25, 50, 75 and 100% by volume. The specimens were standard cured in lime saturated cure pool with a temperature of  $20 \pm 2$  °C for 28 and 180 days. At the end of the cure period; Physical, mechanical and strength tests were performed on the specimens. It is concluded that high strength concretes can be produced using basalt aggregate and waste crushed marble aggregate.

**2019, xi + 73 pages**

**Keywords:** Self compacting concrete, High strength concrete, Crushed marble aggregate, Basalt aggregate, Silica fume.

## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarında dolayı, tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOğA ve her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Ahmet Ferdi ŞENOL  
Afyonkarahisar, 2019

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ .....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1 Yüksek Dayanımlı Beton.....	4
2.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonlar.....	5
2.2.1 Tanım ve Özellikleri.....	5
2.2.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanım Alanları .....	6
2.2.3 KYB Tasarımı .....	7
2.2.4 KYB Taze Beton Yetenekleri.....	9
2.2.4.1 Doldurma Yeteneği.....	9
2.2.4.2 Ayrışmaya Karşı Direnç .....	10
2.2.4.3 Geçiş Yeteneği.....	11
2.2.5 KYB Bileşenleri.....	11
2.2.5.1 Çimento.....	11
2.2.5.2 Mineral dolgular .....	12
2.2.5.3 Uçucu Kül .....	13
2.2.5.4 Silis Dumanı .....	13
2.2.5.5 Granüle Yüksek Fırın Cürufu .....	14
2.2.5.6 Kum .....	14
2.2.5.7 Kaba Agregası .....	14
2.2.5.8 Bazalt Agregası.....	14
2.2.5.9 Mermer kırığı agregası.....	15
2.2.5.10 Kimyasal Katkılar .....	16
2.2.5.11 Süper Akışkanlaştırıcı ve Su Azaltıcı Katkılar .....	17



2.2.5.12 Viskozite Değiştirici Katkılar .....	17
2.3. KYB'leri Değerlendirmek İçin Yapılacak Deney Yöntemleri .....	18
2.3.1 Çökme Yayılma (Slump-Flow) Deneyi (TS EN 12350-8).....	19
2.3.2 V Hunisi Deneyi (TS EN 12350-9) .....	20
2.3.3 L Kutusu Deneyi (TS EN 12350-10).....	22
2.3.4 U Kutusu Deneyi .....	23
2.4 KYB İle İlgili Daha Önce Yapılan alışmalar .....	24
3. DENEYSEL ALIşMA .....	30
3.1 Kullanılan Malzemeler .....	30
3.1.1 Çimento .....	30
3.1.2 Silis Dumanı .....	30
3.1.3 Mermer Kırığı Agregası .....	34
3.1.4 Bazalt Agregası.....	35
3.1.5 Kum ve Kırmataş Agregaları.....	35
3.1.6 Hiper Akışkanlaştırıcı.....	38
3.2 Beton Karışım Oranları.....	39
3.3 Üretilen Numune Tipleri, Kür Koşulu ve Süreleri.....	40
3.4 Yapılan Deneyler .....	40
3.4.1 Yayılma Deneyi ve $t_{500}$ Süresi Ölçümü .....	40
3.4.2 V Hunisi Akış Süresi Ölçümü .....	41
3.4.3 L Kutusu Deneyi.....	41
3.4.4 Birim Ağırlık ve Ultrases Geçiş Süresi Deneyi.....	42
3.4.5 Basınç Dayanımı Deneyi .....	42
3.4.6 Yarmada-ekme Dayanımı Deneyi.....	42
3.4.7 Hızlı Klorür Geirimliliği Deneyi .....	43
3.4.8 Elektriksel Özdirenç Deneyi.....	44
3.4.9 Görünen Porozite, Su Emme ve Kılcal Su Emme Deneyi .....	45
4. DENEY SONUÇLARI VE DEğERLENDİRİLMESİ.....	47
4.1 Yayılma Deneyi ve $t_{500}$ Süresi Ölçümü Sonuçları .....	47
4.2 V Hunisi Akış Süresi Ölçümü Sonuçları .....	49
4.3 L Kutusu Deneyi Sonuçları.....	50
4.4 Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları.....	51
4.5 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları .....	52
4.6 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları .....	53

4.7 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları .....	54
4.8 Hızlı Klorür Geçirimsiliği Deneyi Sonuçları .....	55
4.9 Elektriksel Özdirenç Deneyi Sonuçları.....	56
4.10 Görünen Porozite Deneyi Sonuçları .....	59
4.11 Su Emme Deneyi Sonuçları .....	61
4.12 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları .....	62
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	66
6. KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ.....	73

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

%	Yüzde
$\mu\text{m}$	Mikrometre
$\text{Al}_2\text{O}_3$	Alüminyum Oksit
C	Karbon
CaO	Kalsiyum Oksit
Cl <sup>-</sup>	Klor
cm	Santimetre
$\text{cm}^2$	Santimetrekaire
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	Krom Oksit
CSH	Kalsiyum Silikat Hidrat
F	Flor
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	Demir Oksit
$\text{K}_2\text{O}$	Potasyum Oksit
kg	Kilogram
km	Kilometre
$\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$	Kilo ohm santim
MgO	Magnezyum Oksit
mm	Milimetre
MnO	Mangan Oksit
MPa	Megapascal
$\text{Na}_2\text{O}$	Sodyum Oksit
pH	Power of Hydrogen (Hidrojenin Gücü)
S	Kükürt
SiFeCr	Silikoferrokrom
$\text{SiO}_2$	Silisyum Dioksit
sn	Saniye
$\text{SO}_3$	Sülfat
ZnO	Çinko Oksit

### Kısaltmalar

---

AMT	Atık mermer tozu
EFNARC	European Federation of National Associations Representing for Concrete
EN	European Norm
HA	Hiperakışkanlaştırıcı
KYB	Kendiliğinden yerleşen beton
SD	Silis dumanı
TS	Türk Standardı
TSE	Türk Standardları Enstitüsü
UK	Uçucu kül
XRD	X Işınları Difraktogramı
XRF	X Işınları Floresans
YFC	Yüksek fırın cürufu

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Slump hunisi ve yayılma tablası. ....	20
Şekil 2.2 V hunisi deney aparatı.....	21
Şekil 2.3 L kutusu genel düzeni. ....	22
Şekil 2.4 L kutusu üstten görünüm.....	23
Şekil 2.5 U kutusu deney aparatı.....	24
Şekil 3.1 Silis dumanının XRD analizi sonucu. ....	33
Şekil 3.2 Mermer kırığı agregalarına ait granülometri eğrisi. ....	34
Şekil 3.3 Bazalt agregalarına ait granülometri eğrisi. ....	36
Şekil 3.4 Kullanılan tüm agregaların granülometri eğrileri. ....	38
Şekil 4.1 Yayılma çaplarının KYB serilerine göre değişimi. ....	48
Şekil 4.2 $t_{500}$ süresi sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi. ....	49
Şekil 4.3 V hunisi akış süresi sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi. ....	50
Şekil 4.4 L kutusu deney sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi. ....	51
Şekil 4.5 Birim ağırlık sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi. ....	52
Şekil 4.6 Ultrases geçiş hızı sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi. ....	53
Şekil 4.7 Basınç dayanımı sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi. ....	54
Şekil 4.8 Yarmada-çekme dayanımı sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi. ....	55
Şekil 4.9 Hızlı klorür geçirimsizliği sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi. ....	56
Şekil 4.10 Elektriksel özdirenç sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi.....	57
Şekil 4.11 Mermer agregası ile üretilen serilerde elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirimsizliği sonuçları arasındaki ilişki.....	58
Şekil 4.12 Bazalt agregası ile üretilen serilerde elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirimsizliği sonuçları arasındaki ilişki.....	58
Şekil 4.13 Tüm serilerden elde edilen elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirimsizliği sonuçları arasındaki ilişki. ....	59
Şekil 4.14 Görünen porozite değerlerinin KYB serilerine göre değişimi. ....	60
Şekil 4.15 Tüm serilerden elde edilen görünen porozite ile ultrases geçiş hızı sonuçları arasındaki ilişki. ....	61
Şekil 4.16 Su emme deneyi sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi. ....	62
Şekil 4.17 Tüm serilerden elde edilen su emme ile ultrases geçiş hızı sonuçları arasındaki ilişki. ....	62
Şekil 4.18 Kılcallık katsayısı sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi.....	63
Şekil 4.19 Mermer agregası ile üretilen serilerde görünen porozite ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki. ....	64

<b>Şekil 4.20</b> Bazalt agregası ile üretilen serilerde görünen porozite ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki. ....	64
<b>Şekil 4.21</b> Tüm serilerden elde edilen görünen porozite ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki. ....	65

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 KYB'lerin karakteristik özellikleri ve yapılacak test yöntemleri. ....	7
Çizelge 2.2 KYB karışımının tipik aralığı.....	8
Çizelge 2.3 Mineral katkıların suyla reaksiyon kapasitelerine göre sınıflandırılması ...	12
Çizelge 2.4 Çökme Yayılma Sınıfları . ....	19
Çizelge 2.5 $t_{500}$ viskozite sınıfları.....	19
Çizelge 2.6 $t_v$ viskozite sınıfları .....	21
Çizelge 2.7 L kutusu geçiş yeterlilik oranı.....	23
Çizelge 3.1 Çimentonun; kimyasal, fiziksel ve mekanik özellik deney sonuçları. ....	31
Çizelge 3.2 Silis dumanlarının kimyasal bileşimi (Yeğinobalı 2009). ....	32
Çizelge 3.3 SD'nin XRF analizi ve fiziksel özellik deney sonuçları. ....	33
Çizelge 3.4 Mermer kırığı agregasının fiziksel özellikleri.....	34
Çizelge 3.5 Bazalt agregasının fiziksel özellikleri. ....	35
Çizelge 3.6 Agregaların XRF analizi sonuçları. ....	36
Çizelge 3.7 Kum ve kırmataş I agregasının fiziksel özellikleri. ....	37
Çizelge 3.8 Agregaların elek analizi sonuçları.....	37
Çizelge 3.9 Hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin özellikleri.....	38
Çizelge 3.10 Kendiliğinden yerleşen beton karışım oranları, $kg/ m^3$ .....	39
Çizelge 3.11 ASTM C 1202 sınır değerleri.....	44
Çizelge 3.12 Elektriksel özdirenç ile korozyon olasılığı arasındaki ilişki. ....	45
Çizelge 4.1 Çökme yayılma, V hunisi ve L kutusu için TS EN 206 (2013) sınır değerleri.....	48

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 2.1</b> Mermer atıklarının görünümü.....	15
<b>Resim 3.1</b> Kalıplarında bekletilen ve kür yapılan numuneler.....	40
<b>Resim 3.2</b> Yayılma çaplarının ölçümü.....	41
<b>Resim 3.3</b> V hunisi ve L kutusu deneylerinin yapılışı.....	42
<b>Resim 3.4</b> Vakum işlemi ve hızlı klorür geçirimsizliği deney düzeneği.....	43
<b>Resim 3.5</b> Elektriksel özdirenç ölçümü.....	44
<b>Resim 3.6</b> Arşimet terazisinin görünümü.....	45
<b>Resim 4.1</b> Bazalt agregalı KYB numunelerinin kesit görüntüleri.....	47
<b>Resim 4.2</b> Mermer kırığı agregalı KYB numunelerinin kesit görüntüleri.....	47

## 1. GİRİŞ

Beton; çimento, agrega (kum, çakıl ve kırmataş vb.), su ve istenilen özelliğine göre mineral dolgu ve kimyasal katkılardan belirli oranlarda karıştırılarak elde edilen kompozit bir malzemedir. Dünyada en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden biri olan betonun, gelişen teknoloji ile birlikte, mineral ve kimyasal katkıların kullanımı sayesinde, sadece dayanımının ve ömrünün değil, aynı zamanda kullanım alanlarının ve çeşitlerinin de arttığı bilinmektedir.

Son yıllarda kullanım alanı artmaya devam eden Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), kendi ağırlığı sayesinde, vibrasyon ve yerleştirme gibi dış etkilere maruz kalmayan, döküldüğü kalıba boşluk yaratmadan kolaylıkla yerleştirilebilen, yenilikçi bir beton olarak tanımlanmaktadır (EFNARC 2005).

Dayanıklı betonlar üretmek maksadıyla, 1986 yılında Prof. Dr. Hajime Okamura tarafından ilk tasarımı yapılan KYB'ler, 1988 yılında geliştirme çalışmaları ile devam etmiştir. O zamandan günümüze kadar konu ile ilgili birçok araştırmalar yapılmış ve bu tür bir beton, ilk olarak Japonya'daki pratik yapılarda ve çoğunlukla büyük inşaat firmaları tarafından kullanılmıştır. KYB'yi standart bir beton haline getirmek amacıyla, ölçülebilir bir karışım tasarımı ve deney yöntemleri geliştirilmiştir (Okamura and Ouchi 2003).

Günümüzde normal betona göre KYB tercih edilmesinin sebepleri olarak; betonun vibrasyon kullanılmadan kendiliğinden kalıba yerleştirilebilmesi, işçilik sayısının ve işçilik maliyetinin azalması, zamandan tasarruf sağlanması, vibrasyonun yarattığı ses kirliliğinin ve titreşim etkisinin ortadan kalkması ile çevre ve insan sağlığına verilen zararın azaltılması, donatısı sık olan yapı elemanlarına homojen olarak beton dökülebilmesi, kolayca akarak şekil verilebilmesi sayesinde estetik yüzeylerin elde edilebilmesi, akıcılığının yüksek olmasından dolayı kolaylıkla pompalanabilmesi ve beton kalitesinde (dayanımında) artış sağlanabilmesi olarak değerlendirilmektedir (Benzabih 2018).



KYB'lerin avantajlarının fazla olmasına rağmen, günümüzde üretilen KYB'lerin birim maliyetlerinin normal betonlara göre daha yüksek olması ve kalıplarda hidrostatik basınç etkisi oluşturması, dezavantajları olarak değerlendirilmektedir. Teknoloji ve insan popülasyonunun artması ile birlikte, yüksek dayanımlı ve özel tasarımı yapılar ihtiyacı duyulmaktadır. Bu ihtiyaçların KYB'ler tarafından karşılanabilmesi için üretilen betonların, daha dayanıklı, ekonomik ve işlenebilir hale getirme çalışmaları devam etmektedir.

EFNARC (2005)'da KYB'nin özellikleri ve kullanımını tanımlamak için kullanılacak teknik terimlerin çoğu tarif edilmektedir. Ayrıca, yapılacak testler ve KYB üretiminde kullanılan malzemelerin standartları hakkında bilgiler bulunmaktadır. TS 706 EN 12620+A1 (2009)'de belirtilen kaba agregalar, KYB üretimi için uygundur. Donatı aralığı, maksimum agrega tane boyutunun belirlenmesinde ana faktör olup, parça büyüklüğünün dağılımı ve kaba agrega şekli, KYB'nin akışkanlığını, geçiş özelliğini ve kıvamını doğrudan etkilemektedir.

KYB üretiminde sınırlı kaba agrega kullanımı ve süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı, taze betonun yüksek akıcı olmasını sağlarken, karışımda düşük su/toz oranı, sınırlı iri agrega miktarı, yüksek oranda ince malzeme ve viskozite artırıcı katkı kullanımı, taze betona yüksek ayrışma direnci sağlamaktadır (Özkul 2014). Bununla birlikte, KYB'nin düşük su/çimento oranına sahip olarak, yüksek dayanımlar oluşturması, ona Yüksek Dayanımlı Beton özelliği kazandırmaktadır. KYB endüstrisi tarafından, karışımlarda yeni malzemeler kullanmak, bu malzemelerin miktarlarını belirlemek ve betonun üretim maliyetini düşürerek, uygulanabilir KYB'ler üretmek, hedeflenmektedir.

Afyonkarahisar bölgesi mermer işletiminde Türkiye'de önemli bir konumda yer almaktadır. Bölgede üretilen mermer ve atıklarının beton üretiminde kullanılması, hem çevre kirliliğini önlemeye, hem de milli ekonomiye katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir. Bu araştırmada, kalker esaslı agrega yerine belli oranlarda bazalt ve mermer kırığı agregası kullanılarak yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton üretilmesi ve üretilen betonların fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerine agrega tipinin etkisi araştırılmıştır.

Yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton numunelerinin üretiminde çimento ve silis dumanı sabit oranlarda kullanılmıştır. Mermer kırığı ve bazalt agregaları, kalker esaslı agregaların yerine; hacimce %25, %50, %75 ve %100 oranlarında kullanılarak, 100x200 mm boyutlarında silindir ve 150x150x150 mm boyutlarında küp numuneler üretilmiştir. Üretilen beton numuneleri 24 saat boyunca laboratuvar ortamındaki kalıplarda bekletilmiş ve sonrasında kalıplardan çıkartılmıştır. Üretilen numunelere 28 ve 180 gün boyunca  $20\pm 2$  °C sıcaklığa sahip kirece doymun su havuzlarında standart kür uygulanmıştır. Kür süresi sonunda numuneler üzerinde; fiziksel, mekanik ve dayanıklılık deneyleri yapılmıştır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Yüksek Dayanımlı Beton

Yüksek Dayanımlı Betonlar, basınç dayanımı C50/60'dan daha yüksek olan betonlar olarak bilinmektedir (Özkul vd. 1999). Beton karışım oranlarında yapılan değişiklikler ve çeşitli katkıların kullanımı sonucunda "Yüksek Dayanımlı Betonlar" elde edilebilmektedir. Agregat çeşitleri içerisinde en uygun olanların seçilmesi, karışımın su/çimento oranının düşürülmesi ve çimento harcının agregaları sararak, aralarındaki boşluk hacminin minimum oranlara düşürülmesi ile beton dayanımları arttırılmaktadır. Yüksek dayanımlı betonların oluşturulması amacıyla, silis dumanı gibi ince mineral katkıların kullanılması sonucunda, oluşturulan çimento hamuru ile agregalar arasındaki boşluk miktarı azaltılır ve bunun sonucunda betonun dayanıklılığı ve kalıcılığı arttırılır. Betonun içindeki su miktarının azaltılması ve daha küçük parçacıklı malzemelerin kullanılmasıyla oluşturulan beton karışımının işlenebilir olabilmesi için karışımda süperakışkanlaştırıcılar vb. kimyasal katkı malzemelerinin kullanılması gerekmektedir (Mertol 2010).

Genellikle, yüksek katlı yapılarda, uzun açıklı köprülerde ve güçlendirme projelerinde yüksek dayanımlı betonlar kullanılarak, yapı elemanlarında ekonomik ve uzun ömürlü beton performansı hedeflenmektedir. Yüksek Dayanımlı Betonların normal betonlara göre en önemli özellikleri; üretiminde su/bağlayıcı madde oranının düşürülmesi, betondaki boşluk hacminin tüm hacme oranının düşük olması (porozite oranı) ve meydana gelen kapiler boşluk yapılarının birbirinden uzak olmasıdır (Mertol 2010).

Yılmaz ve Mertol (2010) tarafından; Türkiye'deki yapılarda yüksek dayanımlı betonun kullanımı, detaylı bir literatür taraması ile incelenmiş, Yüksek Dayanımlı Betonun inşaat sektöründe yaygın bir biçimde kullanılmasının önündeki engelleri araştırmak amacıyla, sektör firmalarına anket çalışması yapılarak, ülkemizde yaygınlaştırılması için takip edilmesi gereken, bir yol haritası oluşturulmaya çalışılmıştır.

## 2.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonlar

### 2.2.1 Tanım ve Özellikleri

KYB; vibrasyon ve yerleştirme gibi dış etkilere maruz kalmadan, istenilen kalıplara homojen olarak kolaylıkla akabilen ve yerleştirilebilen beton olarak tanımlanmaktadır (Okamura and Ouchi 2003). Prof. Dr. Hajime Okamura, kendiliğinden yayılabilen beton üretmek amacıyla, 1986 yılında Tokyo Üniversitesi'nde araştırmalara başlamış ve ilk KYB tasarımını oluşturmuştur (Okamura 1999).

Okamura ve Ozawa kendiliğinden yerleşmeyi başarabilmek amacıyla beton üretiminde birkaç metot üzerinde çalışmıştır. Bu metotların başlıcaları; betonda sınırlandırılmış agrega içeriği, düşük su/çimento oranı ve süper akışkanlaştırıcı kullanımındır (Okamura and Ouchi 2003).

KYB'ler yüksek bir akıcılığa sahip olmalı ve akıcılık sağlanırken, ayrışma ve terleme oluşturmamalıdır. Yüksek akıcılığı sağlamak için süper akışkanlaştırıcılar gibi kimyasal katkıların kullanılması sonucunda, betonun homojenliği bozulmamalıdır. Bu etkileri sağlamak için, ince malzeme miktarı ve viskozite arttırıcı maddeler kullanılmaktadır (Özkul 2014).

Kendiliğinden Yerleşen Betonlar üretilirken; hazırlanan taze betonun doldurma, geçiş yeteneği, akıcılık, viskozite ve segregasyon direnci özelliklerini değerlendirmek için çok çeşitli deneyler yapılmaktadır. Yapılan taze beton deneyleri sonucunda, Kendiliğinden Yerleşen Betonlar; iyi bir doldurma yeteneğine, ayrışmaya karşı yüksek bir dirence ve uygun geçiş yeteneğine (sıkışık donatılar arasında) sahip olmalıdır (Gürdal ve Yüceer 2004).

Kendiliğinden yerleşen betonların üretimi ve kullanımı sonrasında, bu zamana kadar tespit edilen olumlu özellikleri değerlendirildiğinde;

1. KYB'nin vibrasyon kullanılmadan kendiliğinden kalıba yerleştirilebilmesi,
2. Kullanım alanındaki işçilik sayısının ve inşaat maliyetinin azalması,

3. Beton dökümünde zamandan tasarruf sağlanması,
4. Vibrasyonun yarattığı ses kirliliğinin ve titreşim etkisinin ortadan kalkması ile çevre ve insan sağlığına verilen zararın azaltılması,
5. Donatısı sık olan yapı elemanlarına homojen olarak beton dökülebilmesi,
6. Kolayca akarak şekil verilebilmesi sayesinde, farklı şekillerde ve estetik tasarımlarda üretilen kalıplara homojen olarak beton dökülebilmesi,
7. Akıcılığının yüksek olması sayesinde kolaylıkla istenilen kalıp alanlarına pompalanabilmesi,
8. Betonun yerleştirmesindeki işçilik hatalarının minimum seviyede oluşması,
9. Düzgün yüzeyli betonlar üretilmesi (sıva ihtiyacını azaltması),
10. Vibratör kullanılmaması ile birlikte, beton kalıplarının ekonomik ömrünün artması ve
11. Beton kalitesinde (dayanımında) artış sağlanması olarak sayılabilmektedir (Benzabih 2018).

### **2.2.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanım Alanları**

Kendiliğinden Yerleşen Betonlar özel tip beton olarak değerlendirilmekte ve genellikle; vibrasyon kullanımının zor olduğu sık donatılı betonarme kalıplarda (kolon-kiriş birleşim yerleri ve tünel inşaatları vb.), beton ile donatı arasındaki boşluklu yapıyı en aza indirmesi istenen yüksek dayanımlı homojen beton üretimlerinde, güçlendirme projeleri uygulanan betonarme yapılarda, estetik tasarımlı beton üretimlerinde, prefabrik bina yapımında, perde tipi beton yapılarda ve yüksek dayanım istenen düz saha betonlarında kullanılmaktadır (Gürdal ve Yüceer 2004).

Günümüzde KYB kullanımı normal beton kadar yaygın değildir. Bunun en önemli gerekçesi olarak KYB içerisinde kullanılan kimyasal katkıların beton maliyetini yükseltmesi gösterilebilir. Gelecekte teknolojinin artması ve inşaat sektörünün gelişmesi ile KYB üretimlerindeki maliyetlerin azaltılarak ekonomik seviyeye geleceği değerlendirilmektedir. Bu yönde yapılan çalışmalar devam etmektedir.

### 2.2.3 KYB Tasarımı

KYB'nin tasarımı geleneksel betonlara göre farklıdır. Tasarımında kullanılan yöntemler için bazı standart kriterler bulunmaktadır. Bu çalışmada, Avrupa'da ve Dünya'da kabul gören EFNARC (2005)'ın belirlediği kriterler kabul edilmiştir. KYB yapısının tasarımı için standart bir yöntem bulunmamakla birlikte, birçok akademik kurum, hazır beton birlikleri ve firmalar tarafından, kendi üretim yöntemleri geliştirilmiştir. Denemeler sonucunda yapılan KYB numunelerinin taze ve sertleşmiş beton deneyleri, standart kabul edilen deney yöntemleri ile yapılarak test edilmelidir (EFNARC 2005).

KYB betonlarının kendiliğinden yerleşme özelliğine sahip olması, doldurma yeteneğinin, ayrışmaya karşı direnç seviyesinin ve geçiş yeteneğinin yüksek olması, basınç dayanımlarının da yüksek olacağı anlamına gelmemektedir. KYB'ler içeriğindeki mineral ve kimyasal katkıların oranlarına göre, düşük ve yüksek basınç dayanımlarına ulaşabilmektedir. KYB tasarımlarında genellikle yüksek oranda ince taneli malzemeler kullanılarak su/bağlayıcı oranı düşürüldüğünden, homojen ve akıcı üretildiğinden basınç dayanımları da yüksek seviyelerde oluşmaktadır.

EFNARC (2005) KYB kriterlerine göre; Kendiliğinden yerleşen betonun taze halde doldurma kabiliyeti ve kararlılığı, dört temel özellik ile tanımlanabilir. Her özellik bir veya daha fazla test yöntemi ile ele alınabilir (Çizelge 2.1).

**Çizelge 2.1** KYB'lerin karakteristik özellikleri ve yapılacak test yöntemleri.

<b>Karakteristik Özelliği</b>	<b>Yapılacak Test Yöntemi</b>
Akışkanlık	Slump-Çökme Yayılma Deneyi
Viskozite ve Akıcılığı	t <sub>500</sub> Slump yayılma veya V-hunisi deneyi
Geçiş yeteneği (dar kesitlerden)	L kutusu deneyi
Ayrışma (segregasyon) direnci	Ayrışmaya karşı direnç (elek) deneyi

Standart tipteki beton tasarımlarından farklı olarak, KYB'lerde kullanılacak malzemelerin uygun oran ve standartlarda kullanılmasına yönelik kriter ve deney çeşitleri geliştirilmiştir. Türkiye'de üretilen KYB'ler için yapılan deneylerde, genellikle

EFNARC tarafından yayımlanan standartlar kabul edilmektedir. EFNARC; Avrupa'da kabul görmüş, uzman yapı kimyasalcıları ve beton sistem üreticileri adına oluşturulan bir çalışma grubudur. EFNARC, Avrupa'da üretilen zemin kaplamaları, beton korumaları, beton onarım sistemleri, beton çeşitleri ve KYB alanlarında çalışmalar yapmaktadır (Tohumcu ve Bingöl 2013).

EFNARC (2005) tarafından, Kendiliğinden Yerleşen Betonların bileşiminde kullanılan malzemeler için kütlece ve hacimce tipik aralıklar belirlenmiştir (Çizelge 2.2). Bu miktarlar kısıtlayıcı olmayıp, yapılacak denemeler ile geliştirilmektedir.

**Çizelge 2.2** KYB karışımının tipik aralığı.

<b>Bileşen</b>	<b>Kütlece Tipik Aralık (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Hacimce Tipik Aralık (Litre/m<sup>3</sup>)</b>
Toz	380-600	
Hamur		300-380
Su	150-210	150-210
İri Agrega	750-1000	270-360
İnce Agrega (kum)	Bu miktar diğer bileşenlerin hacmini dengeler, tipik olarak toplam agrega ağırlığının %48-55'idir.	
Hacimce su/toz oranı		0.85-1.10

KYB'lerin üretilmesinden itibaren, bugüne kadar yapılan çalışmalar neticesinde, KYB karışım oranlarını geleneksel beton ile karşılaştırarak incelediğimizde;

1. KYB karışımlarında kaba agreganın miktarının daha az,
2. Toz hamuru muhtevasının daha çok,
3. Su/toz oranının daha düşük,
4. Süper akışkanlaştırıcı miktarının daha fazla ve
5. Gerekliğinde viskozite ayarlayan katkı miktarının bulunduğu görülmektedir.

Taze durumdaki KYB karışımlarında, istenen standart özelliklere ulaşmak için; taze betonun akışkanlığının, viskozitesinin, çimentosunun ve mineral katkılarının özenle seçilmesinin, süperakışkanlaştırıcı ve viskozite değiştirici (isteğe bağlı olarak) katkı

ilave ederek su/çimento malzeme oranının ayarlanması önem taşımaktadır. KYB'nin bu bileşenlerinin doğru bir şekilde seçimi; oluşturulan betonun iyi bir doldurma yeteneğine, geçiş yeteneğine ve ayrışmaya karşı direnç elde etme özelliğine ulaştıracaktır (Kılınç 2012).

Karışımındaki iri/ince agrega oranı, bireysel kaba agrega parçacıklarının tamamının bir harç tabakası ile çevrelenmesi için azaltılmalıdır. Bu, betonun dar açıklıklar veya donatı arasındaki boşluklardan geçtiğinde topaklanmasını ve köprülenmesini azaltarak KYB'nin geçme özelliğini artırır (EFNARC 2005).

## **2.2.4 KYB Taze Beton Yetenekleri**

KYB'nin kendiliğinden yerleşme yeteneği, üç kriter ile ifade edilebilir (Kılınç 2012).

Bunlar;

1. Doldurma yeteneği,
2. Ayrışmaya karşı direnç,
3. Geçiş yeteneğidir.

### **2.2.4.1 Doldurma Yeteneği**

KYB betonunun, sadece ağırlığının etkisi ile kalıptaki bütün boşluklara akabilme özelliği, doldurma yeteneği olarak adlandırılır. Bu yetenek, KYB'ye kendiliğinden yerleşme özelliği kazandırır. KYB'lerdeki doldurma yeteneği çökme-yayıma deney yöntemi ile ölçülebilir (EFNARC 2005).

Doldurma yeteneği, taze betonun akma uzaklığını ve hızını ifade etmektedir. Yayılma deneyi yapılarak, betonun boşaltıldığı merkezden yayılarak oluşturduğu yayılma çapı ve bu çapın oluşması için geçen süre ölçülerek, doldurma yeteneği değerlendirilmektedir. Betonun iyi bir doldurma yeteneğine sahip olması için homojen olarak yayılma kapasitesi ile yayılma hızı arasında iyi bir denge bulunmalıdır. Bu maksatla beton içindeki her türlü bağlayıcılar arasındaki sürtünmenin azaltılması uygun olacaktır. Betonun yüksek akışkanlık seviyesi ile birlikte, ayrışmaya karşı direncinin sağlanması



ve donatılar içinde homojen olarak hareket etmesi, doldurma yeteneğinin arttırılması açısından önemlidir. İstenilen doldurma yeteneğine ulaşmak için çimento hamurunun deformasyon yeteneğinin artırılması ve tanecikler arasındaki sürtünmelerin azaltılması gerekmektedir (Okamura and Ouchi 1998). Bunun için;

1. Süperakışkanlaştırıcı katkıların kullanılması,
2. Dengelenmiş su/çimento oranının sağlanması,
3. Düşük iri agrega hacminin (yüksek çimento içeriği) sağlanması ve
4. Uygun granülometriye sahip toz malzemenin kullanılması uygun olacaktır

(Gürdal ve Yüceer 2004).

#### **2.2.4.2 Ayrışmaya Karşı Direnç**

KYB taze halde iken; taşınması, karıştırılması ve dökülmesi esnasında, betonun bütünlüğünü koruyarak, ayrışmaya karşı direnç gösterme yeteneği, ayrışmaya karşı direnç olarak tanımlanır. L kutusu deneyi bu yeteneği ölçmek için kullanılmaktadır (EFNARC 2005).

KYB betonu, dış etkilere maruz kalmasına rağmen bütünlüğünü koruyabiliyorsa, kararlılık özelliğine sahip demektir. Bununla birlikte, beton karışımının ayrışmaya ve terlemeye karşı olan direnci de kararlılık özelliği olarak tanımlanabilir. Geleneksel bir taze beton, sık donatıların bulunduğu kesitlerden ve kalıplardan geçerken, iri agregalarının dağılması sonucunda ayrışma gösterebilir. Betonun sertleşmesi ile birlikte, çatlak oluşumu ve yer yer boşlukların meydana gelmesi neticesinde betonun dayanımı her kesitinde homojen oluşmaz. Taze betondaki ayrışmalar çeşitli şekillerde oluşabilir.

Bunlar;

- Su ve bileşimindeki katı malzemelerin ayrışması (terleme),
- Çimento hamuru ile agreganın birbirinden ayrışması,
- Sadece kaba agreganın ayrışması,
- Beton içindeki hava boşluklarının uygun şekilde dağılmamasıdır.

Betonda, terlemeyi azaltmak için hareketli su miktarını minimum seviyeye indirmek gerekir. Karışımdaki toz malzeme kullanımının arttırılması ile birlikte, su için geniş

yüzeyler oluşturulur ve ortamdaki serbest su buralarda tutunarak, hareketli su miktarı azaltılır. Su miktarının azalması ile birlikte betonun plastik özelliği azalabilir. Bu durumun korunması için viskozite arttırıcı katkı maddeleri kullanılarak bu durumun önüne geçilebilir (Okamura and Ouchi 2003).

#### **2.2.4.3 Geçiş Yeteneği**

Taze KYB'nin, kalıp içindeki dar kesitlerden ve sık donatılı engellerden, bileşimindeki agregalarınca yolu tıkanmadan ve homojenliği bozulmadan, istenilen bölgelere geçebilme yeteneğidir. Betonun bu özelliği; V hunisi, U ve L kutusu deneyleri uygulanarak ölçülebilir. Uygun bir geçiş yeteneğine sahip olmak için;

- Uygun agrega seçiminin yapılması,
- Su/bağlayıcı madde oranının düşürülmesi,
- Düşük iri agrega hacminin kullanılması,
- En büyük iri agrega çapının azaltılması ve
- Viskozitenin arttırılması uygun olacaktır (EFNARC 2005).

#### **2.2.5 KYB Bileşenleri**

##### **2.2.5.1 Çimento**

TS EN 197-1'e uygun, geleneksel betonda kullanılan tüm çimentolar KYB üretimi için de kullanılabilir. Doğru çimento tipi seçimi normalde, her bir uygulamanın özel durumunu ya da KYB'nin özel gerekliliklerini yerine getirmek için belirlenir. KYB üretimi için kullanılacak çimento miktarı; 350-450 kg/m<sup>3</sup> olarak kabul edilebilir. Karışım içinde 500 kg/m<sup>3</sup>'den daha yüksek oranda çimento kullanılması ile birlikte betonda büzülme seviyesi artabilir. Karışımında 350 kg/m<sup>3</sup>'den az çimento kullanılması durumunda, çimentoya ilave olarak uygun miktarda uçucu kül, silis dumanı vb. ince mineral katkıların dahil edilmesi uygun olabilir (EFNARC 2005).

### 2.2.5.2 Mineral dolgular

Mineral katkı maddelerinin partikül büyüklüğü, dağılımı, şekli ve su emilim oranı, karışımın su oranını ve dolayısıyla KYB üretiminin özelliklerini etkiler. KYB karışımı için kullanılacak mineral malzemeler, çimento miktarını düzenlemek, viskoziteyi ayarlamak ve betona akışkanlık özelliğini kazandırmak amacıyla kullanılmaktadır. Mineral malzeme olarak genellikle; uçucu kül, silis dumanı, öğütülmüş yüksek fırın cürufu gibi malzemeler kullanılmaktadır. Mineral katkıları suyla girdikleri reaksiyon kapasitelerine göre sınıflandırılırlar (Çizelge 2.3) (EFNARC 2005).

**Çizelge 2.3** Mineral katkıların suyla reaksiyon kapasitelerine göre sınıflandırılması.

TİP I	Puzolanik olmayan ya da	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mineral Filler (kireçtaşı)</li><li>• Pigmentler</li></ul>
	yarı puzolanik	
TİP II	Puzolanik	<ul style="list-style-type: none"><li>• EN 450'ye uygun uçucu kül</li><li>• EN 13263'e uygun silis dumanı</li></ul>
	Hidrolik	<ul style="list-style-type: none"><li>• Yüksek fırın cürufu</li></ul>

Uysal (2010) tarafından yapılan doktora tezi çalışmasında; mineral katkıların çimento ile değişik oranlarda kullanılması ile üretilen KYB'lerin, işlenebilirlik ve dayanıklılık özellikleri incelenmiştir. Bu maksatla çimento yerine; uçucu kül, yüksek fırın cürufu (YFC), doğal zeolit, kalker tozu, bazalt tozu ve mermer tozu farklı yer değiştirme oranlarında kullanılmıştır. Üretilen KYB'ler üzerinde yapılan deney verileri değerlendirildiğinde, YFC'nin çimento ile %60 oranında yer değiştirmesi sonucunda üretilen karışımın, işlenebilirlik sonucunun en yüksek seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. Beton numunelerinin 400 günlük basınç dayanımlarının ölçülmesi ile birlikte, yüksek dayanımın, çimento miktarının %25 oranında azaltılıp yerine uçucu külün ilave edilmesi ile üretilen beton numunesi olduğu tespit edilmiştir. Numuneler üzerinde yapılan dayanıklılık ve geçirimsizlik deneyleri ile birlikte, karışımlarda uçucu kül ve YFC mineral katkısı kullanılan beton numunelerinin diğer karışımlara göre daha yüksek performanslı olduğu gözlemlenmiştir.

### **2.2.5.3 Uçucu Kül**

Uçucu kül, KYB'nin kohezyonunu arttıran ve su miktarındaki hassasiyetini azaltma etkisi olan bir malzemedir. Bununla birlikte, yüksek oranda uçucu kül kullanımı, akışa dayanıklı olabileceği kadar daha kohezif bir hamur özelliği meydana getirebilir (EFNARC 2005).

KYB'lere kendiliğinden yerleşebilme özelliği kazandırmak için uçucu küller ince taneli malzeme olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Düzgün yüzeyli yapısı sayesinde KYB'nin işlenebilirliğini, akıcılığını ve viskozitesini artırmada en etkili malzemelerdendir (Yahia *et al.* 2002).

KYB uygulamalarında kullanılan uçucu kül, TS EN 450-1 (2013) standartlarına uygun olmalıdır. Uçucu küllerin uygun standart ve oranlarda kullanılması ile normal beton dayanımında artış sağlanacağı, çimento miktarında azalma meydana geleceği ve betonunun maliyetinde ekonomik olarak fayda sağlanacağı değerlendirilmektedir. Aynı zamanda uçucu kül atıklarının değerlendirilmesi ile birlikte, çevre sağlığına da katkıları olmaktadır (Yamada *et al.* 2000).

### **2.2.5.4 Silis Dumanı**

KYB üretiminde de kullanılan silis dumanı, inceliği ve küresel şekli sayesinde, betondaki boşlukları doldurma özelliğine ve puzolanik etkiye sahip bir malzemedir. Avrupa ve ABD'de yaygın olarak kullanılmaktadır. Betondaki agrega çimento arasındaki bağı güçlendirdiği, yapılan mekanik deneylerle ispatlanmıştır (Taşdemir ve Atahan 1996).

Silis dumanının çok ince taneli olması sebebiyle, oluşturulan taze betonda su ihtiyacı artacak ve su azaltıcı katkı maddeleri ile hava sürükleyici katkı maddesi kullanımı zorunlu olabilecektir (Erdoğan ve Kurbetçi 2003).

### **2.2.5.5 Granüle Yüksek Fırın Cürufu**

Öğütülmüş yüksek fırın cürufu, Kendiliğinden Yerleşen Beton karışımlarındaki viskoziteyi arttırmaktadır. Bu maksatla kullanılan granüle yüksek fırın cürufu, genellikle demir çelik fabrikalarının çevresinde yapılacak beton üretimlerinde ekonomik fayda sağlamaktadır (Çelik 2013).

Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun, KYB'lerin taze ve sertleşmiş beton özelliklerine olumlu katkıları bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda; betonun işlenebilirliği, dayanımı ve geçirimsizliği artmakta olup, hidrasyon hızının düşük olmasından dolayı, üretilen betonlara, uzun süreli kür uygulanmasına yol açmaktadır (Bilim ve Atış 2011).

### **2.2.5.6 Kum**

KYB üretiminde kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620+A1 (2009)'e uygun olmalıdır. Geleneksel betonlarda kullanılan tüm kumlar, KYB'ler için uygundur ancak en büyük agrega boyutu geleneksel betondakinden daha küçüktür (EFNARC 2005).

### **2.2.5.7 Kaba Agregası**

Kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620+A1'e uygun olmalıdır. Daha büyük boyutlu agregalar kullanılsa da maksimum agrega tane büyüklüğü genellikle 12-20 mm ile sınırlandırılmalıdır. Partikül büyüklüğü dağılımı ve kaba agrega şekli KYB'nin akışkanlığını ve geçiş yeteneğini doğrudan etkiler. Agregası parçacıkları ne kadar küresel olursa, tıkanmaya neden olma ihtimalleri o kadar düşüktür ve iç sürtünmenin azalmasından dolayı akışkanlık özelliği artar (EFNARC 2005).

### **2.2.5.8 Bazalt Agregası**

Bazalt erimiş lavların soğuyup katılaşması sonucunda meydana gelen, rengi kurşuni veya siyah olan bir volkanik kayaç türü olup, beton üretiminde kullanılarak yüksek dayanımlı betonların oluşturulmasında kullanılmaktadır (Giaccio *et al.* 1992).

### 2.2.5.9 Mermer kırığı agregası

Mermer, kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarının sıcaklık ile değişime uğrayarak tekrar kristalleşmesi ile meydana gelen metamorfik bir kayaç olup, bileşiminde çoğunlukla kalsiyum karbonat ve magnezyum karbonatın yanı sıra silisyum dioksit ile farklı metal oksitleri ve silikat mineralleri görülür (Şentürk vd. 1996).

Arsoy vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada; Mermer atıklarının çevreye atılması sonucunda oluşan çevre kirliliğini, azaltmak ve ekonomiye kazandırmak amacıyla, beton karışımlarında agrega olarak kullanımı incelenmiştir. Mermer atık sahalarından alınan iri mermer atıkları, kırıcıdan geçirilerek, darbeye ve aşınmaya karşı dayanımları ölçülmüştür. Yapılan çalışmada, Afyonkarahisar Organize Sanayi Bölgesinde bulunan atık sahalardan alınan mermer atıkları kullanılmıştır (Resim 2.1). Alınan mermer atıkları çeneli kırıcılarda standart boyutlara getirilmiş ve agrega olarak kullanılmıştır. Daha sonra parçalanma direnci (Los Angeles deneyi), darbe dayanımları ve aşınmaya karşı dirençleri (mikro-deval katsayısı) ölçülmüştür. Sonuç olarak, mermer atıklarının “TS 706 EN 12620 +A1 Beton Agregaları” standartlarına uygun olduğu, yol ve havaalanlarındaki hazır beton agregası olarak kullanılabilmesi değerlendirilmiştir.



**Resim 2.1** Mermer atıklarının görünümü (Arsoy vd. 2018).

Ceylan ve Mança (2013) tarafından yapılan çalışmada; mermer fabrikalarında üretim sonucunda mermer atığı olarak ortaya çıkan malzemenin, beton agregası olarak

kullanılabilirliği incelenmiştir. Mermer atıklarının uygun boyutlarda kırılmasıyla elde edilen mermer agregası ile kontrol grubu olarak seçilen kırmataş agregasının kullanılmasıyla, TS 802 standartlarında beton numuneleri üretilmiştir. Yapılan agrega analizleri sonucunda, mermer atık agregalarının değerlerinin kontrol grubu agregaları ile yakın olduğu tespit edilmiştir. Her iki grup agrega ile üretilen beton numunelerinde yapılan basınç dayanımı, yüzey sertliği ve ultrasonik ses geçirgenliği değerleri karşılaştırılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde, mermer atıklarının beton agregası olarak kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Tennich vd. (2015), mermer ve fayans fabrikalarından çıkan atıkların, kendiliğinden yerleşen beton üretimlerinde, kireçtaşı dolgusu ve uçucu kül yerine %100 oranında kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada; üretilen numunelerin basınç ve çekme dayanımları incelendiğinde, bu atıkların KYB üretimlerinde kullanılabileceği sonucuna varılarak, bu atıkların kullanılması ile kendiliğinden yerleşen betonların ekonomik olarak üretilmesine yardımcı olabileceği, atık depolama alanlarına atılan mermer ve fayans atıklarının miktarını azaltabileceği değerlendirilmiştir.

#### **2.2.5.10 Kimyasal Katkılar**

KYB'ler beklenen performansı sağırlarken, aynı zamanda da yüksek seviyede doldurma yeteneğine ve geçiş yeteneğine sahip olmalıdır. KYB retiminde bu özellikleri artırmak için yüksek oranda su kullanmak uygun bir yöntem değildir. Çünkü su miktarının artarak, bağlayıcı maddenin sabit kalması ile istenen basınç dayanımı sağlanamayacaktır. Gelişen teknoloji ile birlikte üretilen süper akışkanlaştırıcılar, günümüzde KYB üretimini kolaylaştırarak, beton karışımında farklı malzemelerin kullanabilmesini sağlamıştır (Newman and Choo 2003).

Günümüzde kullanılan kimyasal katkılar; akışkanlaştırıcı, hava sürükleyici, hava uzaklaştırıcı, priz kontrol edici ve viskozite arttırıcı olmak üzere beş ana grupta toplanabilir.

KYB tasarımında akışkanlaştırıcılardan beklenen özellikler, üç grupta toplanabilir. Bunlar;

- 1- Su oranını azaltmada ve akışkanlık yeteneğinin kazandırılmasında etkinlik,
- 2- Diğer kimyasal katkı maddeleriyle uyumluluk ve priz ayarlayıcı özellikleri sağlama,
- 3- İşlenebilirlik ihtiyacını sağlamaktır (Glavind and Pedersen 1999).

#### **2.2.5.11 Süper Akışkanlaştırıcı ve Su Azaltıcı Katkılar**

KYB üretiminde süperakışkanlaştırıcı katkıların kullanılması ile KYB üretiminde başarılı uygulamalar sağlanmıştır. Bu katkılar, taze betonda eşik kayma gerilmesini ve plastik viskoziteyi düşürerek, betona KYB özelliği (geçiş ve doldurma yeteneği) kazandırmaktadır (Yamada *et al.* 2000).

KYB’lerde kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkılar, polikarboksilat esaslı katkılar olup, yüksek akıcılık ve akışkanlaştırıcı etkiye sahiptir. Taze betona su yerine süperakışkanlaştırıcı katkı ilave edilmesi ile betonun kararlılığı korunmakta ve ayrışma önlenmektedir (Uygunoğlu 2008).

Süperakışkanlaştırıcı kullanımından önce KYB’nin çalışma süresi değerlendirilerek, taze betonun erken dayanım kazanmasını önleyen ve betona en az bir saat işleme özelliği kazandırabilen, TS EN 934-2+A1’e uygun kimyasal katkılar seçilmelidir (Topçu vd. 2008).

#### **2.2.5.12 Viskozite Değiştirici Katkılar**

KYB’deki iri agrega tanelerinin dağılımının kaybolarak, taze betonun kütlelerinden ayrılmasını önlemek için viskozite değiştirici katkılar kullanılabilir. Böylece betonun viskozitesi artırılarak ayrışma önlenir ve betonun homojen olarak kalması sağlanır. Bu katkıların maliyetleri yüksek olduklarından, KYB’lerin üretim maliyetlerini de yükseltirler.



Viskozite değiştirici katkıları, genellikle yüksek moleküler ağırlıklı çözülebilir polimerlerdir. Bu katkı taneciklerinin, su ile etkileşime girmesi ile birlikte, sıvı ortamdaki viskoziteyi artırırlar (Ramachandran 1995).

Günümüze kadar yapılan çalışmalar neticesinde, KYB'ler de viskozite değiştirici katkı kullanımını sonucunda, beton üzerinde görülen olumlu özelliklerden birkaçı aşağıda belirtilmiştir. Bunlar;

- Viskozitenin artması,
- Düşük toz bileşeni oluşumu,
- Üretim kontrol seviyesinde düşüş,
- Ayrışma riskinin ortadan kalkması ile daha akışkan karışımların oluşturulabilmesi,
- Betondaki yerleşme seviyesinin gelişmesi,
- Ayrışma ve kuma riskinin düşmesi,
- Karışımın, kalıba yapmış olduğu basınç etkisinde azalma,
- Düzgün yüzeyli beton görünümünde artış sağlanmasıdır (Kaya 2010).

Viskozite değiştirici katkıların yüksek oranda kullanımını ile taze beton için ayrışma ve kuma miktarı azaltılarak, yüksek kohezif yapılı ve yavaş yerleşme oranlı beton oluşabilir. Bu durum, karışımdaki süperakışkanlaştırıcı katkısı arttırılarak önlenabilir (EFNARC 2005).

### **2.3. KYB'leri Değerlendirmek İçin Yapılacak Deney Yöntemleri**

Hazırlanan taze haldeki KYB'lerin, yerleşebilirliğinin ve uygulanabilirlik kontrollerinin yapılabilmesi için birçok araştırmacı, akademisyen ve komite grupları tarafından deney yöntemleri geliştirilmiştir.

KYB'nin taze beton özelliklerini ölçmek ve değerlendirmek için çok çeşitli deney yöntemleri EFNARC (2005)'da açıklanmıştır.

### 2.3.1 Çökme Yayılma (Slump-Flow) Deneyi (TS EN 12350-8)

Çökmede yayılma (Slump-Flow) deneyi, Kendiliğinden Yerleşen Betonların kendi ağırlığı altında doldurma yeteneğini, akıcılığını ve akış hızını ölçmek için yapılır. Deney için Şekil 2.1’de görülen ölçülerdeki bir yayılma tablası ve bir Abraham konisi kullanılır. Yayılma tablası üzeri, üzerinde su parçası kalmayacak şekilde nemlendirilerek temizlenir. Daha sonra Abraham konisi yayılma tablasının merkezine dik olarak yerleştirilir. Koni, üzerinden bırakılan taze beton ile tamamen doldurulur (şişleme yapılmadan) ve dikey olarak yukarı kaldırılır. Koni yukarı çekilmeye başladığı anda, 0.1 sn hassasiyetli kronometre çalıştırılır ve taze betonun tabla üzerinde işaretli bulunan 500 mm’lik dış halkaya ulaştığı andaki süresi okunur. Bu süre, T500 süresi olarak kayıt edilir. Yayılması tamamlanan betonun ulaştığı en büyük çapı ve bu çapa dik olan diğer çapı okunur. Bu iki çapın ortalaması, yayılma çapı olarak kabul edilir (TS EN 12350-8, 2011).

Çizelge 2.4’te TS EN 206: 2013+A1 (2017)’e göre KYB’ler için çökme yayılma sınıfları, Çizelge 2.5’te ise  $t_{500}$  viskozite sınıfları gösterilmiştir.

**Çizelge 2.4** Çökme Yayılma Sınıfları.

Sınıfı	Çökme-yayılma EN 12350-8’e göre test edilmiştir (mm).
SF1	550 - 650 arası
SF2	660 - 760 arası
SF3	760 - 850 arası

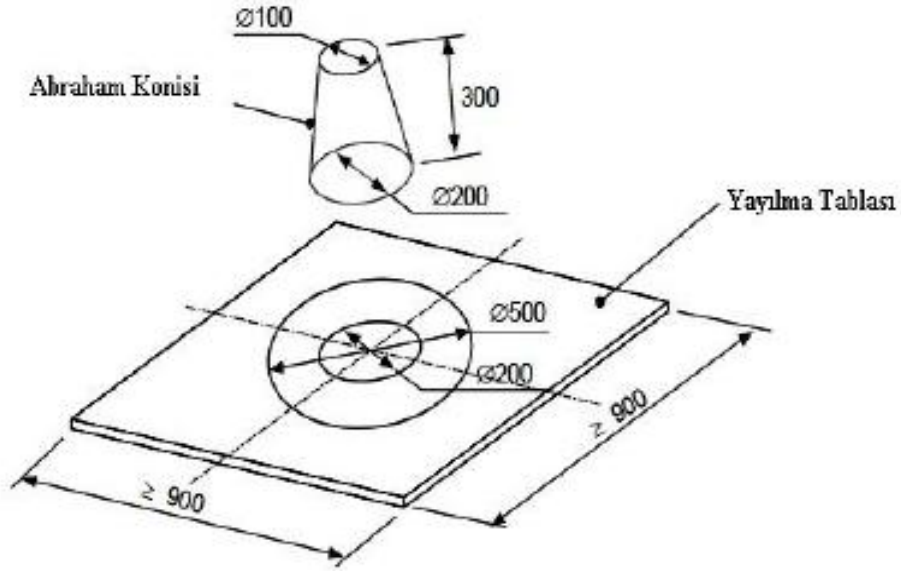
Bu sınıflandırma agrega en büyük tane büyüklüğü ( $D_{max}$ ) 40 mm’den daha büyük olan betonlar için uygun değildir.

**Çizelge 2.5**  $t_{500}$  Viskozite Sınıfları.

Sınıfı	$t_{500}$ değerleri, EN 12350-8’e göre test edilmiştir (s).
VS1	< 2.0
VS2	≥ 2.0

Bu sınıflandırma agrega en büyük tane büyüklüğü ( $D_{max}$ ) 40 mm’den daha büyük olan betonlar için uygun değildir.

Dowson tarafından KYB'lerle yapılan çökme yayılma deney çalışmalarında, KYB'nin yayılma çapının 65-80 cm arasında ve T500 süresinin de 3 saniyeyi geçmemesinin gerektiği kabul edilmiştir (Özgüler 2007).



Şekil 2.1 Slump hunisi ve yayılma tablası.

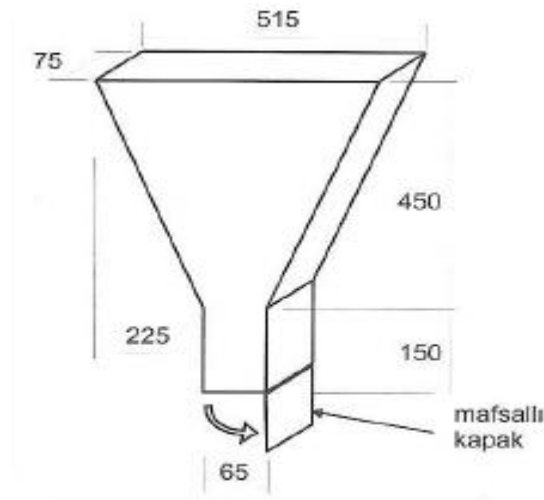
### 2.3.2 V Hunisi Deneyi (TS EN 12350-9)

KYB'ler kendi ağırlığı altında yerleşebilme, dar aralık ve boşluklardan geçiş yapabilme yeteneğine sahiptir. Taze haldeki KYB'nin viskozitesinin ve doldurma yeteneğinin kabul edilebilir standartlarda olup olmadığını görmek için V Hunisi Deneyi uygulanmaktadır.

Bu deney için boyutları Şekil 2.2'de gösterilen V şeklinde üretilmiş huniye, taze beton doldurulur. Bu huninin altına taze betonun içine dökülmesi için bir kova koyulur. Huninin içi akışkanlığı sağlaması amacıyla nemli bulundurulmalıdır. V şeklinde huninin içi tamamen taze beton ile doldurulur. Daha sonra, alt kısmında bulunan kapak açılarak ve betonun huni içinden kovaya tamamen boşalması için geçen süre ölçülür. Bu işlemler yapılırken beton içerisi şişlenmez, vibrasyon etkisi yaratacak hareketler uygulanmaz. Akışın tamamen bittiği süre, V hunisi akış süresi ( $t_v$ ) olarak ölçülür ve not

edilir. Deney sırasında beton kesintisiz ve düzgün bir akış ile akmalıdır (TS EN 12350-9 2011).

Taze betonun V hunisi içerisindeki akışı sırasında, bloklanma nedeni ile engellenme gözlemlenir ise not edilir. V hunisi deneyinde, bu toplam akış süresinin 10-12 saniye civarında olması beklenir. Deney bitiminden sonra belirli zaman aralıklarında tekrarlanan deneylerde ölçülen akış süreleri arasındaki fark, betonun ayrışma direnci hakkında bilgi vermektedir (Bartos 2005).



Şekil 2.2 V hunisi deney aparatı.

Çizelge 2.6'da TS EN 206:2013+A1 (2017)'e göre, KYB'ler için V hunisi deneyi  $t_v$  viskozite sınıfları gösterilmiştir.

Çizelge 2.6  $t_v$  viskozite sınıfları.

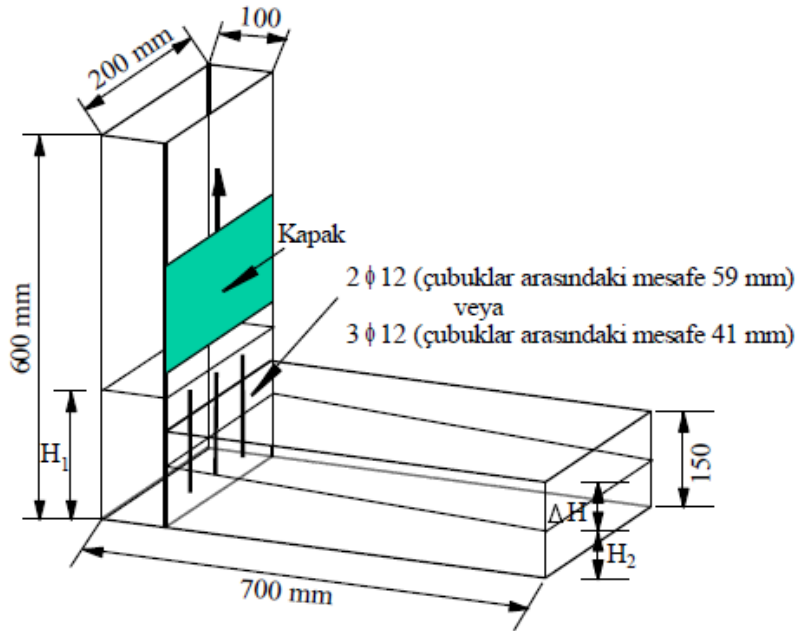
Sınıfı	$t_v$ değerleri, EN 12350-9'a göre test edilmiştir.
	s
VF1	< 9.0
VF2	9.0 – 25.0 arası

Bu sınıflandırma agrega en büyük tane büyüklüğü ( $D_{max}$ ) 22.4 mm'den daha büyük olan betonlar için uygun değildir.

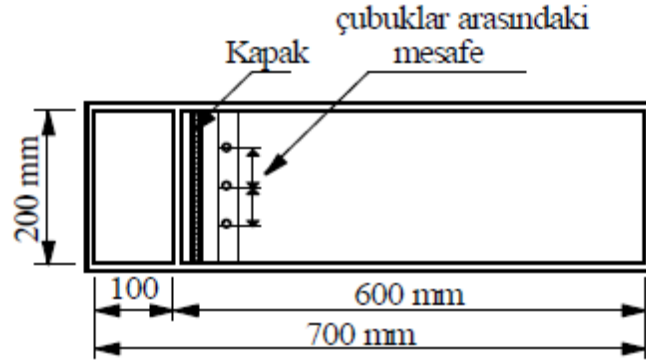
### 2.3.3 L Kutusu Deneyi (TS EN 12350-10)

Hazırlanan taze KYB'lerin donatılar arasından geçiş kabiliyetini, yerleşme yeteneğini ve ayrışmaya karşı direncini, EFNARC standartlarında kabul edilen L şeklindeki bölmeli bir kutudan gözlenerek yapılan bir deney yöntemidir.

L şeklinde hazırlanan ve ölçüleri Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te belirtilen metal bir kutunun içerisine, hazırlanan (12 litre) taze KYB yerleştirilir. Betonun düşey bir kesitten, alttaki kapağın açılarak yatay bir oluk içine akması ve yerleşmesi sağlanarak yapılır. Akan beton, her iki bölümdeki yerden yükseklikleri ölçülerek  $H_1$  ve  $H_2$  olarak kayıt edilir. Seviye ölçümü yapılırken 200, 400 ve 600 mm'lik mesafelerden geçiş süreleri ( $T_{200}$ ,  $T_{400}$  ve  $T_{600}$ ) de kayıt edilir. Test sonucunda, beton donatılarının arasından oluğa geçtikten sonraki yükseklik olan  $H_2$ 'nin, düşey doğrultudaki en büyük yükseklik olan  $H_1$ 'e bölünmesiyle hesaplanır (EFNARC 2005).



Şekil 2.3 L kutusu genel düzeni.



Şekil 2.4 L kutusu üstten görünüm.

Çizelge 2.7’de TS EN 206 (2013)’e göre, KYB’ler için L kutusu deneyi PL oranı geçiş yeteneği sınıfları gösterilmiştir.

Çizelge 2.7 L kutusu geçiş yeterlilik oranı.

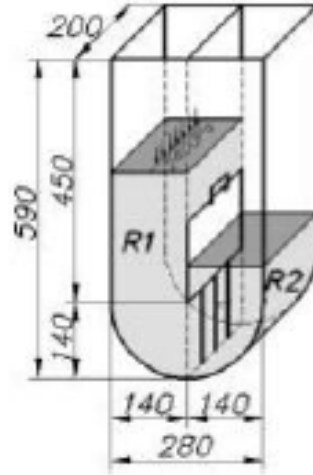
Sınıfı	L kutusu oranı EN 12350-9’a göre test edilmiştir.
PL1	$\geq 0.80$ ile 2 donatılı
PL2	$\geq 0.80$ ile 3 donatılı

### 2.3.4 U Kutusu Deneyi

Taze KYB’lerin engellerden geçiş yeteneği ve kendiliğinden yerleşme yeteneğini ölçmede, etkili bir deneydir. U şeklinde hazırlanan özel bir kutu içerisindeki taze KYB’nin, kendi ağırlığı ile yükselmesi ve geçiş yapabilme süresi gözlenir. Bu deneyde Şekil 2.5’te gösterilen özel bir kutu kullanılır.

Testi gerçekleştirmek için yaklaşık 20 litrelik taze KYB kullanılır. Kutunun iç yüzeyi nemlendirilir ve fazla su temizlenir. U şeklindeki aparatın bir tarafına taze beton doldurulur ve 1 dakika beklendikten sonra alt ortasında bulunan sürgülü kapak çekilerek betonun hiçbir müdahale yapılmadan diğer tarafa doğru yükselme hızı ölçülür. Bu

işlemi gerçekleştirene kadar geçen süre ve iki bölmedeki beton seviyeleri ölçülür. Her iki haznedeki beton yükseklikleri 3 farklı noktadan ölçülür ve ortalama değerler kullanılarak yükseklik farkı hesaplanır. İki yükseklik arasındaki oran olan  $H_1/H_2$  oranının 1.0 değerine yakın olması ve aralarındaki yükseklik farkının 30 cm'den küçük olması durumunda betonun doldurma yeteneğinin uygun olduğu kabul edilmektedir (EFNARC 2002).



Şekil 2.5 U kutusu deney aparatı.

## 2.4 KYB İle İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Türkmenoğlu vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada; KYB'de kullanılan çimento, %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında azaltılarak, yerine mermer tozu koyulmasıyla, 5 farklı beton numunesi üretilmiştir. Tüm numunelerin karışımlarında su/bağlayıcı oranı ve toplam bağlayıcı miktarı sabit tutulmuştur. Çalışma sonucunda yapılan taze beton deney sonuçları incelendiğinde, çimento yerine %15 oranında mermer tozu ilavesinin, kendiliğinden yerleşen beton üzerinde olumlu etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Gürses (2018) tarafından yapılan çalışmada; KYB'nin özellikleri ve maliyet analizi incelenmiştir. KYB ile normal beton arasındaki üretim maliyetini karşılaştırabilmek için; C30, C40 ve C50 dayanımlarındaki betonların üretimleri yapılarak, maliyetleri belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma için seçilen beton santrali ile döküm yeri arasındaki mesafenin 0-5 km arasında olduğu, şantiyede dökülecek toplam 1000 m<sup>3</sup>'lük beton

miktarının, İstanbul'daki beton tesisinden alınan 1 m<sup>3</sup>'lük şantiyeye teslim beton fiyatlarına göre bir maliyet analizi çıkartılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde; normal beton ile üretilen KYB betonları arasında %30 ile %40'lık bir satış fiyat farkının olduğu belirlenmiştir. Ancak; KYB betonu üretildikten sonra şantiyede yapılan döküm işleminde, vibratör ve işçi kullanımına gerek bulunmadığından, işçilik ve elektrik maliyetlerinde azalma olacağı değerlendirilmiş, betonun kalıp süresinin kısılması ile birlikte, mevcut inşaat işinin daha kısa sürede tamamlanabileceği ve şantiye giderlerinin azalması neticesinde, KYB ile geleneksel beton maliyetleri arasındaki fiyat farkının %5 ile %10'lara kadar ineceği sonucuna ulaşılmıştır.

Tohumcu (2011) tarafından yapılan tez çalışmasında; karışımdaki çimentonun ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında azaltılması ve yerine mineral katkı olarak silis dumanı (SD) ve %25, %40 ve %55 oranlarında uçucu kül (UK) ilave edilerek KYB numuneleri üretilmiştir. Üretilen numunelerin kendiliğinden yerleşebilirlik özellikleri ve basınç dayanımları incelenmiştir. Mineral katkıların, kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerine olumlu etki yaptığı tespit edilmiştir. Ancak erken yaşlarda, mineral katkıların basınç dayanımlarını düşürdüğü ve nihai dayanımlarda SD kullanımının, KYB üretimine olumlu, UK kullanımının ise olumsuz etki yaptığı tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde, en yüksek basınç dayanımının %15 SD katkılı olarak üretilen ve 28 günlük su kürü uygulanan betonlardan elde edildiği ve tüm numunelere hava kürünün uygulanmasıyla basınç dayanımlarının düştüğü gözlemlenmiştir.

Orhan (2012) tarafından yapılan bir çalışmada; KYB içeriğindeki akışkanlaştırıcı katkı ve mineral katkı oranlarının değiştirilmesinin betondaki etkileri incelenmiştir. Karışımlarda, mineral katkı olarak silis dumanı, akışkanlaştırıcı katkı olarak ise polikarboksilat esaslı üçüncü nesil süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Yapılan deney çalışmaları neticesinde, en uygun değerlerin %10 silis dumanı içeren numunelere ait olduğu görülmüştür. %20 silis dumanı içeren numunelerin işlenebilme yeteneğinin artması beklenirken, su ihtiyacından dolayı donatılar arasındaki geçiş değeri ve yayılma çapı değerlerinin düşük çıktığı gözlemlenmiştir. Silis dumanı kullanılmayan numunelerde ise ayrışma olduğundan kapsam dışı tutulmuştur. Yapılan çalışma neticesinde silis dumanının optimum kullanım oranının, çimento dozajının %10'u kadar olduğu



değerlendirilmiştir. Akışkanlaştırıcı katkı kullanımında optimum değer ise %1.5 akışkanlaştırıcı miktarı ile sağlanmıştır. Bu değer üstündeki miktarlarda ayrışma olduğu tespit edilmiş, altındaki değerlerde ise kıvam problemleri ortaya çıktığı görülmüştür. Sonuç olarak, akışkanlaştırıcı ve mineral katkı oranının, KYB üretiminde beton özelliklerine etkisinin büyük olduğu görülmüştür.

Garip (2011) tarafından yapılan tez çalışmasında; belirli oranlardaki cüruf, silis dumanı ve akışkanlaştırıcı kimyasal katkı ilave edilerek, kendiliğinden yerleşen yüksek dayanımlı 2 tip beton numunesi üretilmiştir. Ayazağa ve Cebeci olarak isimlendirilen bu iki karışımda, kırma kum ve 1 numara kırma taşın dışındaki diğer malzemeler ortak kullanılmıştır. Bu iki çeşit beton numunesinin KYB özelliğini belirlemek için taze ve sertleşmiş beton deneyleri uygulanmıştır. Deneyler sonucunda, Ayazağa ve Cebeci betonlarının yüksek dayanım ve kararlılık özellikleri gösterdiği, KYB’lerde farklı agrega kullanımının akışkanlaştırıcı katkı oranını etkilediği, farklı agrega kullanımının elastisite modülünü değiştirebildiği ve agrega seçiminin beton tasarımında önemli olduğu tespit edilmiştir. Yüksek durabilite özelliklerine sahip binaların depreme karşı daha dayanıklı olacağı ve yapı maliyetini arttırmadan, çok katlı yapıların inşa edilebileceği değerlendirilmiştir.

Bakır (2011) tarafından yapılan bir çalışmada; dolgu maddesi oranının KYB özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bu maksatla, KYB üretiminde toz malzeme olarak taş tozu ve kimyasal katkı olarak, hiperakışkanlaştırıcı (HA) kullanılmıştır. Hazırlanan KYB karışımlarında, %0.60, %0.75 ve %1.00 oranlarında HA katkı kullanılmış ve toplam 8 adet KYB numunesi üretilmiştir. Yapılan çalışmada, bağlayıcı madde miktarı ve s/ç oranları sabit tutulmuştur. Üretilen KYB numuneleri, kontrol betonu ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Doğal agrega ile üretilen KYB’ler, yapay agrega kullanılarak üretilenlere göre KYB özelliğini daha çok göstermiştir. Yapılan basınç dayanımı testlerinde ise yapay agrega ile üretilen KYB’lerin doğal agrega ile üretilenlerine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Kaya (2010) tarafından yapılan yüksek lisans çalışmasında; bağlayıcı malzeme olarak sadece çimento kullanılarak üretilen kontrol betonu ile karışımın çimento miktarının

belli oranlarda azaltılıp yerine uçucu kül, kireç taşı, filler veya kum taşı filler eklenmiş şekilde üretilen KYB beton numunelerinin, mekanik özelliklerinin nasıl etkileneceği incelenmiştir. Bu amaçla 500 kg/m<sup>3</sup> çimento dozajlı 1 referans karışım ve bu karışımın çimento dozajının kütlece %20, %30 ve %40 oranlarında azaltıp yerine uçucu kül, kireç taşı, filler veya kum taşı filler eklenmiş üçer karışım üretilmiştir. Uçucu kül içeren karışımlardaki uçucu kül oranları, referans karışımdaki çimento oranının %20, %30 ve %40'ı, filler içerikli diğer karışımlarda ise hacim farkını dengelemek amaçlı %24, %36 ve %48 kullanılmıştır. Deneyle ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, çimento yerine mineral katkı değişimi yapıldığında, doldurma ve geçiş yeteneklerinde belirgin bir değişimin oluşmadığı, viskozitede ise düzensiz değişimlerin olduğu tespit edilmiştir. Üretilen numunelerin ultrases ve elastisite değerlerinde değişimlerin hemen hemen aynı kaldığı ve mineral katkı-çimento değişim oranı arttıkça, basınç dayanımının düştüğü tespit edilmiştir. Tüm karışımların basınç dayanımları incelendiğinde, tamamının yüksek dayanımlı beton sınıfında olduğu görülmüştür.

Çelik (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı su emme kapasitesine sahip agregaların, KYB'nin taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisi gözlemlenmiştir. Oluşturulan karışım numunelerinde; doğal nehir kumu ve çakıl olarak da bazalt, kalker (kireçtaşı) ve nehir çakılı kullanılmıştır. Üretilen KYB'lerin EFNARC standartlarını sağladığı tespit edilmiştir. Ayrıca, nehir çakıllı KYB betonları dışında, nem durumu, fırın kurusu olan agregalarla hazırlanan numunelerin 28 ve 56 günlük kür süreli basınç dayanımlarının, ıslak nem durumuna sahip agregalarla üretilen beton numunelerinkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Şahmaran vd. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada; çimento yerine hacmen %70 oranında uçucu kül içeren bir karışım ile istenilen basınç dayanımına sahip KYB üretimi yapılmıştır. Uçucu küllü ve kontrol KYB'li numuneler üzerinde yapılan taze ve sertleşmiş beton deneyleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmada 1 kontrol numunesi ve toplam bağlayıcı miktarının ağırlıkça %40, %50, %60 ve %70'i oranında uçucu kül içeren 4 adet KYB numunesi üretilmiştir. Yayılma deneyi sonuçlarına göre bütün karışımların KYB özelliği gösterdiği ve yayılma genişliği ile süresinin, beton karışımında kullanılan bağlayıcı madde oranından daha çok, yüksek

akışkanlaştırıcı miktarına bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir. Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde yapılan 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ile 28 günlük çekme dayanımı deneyleri sonucunda, uçucu kül oranı arttıkça, basınç dayanımlarında düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle %50 oranından daha fazla uçucu kül kullanılan KYB numunelerindeki dayanımlarda, düşüşün arttığı tespit edilmiştir.

Aruntaş vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada; kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) özellikleri üzerine, atık mermer tozunun (AMT) etkisi incelenmiştir. Hazırlanan KYB numunelerinde s/ç oranı, bağlayıcı miktarı ve hiperakışkanlaştırıcı (HA) sabit tutulmuştur. Karışımda, HA katkı, çimento miktarının (ağırlıkça) %1.5 oranında ilave edilmiştir. Karışımdaki çimento miktarları %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında azaltılarak, yerine AMT ilave edilerek karışımlar hazırlanmıştır. Üretilen AMT katkılı KYB numuneleri, hem birbirleriyle hem de kontrol betonu ile karşılaştırılmıştır. KYB numuneleri arasında en yüksek basınç dayanımının, %20 AMT katkılı betondan elde edildiği ve AMT'nin KYB üretimlerinde çimento yerine %15 ve %20 oranlarında kullanılması ile birlikte, KYB üretim maliyetinin de, aynı oranda düşebileceği değerlendirilmiştir.

Keçeci (2018) tarafından yapılan yüksek lisans tezi çalışmasında; kendiliğinden yerleşen betonda, silis dumanının kullanılmasının beton basınç dayanımına ve aderansa etkileri incelenmiştir. Yapılan deneylerde kullanılan tüm numunelerde çimento oranları sabit tutulmuş ve silis dumanı kullanılmadan referans beton numuneleri üretilmiştir. Referans numuneleri haricinde, çimento miktarı sabit tutularak, çimento oranının %10'u, %15'i, %20'si ve %25'i oranlarında silis dumanı ilave edilmesiyle, KYB beton numuneleri üretilmiştir. Deney sonucunda, basınç dayanımı için en uygun silis dumanı oranının %15 olduğu değerlendirilmiştir.

Dinakar vd. (2008) tarafından; KYB beton karışımına yüksek oranda uçucu kül ilavesi ile üretilen betonların, dayanımları araştırılmıştır. Bu amaçla, çimento miktarı sabit olarak kabul edilen referans bir beton numune ile çimento yerine ağırlıkça %10, %30, %50, %70 ve %85 ikame oranlarında, uçucu kül içeren beton numuneler üretilmiştir. Üretilen beton numunelerin permeabilite, su emme, asit saldırısı etkisi ve hızlı klorür

geçirgenliği etkilerinin incelenmesi amacıyla deneyler yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, KYB beton numuneleri, aynı dayanımdaki geleneksel betonlara göre daha yüksek permeabilite ve su emme değerlerine ulaşmış, ancak asit saldırı etkisi ve klorür difüzyonu deney sonuçlarına göre daha düşük değerler elde etmiştir.

Yılmaz (2018) tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışmasında; çimento oranının sabit tutularak, mineral katkı cinsi olarak, belli oranlarda zeolit ve yüksek fırın cürufu kullanılarak, KYB numuneleri üretilmiştir. Numuneler üzerinde taze beton ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmış, yüksek fırın cürufu kullanılması ile üretilen beton numunelerinin, en yüksek performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Toplam bağlayıcının %30, %40 ve %50'si oranlarında zeolit kullanıldığında, betonun su ihtiyacının yüksek oranda arttığı tespit edilmiştir. Zeolitle üretilen betonlar, taze beton testlerinde istenilen standartları sağlayamadığından, KYB özelliği kazanmamıştır.

Abed vd. (2018) tarafından “Çok sayıda geri dönüştürülmüş agrega kullanımı içeren, kendiliğinden yerleşen yüksek dayanımlı betonun özellikleri” konulu yapılan çalışmada; iki nesil geri dönüştürülmüş agrega betonu (geri dönüştürülmüş agrega (RCA) ve yeniden geri dönüştürülmüş agrega (RRCA) betonları), iki değiştirme miktarı olan kütlece %25 ve %50 oranlarında üretilmiştir. Geri dönüştürülmüş agrega (RCA) kullanılarak oluşturulan KYB'lerin, kontrol KYB'lerin taze özelliklerini etkilemediği, bilgisayarlı tomografide RRCA gözenekliliğinin RCA'dan daha düşük olduğunu göstermiş ve yeniden kullanılan geri dönüştürülmüş agrega betonunun (RRCA), mekanik ve mikroyapı özelliklerini geliştirmek için kütlece %50'ye kadar değişim miktarının kabul edilebileceği tespit edilmiştir.

### **3. DENEYSEL ÇALIŞMA**

Yapılan tez çalışmasında farklı tip agregalar kullanılarak yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretimleri yapılmıştır. Çalışmada kalker esaslı kırmataş agregasının (4-11.2 mm) yerine belli oranlarda bazalt ve mermer kırığı agregası kullanılarak, yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton serileri üretilmiştir. Böylece agrega tipinin, yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonların taze, fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca tez çalışmasında yine yüksek dayanımı ve kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerini sağlayabilmek için silis dumanı katkısı kullanılmış ve bu katkının da etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla kullanılan malzemeler, yapılan deneyler, üretilen numune tipleri, uygulanan kür süreleri ve deneylerin yapıldığı süreler hakkındaki bilgiler aşağıdaki bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.

#### **3.1 Kullanılan Malzemeler**

Deneysel çalışmalarda çimento, silis dumanı, agregalar ve hiper akışkanlaştırıcı katkı gibi malzemeler kullanılmış ve bu malzemeler ile ilgili ayrıntılı bilgiler aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

##### **3.1.1 Çimento**

Yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton üretimlerinde ÇİMSA Afyon Çimento Fabrikası'nın üretmiş olduğu TS EN 197-1 (2012)'e uygun CEM I 52.5 N Portland Çimentosu kullanılmıştır. KYB üretimlerinde kullanılan çimentonun; kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerine ait deney sonuçları, Çizelge 3.1'de verilmiştir.

##### **3.1.2 Silis Dumanı**

Silis dumanı, silisyum metali veya ferrosilisyum (FeSi) alaşımlarının üretiminde, elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ile indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli bir malzemedir. Fırınların üst bölümlerinde SiO gazı hava ile hızlı

bir şekilde okside olur ve amorf SiO<sub>2</sub>'ye dönüşür. Böylece silis dumanı bileşiminin neredeyse tamamı oluşur. Alaşımdaki silisyum içeriği oranı yüksekse, silis dumanındaki SiO<sub>2</sub> miktarı da artar. Silis dumanı olarak adlandırılan baca tozlarından diğeri de silikoferrokrom (SiFeCr) üretimi sırasında elde edilmektedir. Kromsit, kuvarsit, kireç ile boksit katkısı ve metalurjik kok ile birlikte elektrik ark fırınına beslenir. Fırında oksitlerin indirgenmesi sonucu SiFeCr alaşımı tabanda birikirken yüzeyde de sıvı bir cüruf tabakası oluşmaktadır. Metal alaşım ve cüruf uygun aralıklarla oluklardan alınarak birbirlerinden ayrılmaktadır (Yeğınobalı 2009).

**Çizelge 3.1** Çimentonun; kimyasal, fiziksel ve mekanik özellik deney sonuçları.

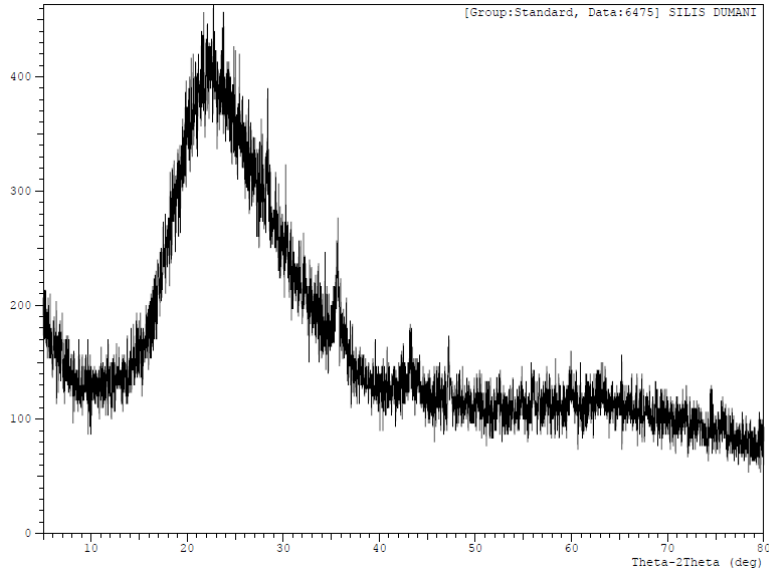
	Kimyasal Bileşim, %	CEM I 52.5 N
Kimyasal Özellikler (XRF analizi)	SiO <sub>2</sub>	19.96
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.44
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.25
	CaO	63.98
	MgO	1.64
	Na <sub>2</sub> O	0.17
	K <sub>2</sub> O	0.45
	SO <sub>3</sub>	2.98
	Cl <sup>-</sup>	0.0060
	Kızdırma kaybı	1.94
	Çözünmeyen Kalıntı	0.15
Fiziksel Özellikler	Özgül ağırlık	3.12
	Özgül yüzey, cm <sup>2</sup> /gr	5012
	Priz Başlama Süresi, dk	110
	Priz Sona Erme Süresi, dk	157
	Hacim Genleşmesi, mm	0
Mekanik Özellikler	Basınç Dayanımı, MPa (2 Günlük)	36.2
	Basınç Dayanımı, MPa (7 Günlük)	52.4
	Basınç Dayanımı, MPa (28 Günlük)	64.7

Silisyum metali, %75 ferrosilisyum alaşımlarından elde edilen silis dumanlarının bileşimlerinde SiO<sub>2</sub> miktarı %85'i geçmekte ve çoğunlukla %90 civarında olmaktadır. Ancak silikoferrokromdan elde edilen silis dumanlarının bileşimlerinde SiO<sub>2</sub> miktarı %70 ile %85 arasında bulunmakta ve MgO miktarı da %4 ile %8 arasında değişmektedir. Silis dumanları ile ilgili bazı tipik ortalama değerler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2** Silis dumanlarının kimyasal bileşimi (Yeğınobalı 2009).

	Alaşıım Türü			
	Si	Fe-Si (%75)	Fe-Si (%75)	SiFeCr
SiO <sub>2</sub>	93.65	93.22	94.50	70-85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.28	0.31	0.88	2-5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.58	1.12	0.70	1-2.5
CaO	0.27	0.44	0.80	1-2
MgO	0.25	1.08	1.25	4-8
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.10	-	-
K <sub>2</sub> O	0.49	1.37	-	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	1-4
S	0.20	0.22	0.23	0.5-1.3
C	3.62	1.92	0.90	1-1.5
Kızdırma kaybı	4.36	3.10	0.75	1-3.5
45 µm elekte kalan (%)	5.4	1.8	-	-

Yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton üretimlerinde Antalya Eti Elektrometalurji A.Ş. firmasının atığı olan silis dumanı kullanılmıştır. Şekil 3.1'de silis dumanının XRD analizi sonucu verilmiş ve silis dumanının amorf yapıda olduğu difraktogramdan görülmektedir. Silis dumanına (SD) ait kimyasal ve fiziksel özellik deney sonuçları Çizelge 3.3'te verilmiştir. Çizelge 3.3 incelendiğinde silis dumanının silikoferrokromdan (SiFeCr) elde edilen silis dumanlarının kimyasal bileşimine benzerlik gösterdiği görülmüştür.



Şekil 3.1 Silis dumanının XRD analizi sonucu.

Çizelge 3.3 SD'nin XRF analizi ve fiziksel özellik deney sonuçları.

	Kimyasal Bileşim, %	SD
Kimyasal Özellikler (XRF analizi)	SiO <sub>2</sub>	80.22
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.84
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.46
	CaO	1.39
	MgO	6.55
	Na <sub>2</sub> O	1.45
	K <sub>2</sub> O	2.23
	SO <sub>3</sub>	1.04
	ZnO	0.26
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.69
	Cl	0.027
	F	0.27
	Kızdırma Kaybı	3.35
Fiziksel Özellikler	Özgül ağırlık	2.20
	BET, m <sup>2</sup> /gr	13.02

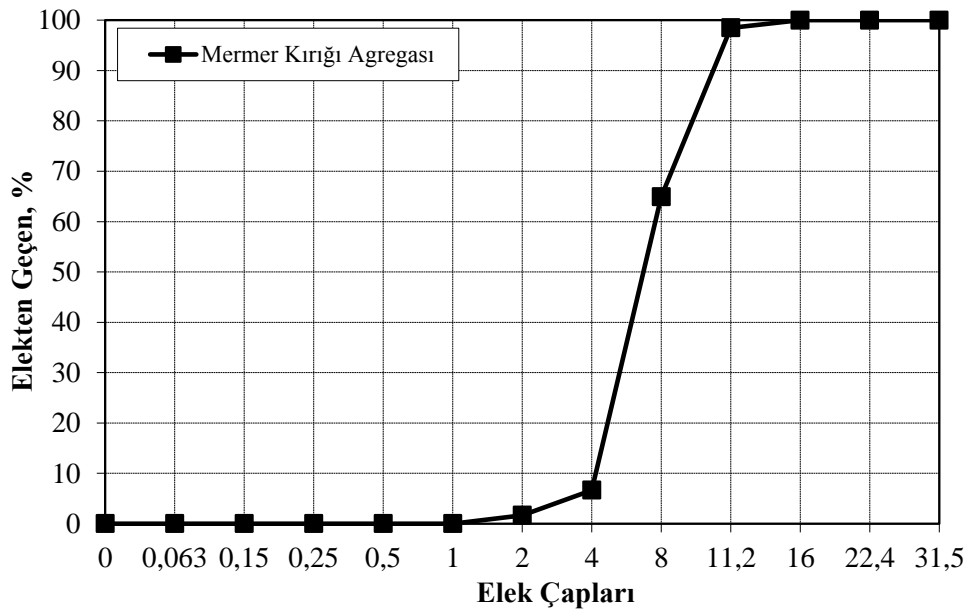


### 3.1.3 Mermer Kırığı Agregası

Yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton üretimlerinde kullanılan mermer kırığı agregası Afyonkarahisar ili Organize Sanayi Bölgesinde ki mermer atıklarını toplayan SAY Yapı A.Ş'den temin edilmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kullanılan mermer kırığı agregalarının tane boyutları 4-11.2 mm aralığındadır. Mermer kırığı agregasının özgül ağırlığı ve su emme yüzdesi değerlerine ait fiziksel özellikler Çizelge 3.4'te verilmiştir. Mermer kırığı agregalarına ait granülometri eğrisi Şekil 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 Mermer kırığı agregasının fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellikler	Mermer Kırığı Agregası (4-11.2 mm)
Özgül ağırlık	2.55
Su emme, %	0.692



Şekil 3.2 Mermer kırığı agregalarına ait granülometri eğrisi.

### 3.1.4 Bazalt Agregası

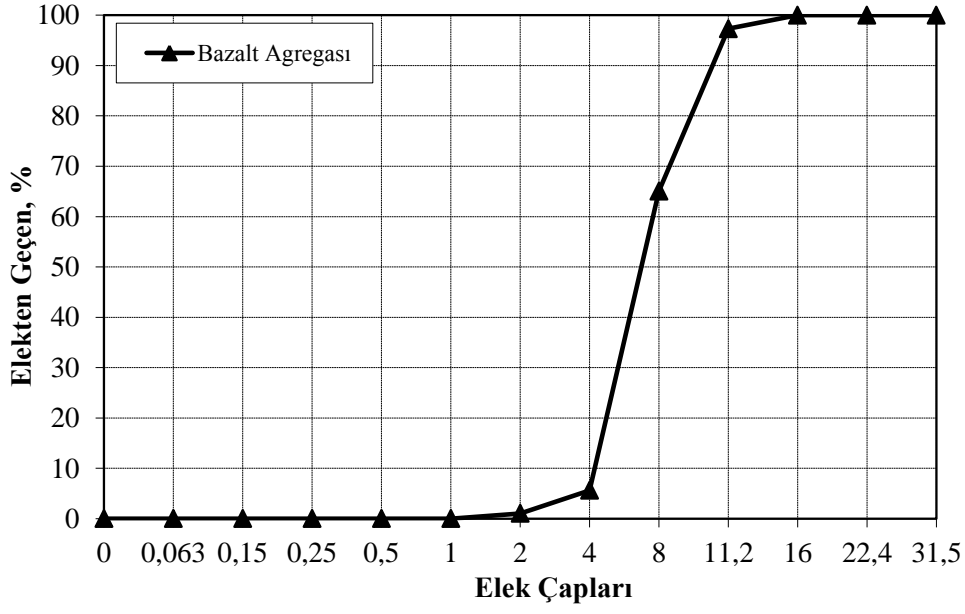
Yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton üretimlerinde 4-11.2 mm boyut aralığındaki bazalt agregaları kullanılmıştır. Kütahya iline ait bazalt agregaları Afyonkarahisar Belediyesi'nin asfalt şantiyesinden temin edilmiştir. Bazalt agregasının özgül ağırlığı ve su emme yüzdesi değerleri Çizelge 3.5'te gösterilmiştir. Bazalt agregalarına ait granülometri eğrisi Şekil 3.3'te verilmiştir.

**Çizelge 3.5** Bazalt agregasının fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellikler	Bazalt Agregası (4-11.2 mm)
Özgül ağırlık	2.64
Su emme, %	1.13

### 3.1.5 Kum ve Kırmataş Agregaları

Yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton üretimlerinde Afyon KOLSAN hazır beton tesisinin taş ocaklarından elde edilen kalker esaslı kırma kum (0-4 mm) ve kırma taş I (4-11.2 mm) agregaları kullanılmıştır. Kırma kum ve kırmataş I agregası aynı ocaktan çıktığından kum ve kırmataş I agregasının kimyasal ve minerolojik özellikleri aynıdır. Bu agregalardan elde edilen toz numuneler üzerinde yaptırılan XRF analizi sonuçları Çizelge 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.3 Bazalt agregalarına ait granülometri eğrisi.

Çizelge 3.6 Agregaların XRF analizi sonuçları.

	Kimyasal Bileşim, %	Kırma Kum
Kimyasal Özellikler (XRF analizi)	SiO <sub>2</sub>	1.72
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.82
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.15
	CaO	52.50
	MgO	1.63
	Na <sub>2</sub> O	0.03
	K <sub>2</sub> O	0.08
	SO <sub>3</sub>	0.02
	MnO	0.01
	Kükürt (S)	-
	Cl <sup>-</sup>	0.01
	Kızdırma kaybı	42.90
	Çözünmeyen Kalıntı	-
	Serbest Kireç	-

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminden kullanılan kum ve kırmataş I agregasının fiziksel özellikleri Çizelge 3.7’de verilmiştir. Agregalar üzerinde elek analizi yapılmış ve elek analizi sonuçları Çizelge 3.8’de verilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla mermer kırığı, bazalt ve kırmataş I agregası ile kırma kumun granülometri eğrisi Şekil 3.4’te beraber verilmiştir. Şekil 3.4’ten görüldüğü üzere mermer kırığı, bazalt ve kırmataş I agregasının granülometri eğrileri üst üste çakışmıştır. Yani 4-11.2 mm boyutlarında kullanılan agregaların tane dağılımları birbirine çok yakındır.

**Çizelge 3.7** Kum ve kırmataş I agregasının fiziksel özellikleri.

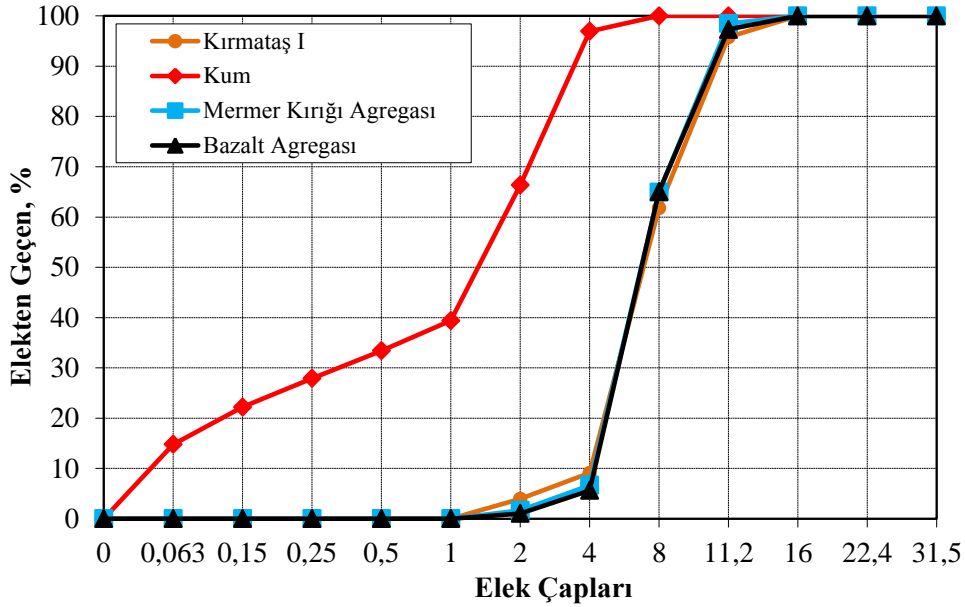
Fiziksel Özellikler	Kırma Kum (0-4 mm)	Kırma Taş I (4-11.2 mm)
Özgül ağırlık	2.657	2.698
Su emme, %	1.276	0.689

**Çizelge 3.8** Agregaların elek analizi sonuçları.

Elek boyutları (mm)	Elekten geçen malzeme miktarı, %	
	Kırma Kum (0-4 mm)	Kırma Taş I (4-11.2 mm)
31.5	100	100
22.4	100	100
16	100	100
11.2	100	95.75
8	100	61.79
4	96.93	9.09
2	66.34	3.93
1	39.41	0.00
0.5	33.40	0.00
0.25	27.92	0.00
0.125	22.21	0.00
0.063	14.79	0.00

Yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton üretimlerinde kırma kum ve kırmataş I agregaları hacimsel olarak sırasıyla %50 ve %50 oranlarında kullanılmıştır. Mermer

kırığı ve bazalt agregaları, kırmataş I agregası ile hacimsel olarak %25, %50, %75 ve %100 oranlarında yer değiştirilerek mermer kırığı agregalı ve bazalt agregalı yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton serileri elde edilmiştir.



Şekil 3.4 Kullanılan tüm agregaların granülometri eğrileri.

### 3.1.6 Hiper Akışkanlaştırıcı

Yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton üretimlerinde hiper akışkanlaştırıcı (yüksek oranda su azaltıcı) beton katkısı olarak Basf Ace 450 kullanılmıştır. Hiperakışkanlaştırıcı beton katkısı polikarboksilik eter esaslıdır ve kendiliğinden yerleşen beton üretimlerinde kullanılan katkıının özellikleri Çizelge 3.9'da verilmiştir.

Çizelge 3.9 Hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin özellikleri.

Özellik	Değerler
Malzemenin yapısı	Polikarboksilik eter esaslı
Görünüm	Kahverengi- sıvı
Özgül ağırlık	1.069 – 1.109 kg/l, 20 °C'de
pH Değeri	5-7
Klor iyon içeriği (%)	En fazla %0.1
Alkali içeriği (%)	En fazla %3

### 3.2 Beton Karışım Oranları

Yapılan tez çalışmasındaki amaç atık bir malzeme olana mermer kırığı agregaları ve bazalt agregalarını kullanarak yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton üretmektir. Bu amaçla kontrol karışımlarında kullanılan kalker esaslı kırmataş I (4-11.2 mm) agregasının yerine hacimce %25, %50, %75 ve %100 oranlarında mermer ve bazalt agregaları kullanılarak, yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonlar üretilmiştir. Kırmataş I, mermer kırığı ve bazalt agregaları farklı özgül ağırlıklarda olduklarından dolayı, karışımlarda agregalar hacimce yer değiştirilmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde taze özelliklerin sağlanabilmesi için yüksek oranda toz malzemenin (400-600 kg/m<sup>3</sup>) kullanılması gerekmektedir. Yapılan bu tez çalışmasında toplam 500 kg/m<sup>3</sup> toz malzeme kullanılmıştır. Bu toz malzemenin 350 kg'ı çimento, 150 kg'ı ise silis dumanından oluşmaktadır.

**Çizelge 3.10** Kendiliğinden yerleşen beton karışım oranları, kg/ m<sup>3</sup>.

Karışım Kodu	Su	Çimento	Silis Dumanı	Kum	K.Taş I	Mermer Agregası	Bazalt Agregası	HA
Kontrol	175	350	150	824	837	-	-	4.50
M25	175	350	150	825	628	198	-	4.25
M50	175	350	150	825	419	396	-	4.25
M75	175	350	150	825	209	594	-	4.25
M100	175	350	150	824	-	791	-	4.40
B25	175	350	150	825	628	-	205	4.30
B50	175	350	150	824	419	-	410	4.50
B75	175	350	150	824	209	-	614	4.75
B100	175	350	150	824	-	-	818	5.00

Karışımlarda toplam toz malzeme miktarının %30'u oranında silis dumanı kullanılmıştır. Su/toz malzeme oranı 0.35 olarak seçilmiştir. Katkı miktarı, karışımlarda herhangi bir ayrışmaya neden olmadan kendiliğinden yerleşebilirliği sağlayacak şekilde kullanılmıştır. Sonuç olarak TS EN 206:2013+A1'de verilen sınır değerleri sağlayan karışımlar elde edilmiştir. Elde edilen karışım oranları Çizelge 3.10'da verilmiştir.

### 3.3 Üretilen Numune Tipleri, Kür Koşulu ve Süreleri

Karışım oranları belirlendikten sonra beton döküm işlemleri yapılmıştır. Üretilen numuneler 100x200 mm boyutlarındaki silindir, 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numunelerden oluşmaktadır. Üretilen beton numuneleri 24 saat boyunca laboratuvar ortamında kalıplarında bekletilmiş ve sonrasında kalıplarından çıkartılmıştır. Numunelere 28. ve 180. güne kadar  $20 \pm 2$  °C sıcaklığa sahip kirece doymuş su havuzlarında standart kür uygulanmış ve sonrasında ilgili deneyler yapılmıştır. Kalıplarda bekletilen ve kür yapılan numunelere ait görüntüler Resim 3.1’de verilmiştir.



Resim 3.1 Kalıplarda bekletilen ve kür yapılan numuneler.

### 3.4 Yapılan Deneyler

Yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonların; taze, fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerini belirlemek için birçok deney yapılmıştır. Yapılan deneyler ait bilgiler aşağıdaki başlıklarda anlatılmıştır.

#### 3.4.1 Yayılma Deneyi ve $t_{500}$ Süresi Ölçümü

Yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonların taze özelliklerini belirlemek için x ve y doğrultularındaki yayılma çapları ve 50 cm’lik çapa yayılma süreleri ölçülmüştür. Yayılma deneylerinde standart abrams hunisi kullanılmıştır. Abrams hunisinin doldurulmasında hiçbir şişleme ve sıkıştırma işlemi yapılmamıştır. Üretilen beton

huninin içerisine kendi kendine yerleşmiştir. Yayılma çaplarının ölçümü Resim 3.2’de gösterilmiştir.



**Resim 3.2** Yayılma çaplarının ölçümü.

### **3.4.2 V Hunisi Akış Süresi Ölçümü**

Yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonların taze özelliklerini belirlemek için yapılan bir diğer deney de V hunisi deneyidir. V hunisi deneyinin yapılışı Resim 3.3’te gösterilmiştir. V hunisi doldurulduktan sonra betonda herhangi bir sıkıştırma yapılmamıştır. Bu deney ile taze haldeki kendiliğinden yerleşen betonun, V şeklindeki huniden boşalma süresi ölçülmüştür.

### **3.4.3 L Kutusu Deneyi**

L kutusu deneyinin yapılışı Resim 3.3’te gösterilmiştir. L kutusunun alt kısmında bulunan açıklığa 12 mm çaplı 3 adet çelik yerleştirilmiştir. Deneyin başında açıklık kapalı durumda tutulmaktadır. L kutusu kendiliğinden yerleşen beton ile doldurulduktan sonra, kapak açılarak betonun akması sağlanmıştır. L kutusunun içinde kalan bölümü ve kutunun en ucundaki bölümünün yükseklikleri ölçülmüş ve  $h_2/h_1$  oranı belirlenmiştir.





**Resim 3.3** V hunisi ve L kutusu deneylerinin yapılışı.

#### **3.4.4 Birim Ağırlık ve Ultrases Geçiş Süresi Deneyi**

Basınç dayanımı deneyleri için üretilen bir kenarı 150 mm boyutunda olan küp numuneler üzerinde birim ağırlık ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Ultrases geçiş hızı ve birim ağırlık deneyleri yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonların üzerinde, 28 ve 180 günlük standart kürün sonrasında yapılmıştır.

#### **3.4.5 Basınç Dayanımı Deneyi**

Basınç dayanımı deneyleri bir kenarı 150 mm boyutunda olan küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Üretilen yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton serileri üzerinde 28 ve 180 günlük standart kürün sonrasında basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

#### **3.4.6 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi**

Yarmada-çekme dayanımı deneyleri 100x200 mm boyutlarındaki silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Üretilen yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton serileri üzerinde 28 ve 180 günlük standart kürün sonrasında yarmada-çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır.



**Çizelge 3.11** ASTM C 1202 sınır değerleri.

YÜK (COULUMB)	GEÇİRGENLİK SINIFI
>4000	Yüksek
4000-2000	Orta
2000-1000	Düşük
1000-100	Çok düşük
<100	İhmal edilebilir

### 3.4.8 Elektriksel Özdirenç Deneyi

Elektriksel özdirenç deneyleri 100x200 mm boyutlarındaki silindirik numuneler üzerinde yapılmıştır. Elektriksel özdirenç ölçümlerinden önce numuneler suya doygun hale getirilmiştir. Üretilen yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton serileri üzerinde 28 ve 180 günlük standart kürün sonrasında elektriksel özdirenç ölçümleri yapılmıştır. Elektriksel özdirenç ile korozyon olasılığı arasındaki ilişkiler değerlendirilirken Çizelge 3.12'den yararlanılmıştır. Elektriksel özdirenç ölçümü Resim 3.5'te gösterilmiştir.



**Resim 3.5** Elektriksel özdirenç ölçümü.

**Çizelge 3.12** Elektriksel özdirenç ile korozyon olasılığı arasındaki ilişki.

Elektriksel Özdirenç (k $\Omega$ .cm)	Korozyon Olasılığı
<5	Çok Yüksek
5-10	Yüksek
10-20	Düşük
>20	Önemsiz

### 3.4.9 Görünen Porozite, Su Emme ve Kılcal Su Emme Deneyi

Kılcallık katsayısını, ağırlıkça su emme yüzdesini ve görünen porozite yüzdesini hesaplamak için 100x200 mm boyutlarındaki silindir numuneler üzerinde ilgili deneyler yapılmıştır. Görünen porozite deneylerinde kullanılan Arşimet terazisine ait görüntüler Resim 3.6’da verilmiştir. Üretilen beton serileri üzerinde 28 ve 180 günlük standart kürün sonrasında görünen porozite, su emme ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır.



**Resim 3.6** Arşimet terazisinin görünümü.

Betonların ağırlıkça su emme ve görünen porozite değerleri sırasıyla Denklem (3.1) ve Denklem (3.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$S_a = \frac{W_3 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (3.1)$$

$$P = \frac{(W_3 - W_1)}{(W_3 - W_2)} \times 100 \quad (3.2)$$

Denklemlerdeki  $W_1$ : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (gr),  $W_2$ : Numunenin su içindeki asılı ağırlığı (gr),  $W_3$ : Numunenin havadaki ağırlığı (gr),  $S_a$ : Ağırlıkça emilen su emme miktarı (%) ve  $P$ : Porozite (%) değerlerini göstermektedir.

Kılcal su emme deneylerinden önce numuneler 24 saat etüvde kurutulmuş ve sonrasında kılcallık deneyleri yapılmıştır. Kılcallık katsayısı ( $k$ ) değerleri Denklem (3.3) ve Denklem (3.4) yardımı ile hesaplanmıştır.

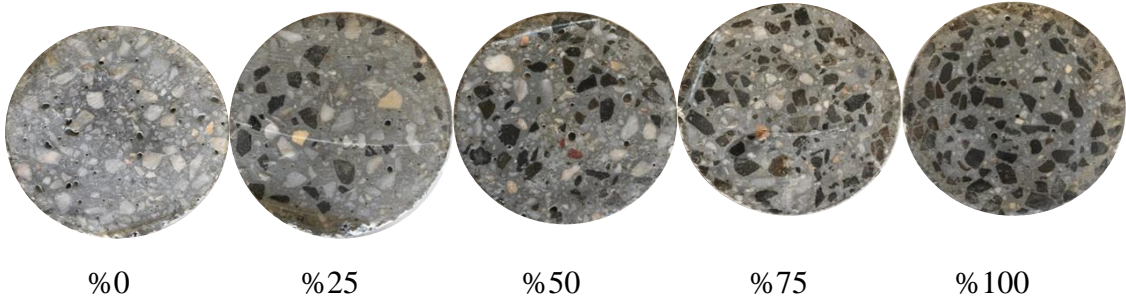
$$q^2 = k.t \quad (3.3)$$

$$q^2 = (Q/A)^2 \quad (3.4)$$

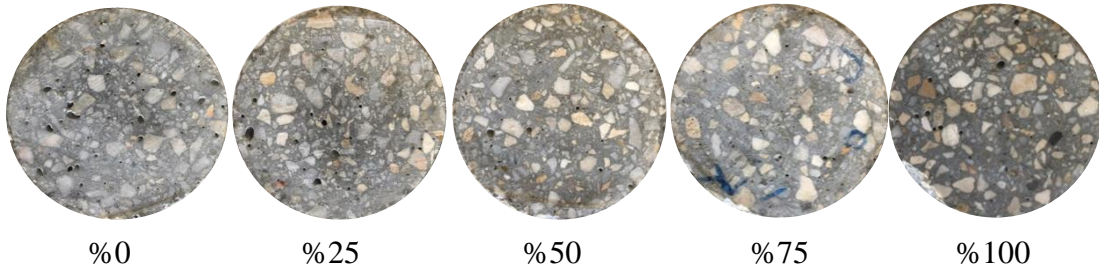
Denklemlerdeki  $Q$ : Numunenin emdiği su (gr),  $A$ : su emdirilen yüzeyin alanını ( $\text{cm}^2$ ),  $q$  ise birim alandan emilen su miktarıdır ( $\text{gr}/\text{cm}^2$ ).

#### 4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

M25, M50, M75 ve M100 indisleri beton serilerinin hacimce %25, %50, %75 ve %100 mermer kırığı agregası içerdiğini göstermektedir. B25, B50, B75 ve B100 indisleri beton serilerinin hacimce %25, %50, %75 ve %100 bazalt agregası içerdiğini göstermektedir. Bazalt ve mermer kırığı agregalı KYB numunelerinin kesit görünüşleri Resim 4.1 ve 4.2’de sunulmuştur.



**Resim 4.1** Bazalt agregalı KYB numunelerinin kesit görünüşleri.



**Resim 4.2** Mermer kırığı agregalı KYB numunelerinin kesit görünüşleri.

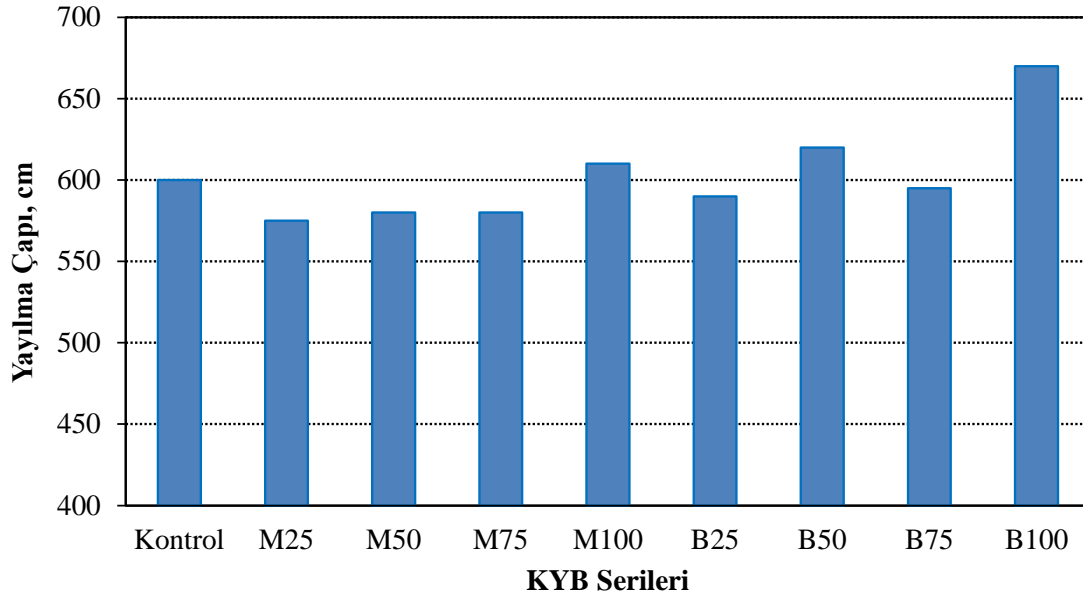
#### 4.1 Yayılma Deneyi ve $t_{500}$ Süresi Ölçümü Sonuçları

Üretilen kendiliğinden yerleşen betonların taze özellikleri Çizelge 4.1’de verilen sınırlara göre değerlendirilmiş ve hangi sınıfa ait olduğu belirlenmiştir.

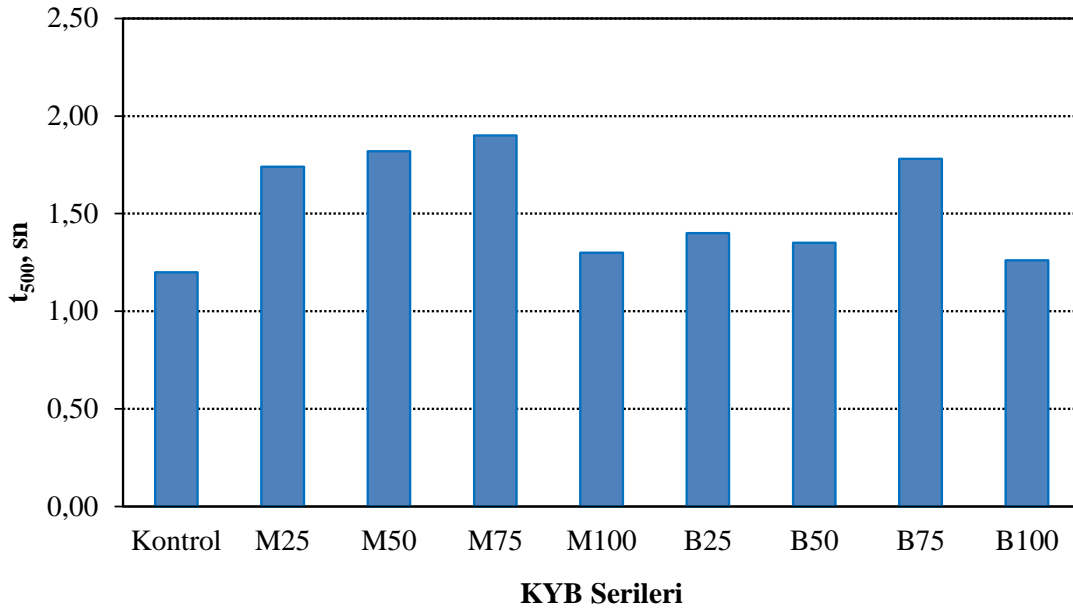
**Çizelge 4.1** Çökme yayılma, V hunisi ve L kutusu için TS EN 206:2013+A1 sınır değerleri.

Özellikler	Deney Adı	Birim	Sınıflandırma	Değer Aralığı
Akıcılık/ Doldurma Yeteneği	Çökme Yayılma	mm	SF1	550-650
			SF2	660-750
			SF3	760-850
Viskozite / Akıcılık	t <sub>500</sub> süresi	sn	VS1	<2
			VS2	≥2
	V hunisi	sn	VF1	<9
			VF2	9-25
Geçme Yeteneği	L kutusu	mm	PL1	≥0.80 (2 donatılı)
			PL2	≥0.80 (3 donatılı)

Yayılma çaplarının KYB serilerine göre değişimi Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.1 incelendiğinde yayılma çapı sonuçları 575 ile 670 cm arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek yayılma çapı sonucu bazalt agreganın %100 oranında kullanıldığı serilerden elde edilmiştir. Beton serileri incelendiğinde B100 serileri dışındaki tüm serilerin 550-650 arasında olduğu yani SF1 sınıfında oldukları sonucuna varılmıştır.



**Şekil 4.1** Yayılma çaplarının KYB serilerine göre değişimi.



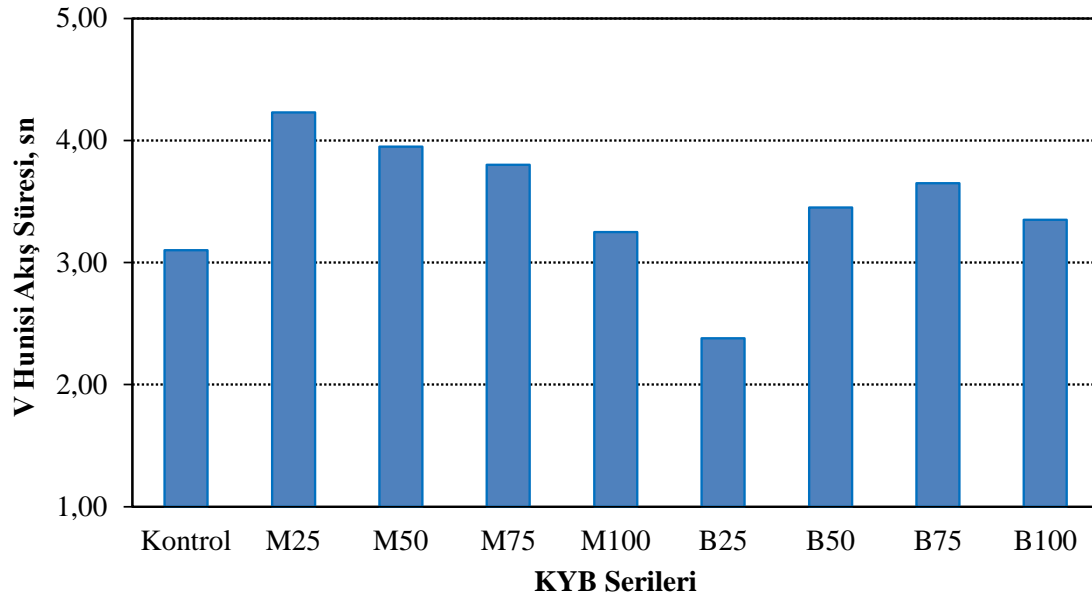
**Şekil 4.2** t<sub>500</sub> süresi sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi.

Üretilen kendiliğinden yerleşen betonların t<sub>500</sub> süresi sonuçlarının beton serilerine göre değişimi Şekil 4.2’de verilmiştir. Tüm seriler 2 saniyenin altında 500 mm çapa ulaşmışlardır. Bu yüzden tüm kendiliğinden yerleşen beton serileri VS1 sınıfındadır. Değerler 1.20 ile 1.90 sn arasında değişmektedir. Yayılma çaplarının az olduğu serilerden daha yüksek t<sub>500</sub> süreleri elde edilmiştir. Mermer ve bazalt agregalı seriler karşılaştırıldığında, genel olarak mermer agregalı serilerden daha yüksek t<sub>500</sub> süresi elde edilmiştir.

#### **4.2 V Hunisi Akış Süresi Ölçümü Sonuçları**

V hunisi akış sürelerinin kendiliğinden yerleşen beton serilerine göre değişimi Şekil 4.3’te verilmiştir. Tüm serilerden elde edilen V hunisi akış süreleri 9 saniyenin altında kalmıştır. Üretilen tüm kendiliğinden yerleşen beton serilerinin VF1 sınıfında oldukları sonucuna varılmıştır. V hunisi akış süresi değerleri 2.38 ile 4.23 sn değerleri arasında değişmiştir. Genel olarak 500 mm çapa yayılma süresi yüksek olan serilerin V hunisi akış süreleri de yüksek olmuştur. 500 mm çapa yayılma sürelerinde olduğu gibi, mermer agregalı serilerde daha uzun V hunisi akış süreleri elde edilmiştir.

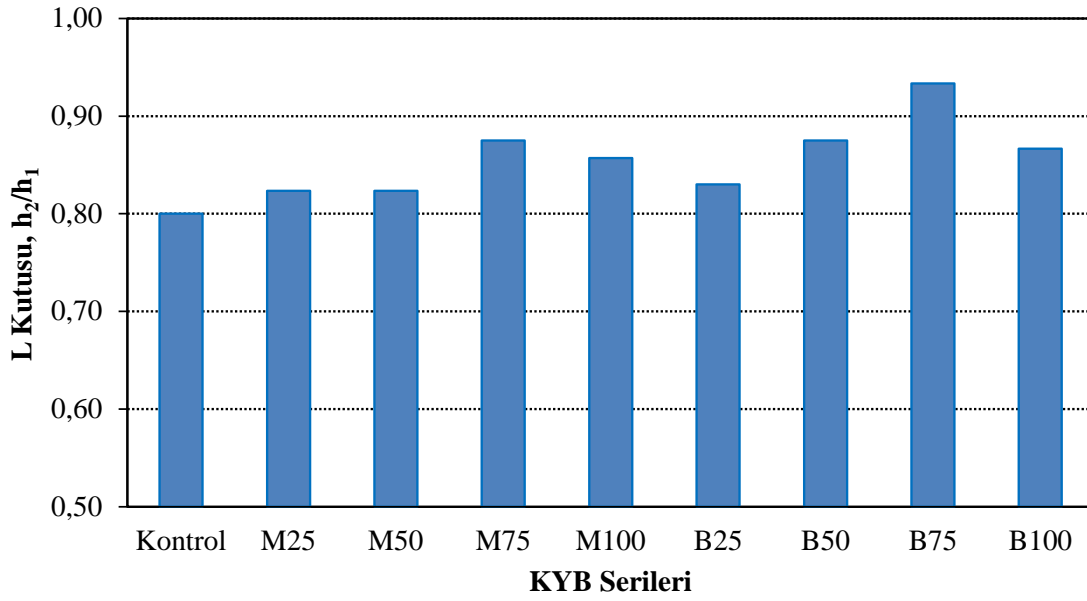




Şekil 4.3 V hunisi akış süresi sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi.

#### 4.3 L Kutusu Deneyi Sonuçları

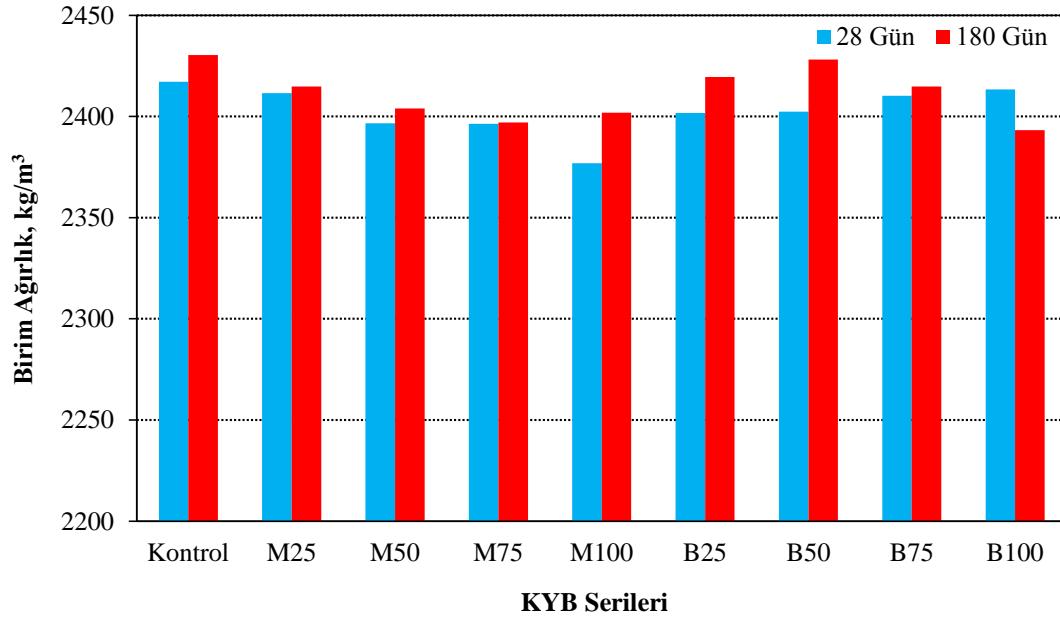
L kutusu deney sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi Şekil 4.4'te verilmiştir. Üretilen mermer kırığı ve bazalt agregalı tüm kendiliğinden yerleşen betonların  $h_2/h_1$  oranlarının 0.80 değerinin üzerinde olduğu görülmüştür. Tüm serilerin PL2 sınıfında oldukları sonucuna varılmıştır. L kutusu deney sonuçları 0.80 ile 0.93 değerleri arasında değişmiştir. Mermer kırığı ve bazalt agregalı seriler karşılaştırıldığında bazalt agregalı serilerden daha yüksek  $h_2/h_1$  oranları elde edilmiştir.



Şekil 4.4 L kutusu deney sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi.

#### 4.4 Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

Birim ağırlık sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi Şekil 4.5'te verilmiştir. Şekil 4.5 incelendiğinde mermer kırığı agregasının kullanım oranlarının artması ile birlikte kontrol serilerine göre birim ağırlık değerlerinin düştüğü sonucuna varılmıştır. Kür süresinin 28 gün olduğu mermer kırığı agregalı serilerde %100 oranında mermer kırığı agregasının kullanılması ile birlikte kontrol serilerine göre birim ağırlık değerlerinin %1.66 oranında azaldığı sonucuna varılmıştır. Kür süresinin 180 gün olduğu mermer kırığı agregalı serilerde ise azalış oranı %1.17 olarak bulunmuştur. Bu durum mermer kırığı agregasının özgül ağırlık değerlerinin kırmataş agregasının özgül ağırlık değerlerinden daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bazalt agregalı KYB'lerin birim ağırlıklarında kontrol serilerine göre çok fazla değişiklik olmadığı sonucuna varılmıştır. Mermer ve bazalt kırığı agregalı KYB serilerinden elde edilen birim ağırlık değerlerinin 2377 ile 2430  $kg/m^3$  değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Kür sürelerinin artması ile genel olarak tüm serilerde birlikte birim ağırlık değerlerinin arttığı sonucuna varılmıştır. Kür sürelerinin artması ile hidrasyon reaksiyonları devam etmiş ve bunun sonucunda betonlar daha boşluksuz hale gelmiş ve birim ağırlık değerleri artmıştır.

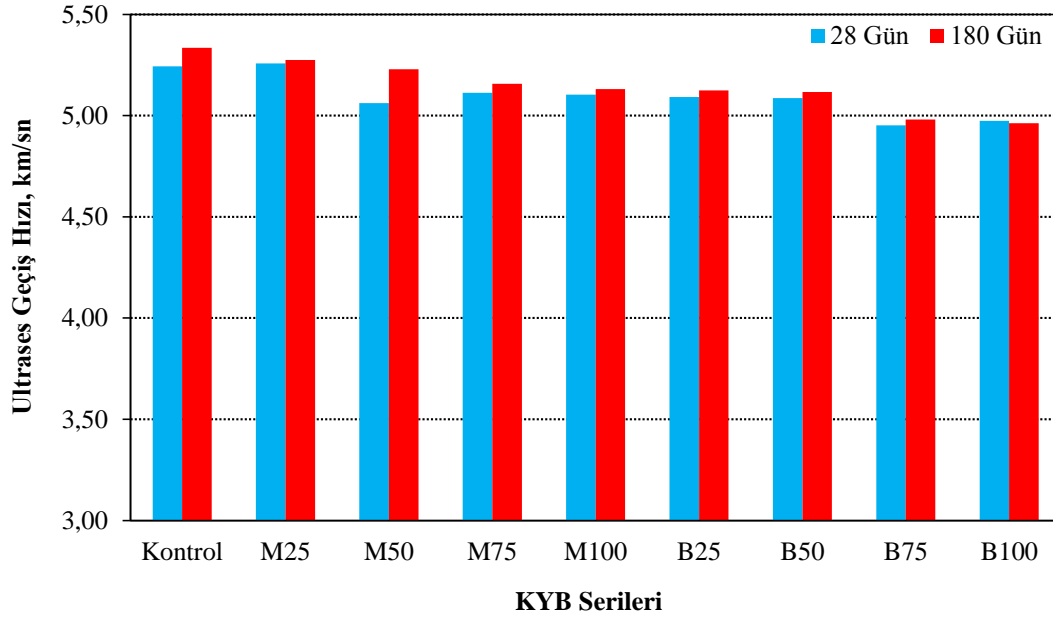


Şekil 4.5 Birim ağırlık sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi.

#### 4.5 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları

Ultrases geçiş hızı sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.6 genel olarak incelendiğinde kırmataş agregasının yerine kullanılan mermer kırığı ve bazalt agregasının kullanım oranlarının artması ile birlikte ultrases geçiş hızı değerlerinin düştüğü sonucuna varılmıştır. Mermer kırığı agregasının %100 oranında kullanıldığı 28 günlük serilerin ultrases geçiş hızı değerleri, kontrol serilerine göre %2.67 oranında azalmıştır. Kür süresinin 180 gün olması durumunda ise azalış oranının %3.81 olduğu görülmüştür. Bazalt agregası ile üretilen KYB serileri incelendiğinde ise bazalt agregasının %100 oranında kullanıldığı 28 günlük serilerin ultrases geçiş hızı değerleri, kontrol serilerine göre %5.15 oranında azalmıştır. Kür süresinin 180 gün olması durumunda ise azalış oranı %6.98 olarak elde edilmiştir. Bazalt ve mermer kırığı agregasının özgül ağırlık değerlerinin kırmataş agregasının özgül ağırlık değerinden daha düşük olmasından ve su emme değerlerinin de kırmataş agregalarından daha yüksek olmasından dolayı bu agregaların daha boşluklu bir yapıya sahip oldukları değerlendirilmektedir. Bu sebeplerden dolayı mermer kırığı ve bazalt agregası ile üretilen KYB serilerinden daha düşük ultrases geçiş hızı değerleri elde edilmiştir.

Mermer kırığı ve bazalt agregalı tüm KYB serilerinden elde edilen ultrases geçiş hızı değerlerinin 4.95 km/sn ile 5.33 km/sn değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Kür sürelerinin artması ile birlikte ultrases geçiş hızı değerlerinin de arttığı yani KYB serilerinin daha boşluksuz hale geldikleri anlaşılmıştır.

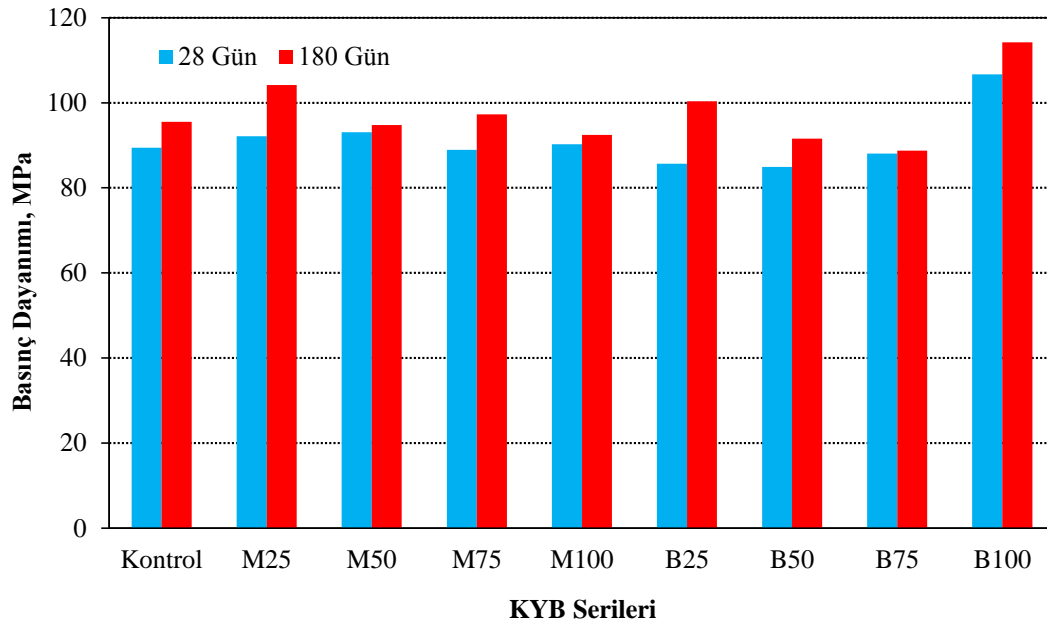


Şekil 4.6 Ultrases geçiş hızı sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi.

#### 4.6 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Basınç dayanımı sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi Şekil 4.7’de verilmiştir. Mermer kırığı ve bazalt agregalı tüm serilerden elde edilen basınç dayanımı sonuçları 85 ile 114 MPa değerleri arasında değiştiği sonucuna varılmıştır. En düşük basınç dayanımı değerleri 28 gün boyunca kür uygulanan B50 serilerinden elde edilirken en yüksek basınç dayanımı değerleri 180 gün boyunca kür uygulanan B100 serilerinden elde edilmiştir. Bazalt agregasının %100 oranında kullanıldığı serilerin dışındaki tüm serilerden birbirine oldukça yakın basınç dayanımı sonuçları elde edilmiştir. Kür süresi 28 gün olan mermer kırığı agregalı KYB serilerinden ortalama 90.76 MPa değerinde basınç dayanımı değerleri elde edilirken, 180 günlük küre uğrayan serilerden ortalama 96.85 MPa’lık basınç dayanımı sonuçları elde edilmiştir. Bazalt agregalı serilerin ortalama basınç dayanımları ise 28 ve 180 günlük kür sürelerine göre sırasıyla 90.96 ve

98.08 MPa olarak bulunmuştur. Tüm serilerde kür sürelerinin artışı ile birlikte basınç dayanımı değerleri artmıştır. Kür sürelerinin artışı ile birlikte basınç dayanımlarındaki en yüksek artış oranları mermer kırığı ve bazalt agregalarının %25 oranında kullanıldığı M25 ve B25 serilerinden elde edilmiştir. Artış oranları sırasıyla %13.08 ve %17.15 olarak bulunmuştur. Kür sürelerinin artması ile hidrasyon reaksiyonları devam etmiş ve ilave CSH jelleri oluşarak betonların basınç dayanımlarını arttırmıştır.

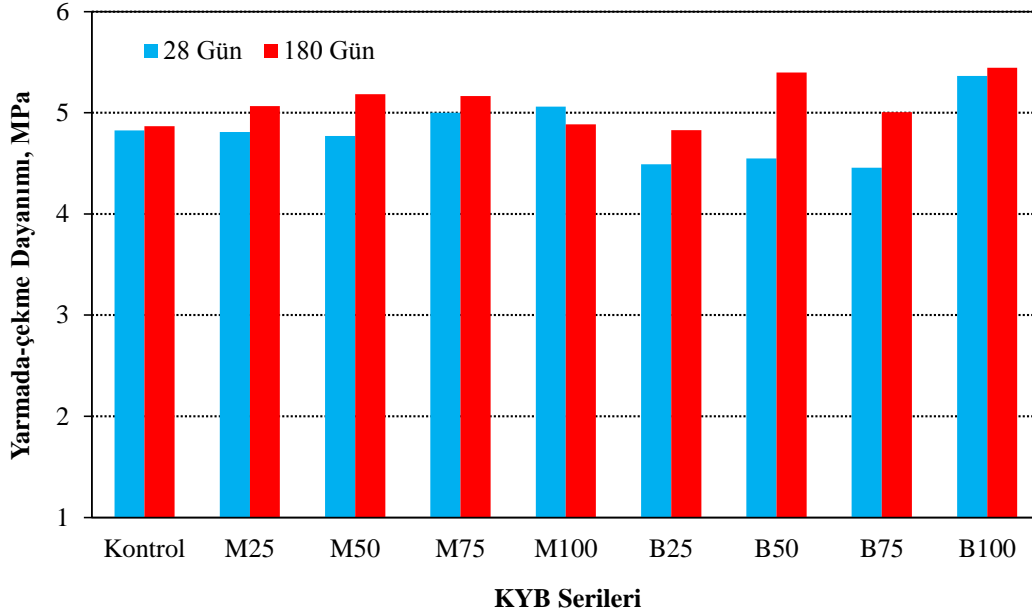


Şekil 4.7 Basınç dayanımı sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi.

#### 4.7 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları

KYB serilerinden elde edilen yarmada-çekme dayanımı sonuçları Şekil 4.8’de verilmiştir. Mermer kırığı ve bazalt agregalı tüm KYB serilerinden elde edilen yarmada-çekme dayanımı sonuçları 4.46 MPa ile 5.45 MPa değerleri arasında değişmiştir. Basınç dayanımlarına benzer şekilde kür sürelerinin artması ile birlikte genel olarak yarmada-çekme dayanımlarında artışların olduğu görülmüştür. En yüksek artış oranı %18.63 değeri ile bazalt agregasının %50 oranında kullanıldığı M50 serilerinden elde edilmiştir. Kür süresinin 28 gün olduğu mermer agregalı seriler ile bazalt agregalı seriler karşılaştırıldığında genel olarak bazalt agregalı serilerden daha düşük yarmada-çekme dayanımları elde edilmiştir. Ancak bazalt agregaların %100 oranında kullanıldığı B100

serilerinden, mermer agregalı M100 serilerine göre daha yüksek yarmada-çekme dayanımları elde edilmiştir. Kür sürelerinin artması ile birlikte mermer kırığı ve bazalt agregası içeren tüm KYB serilerinden birbirine oldukça yakın sonuçlar bulunmuştur. En yüksek yarmada-çekme dayanımı değeri 5.45 MPa ile bazalt agregasının %100 oranında kullanıldığı ve 180 gün boyunca küre uğratılan B100 serilerinden elde edilmiştir.

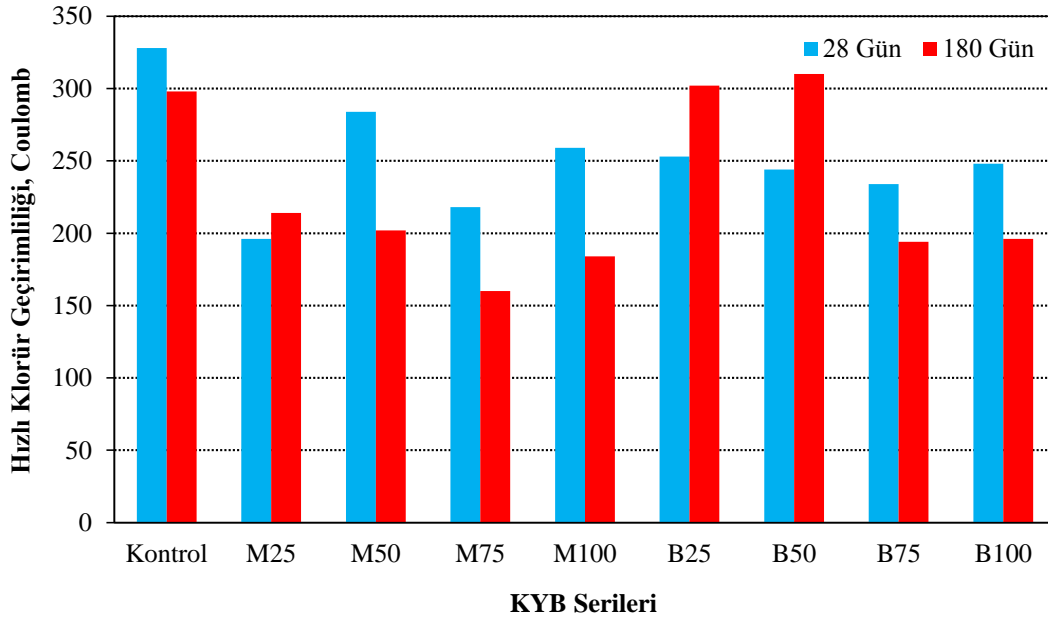


Şekil 4.8 Yarmada-çekme dayanımı sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi.

#### 4.8 Hızlı Klorür Geçirimsizliği Deneyi Sonuçları

Hızlı klorür geçirimsizliği sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi Şekil 4.9’da verilmiştir. Mermer kırığı ve bazalt agregası içeren tüm KYB serilerinden elde edilen hızlı klorür geçirimsizliği sonuçlarının 160 ile 328 coulomb değerleri arasında değiştiği sonucuna varılmıştır. Çizelge 3.11’de verilen ASTM C 1202 (1997) sınır değerleri incelendiğinde deney numunelerinden elde edilen hızlı klorür geçirimsizliği sonuçlarının çok düşük seviyede klorür geçirimsizliklerine sahip oldukları sonucuna varılmıştır. Bu sonuçların KYB üretimlerinde yüksek oranlarda silis dumanı kullanımından kaynaklandığı düşünülmektedir. Silis dumanının kullanılması ile üretilen betonlar daha geçirimsiz olarak üretilmiş ve klorür geçirimsizliği değerleri azalmıştır. Bu sonuçlardan üretilen beton serilerinin klorür bulunan ortamlarda kullanılması durumunda korozyona

karşı oldukça dayanıklı olacakları görülmüştür. Kür süresinin 28 gün olduğu mermer kırığı agregalı serilerden elde edilen klorür geçirimsizliklerinin ortalaması 257 Coulomb olarak elde edilirken 180 günlük serilerin ortalaması 211.6 Coulomb olarak elde edilmiştir. Bazalt agregalı serilerde 28 gün boyunca kür uygulanması durumunda klorür geçirimsizliklerinin ortalaması 261.4 Coulomb olarak elde edilirken, 180 gün boyunca kür uygulanması durumunda klorür geçirimsizliklerinin ortalaması 260 Coulomb olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan da görüldüğü üzere mermer kırığı agregalı serilerden daha düşük klorür geçirimsizliği değerleri elde edilmiştir. KYB serileri genel olarak incelendiğinde kür sürelerinin artması ile birlikte çoğu seride klorür geçirimsizliklerinin azaldığı sonucuna varılmıştır.

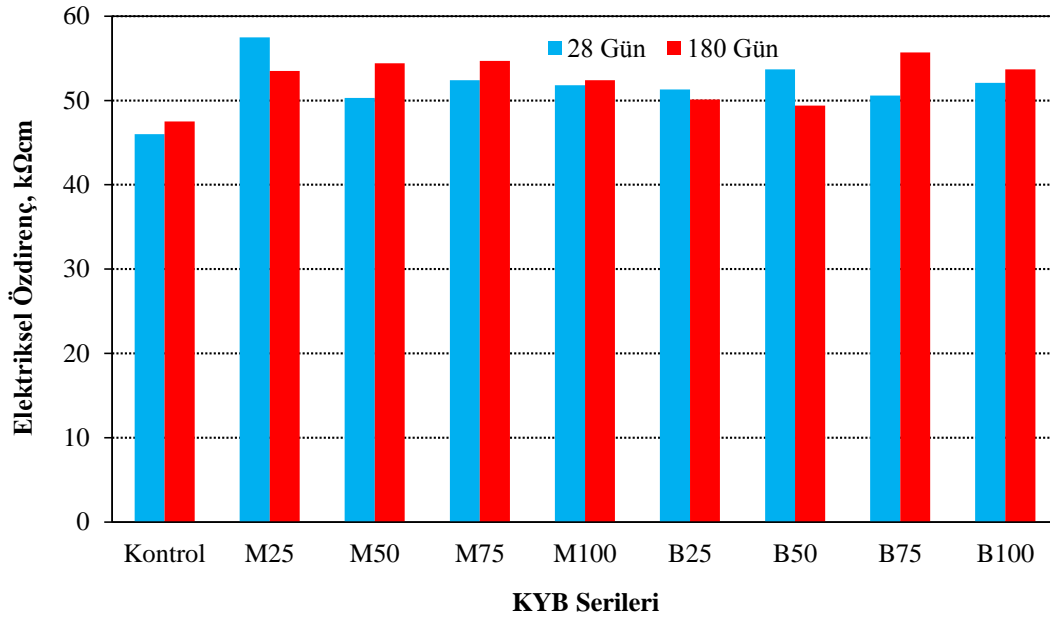


Şekil 4.9 Hızlı klorür geçirimsizliği sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi.

#### 4.9 Elektriksel Özdirenç Deneyi Sonuçları

KYB serilerinden elde edilen elektriksel özdirenç sonuçları Şekil 4.10'da verilmiştir. Mermer kırığı ve bazalt agregalı KYB serilerinden elde edilen elektriksel özdirenç sonuçları incelendiğinde elde edilen değerlerin 46 kΩcm ile 57.5 kΩcm değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Elektriksel özdirenç değerlerinin, 20 kΩcm'den büyük olduğu için üretilen KYB serilerinin korozyona karşı oldukça dayanıklı oldukları

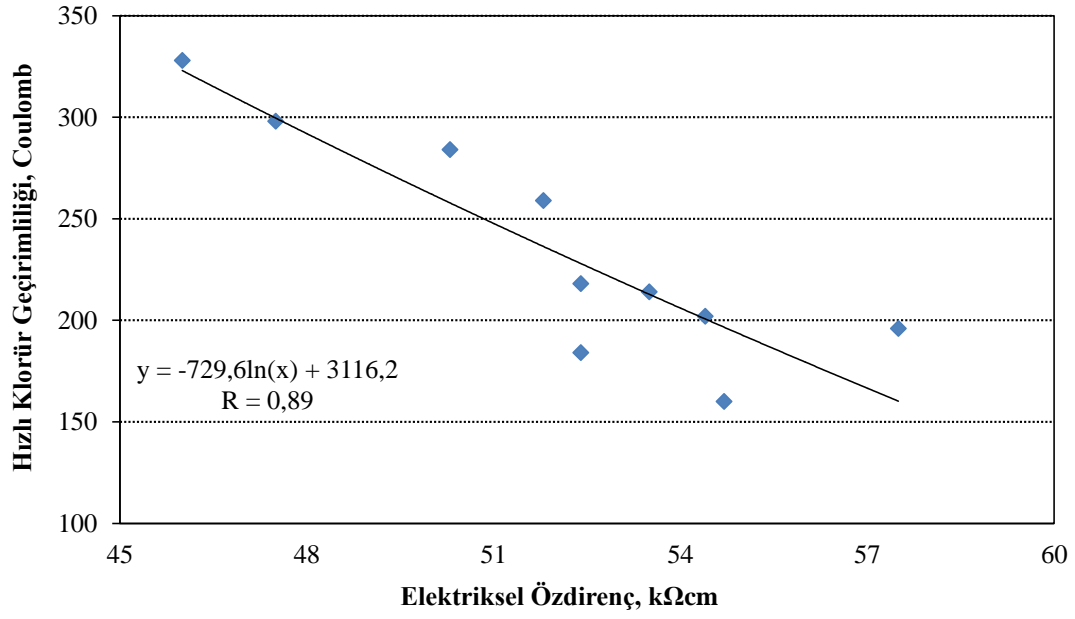
sonucuna varılmıştır. Kür süresinin 28 gün olduğu mermer kırığı agregalı serilerden elde edilen elektriksel özdirenç değerlerinin ortalaması 51.6 kΩcm olarak elde edilirken 180 günlük serilerin ortalaması 52.5 kΩcm olarak elde edilmiştir. Bazalt agregalı serilerde 28 gün boyunca kür uygulanması durumunda elektriksel özdirenç değerlerinin ortalaması 50.74 kΩcm olarak elde edilirken, 180 gün boyunca kür uygulanması durumunda elektriksel özdirenç değerlerinin ortalaması 51.28 kΩcm olarak elde edilmiştir. Mermer ve bazalt agregalı seriler karşılaştırıldığında çok az oranlarda da olsa mermer kırığı agregalı serilerden daha yüksek elektriksel özdirenç değerleri elde edilmiştir. Genel olarak kür sürelerinin artması ile birlikte elektriksel özdirenç değerlerinin arttığı görülmüştür. KYB serilerinde silis dumanı katkısının kullanılması ile betonlar oldukça boşluksuz hale gelerek elektriksel iletkenlik özellikleri azalmış ve betonların elektriksel özdirenç değerleri artmıştır.



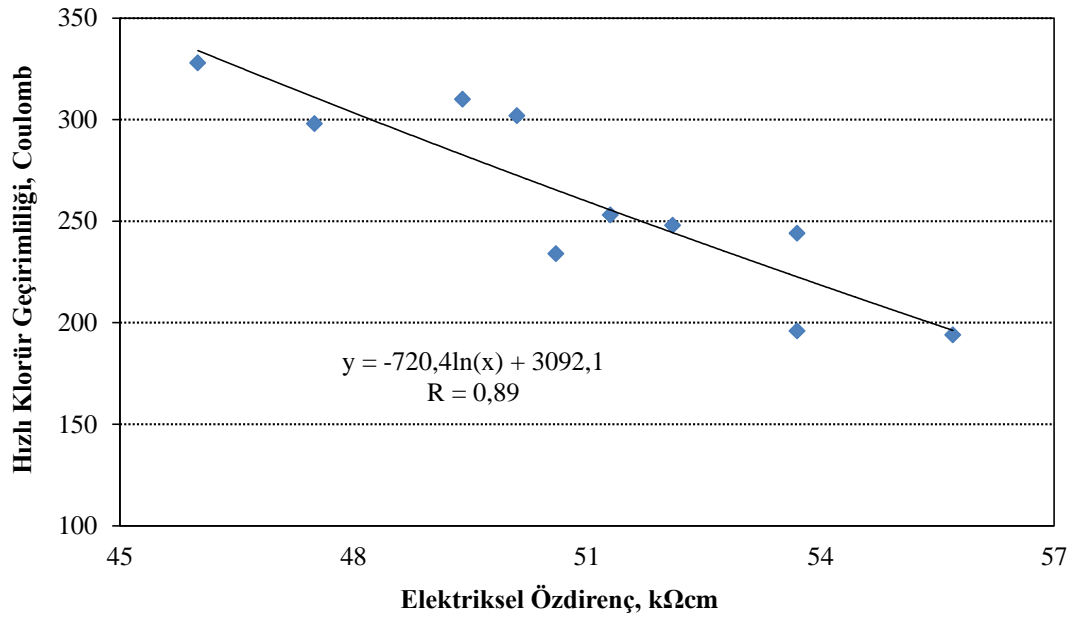
**Şekil 4.10** Elektriksel özdirenç sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi.

Mermer agregası ile üretilen serilerde elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirimsizliği sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.11’de verilmiştir. Şekil 4.11 incelendiğinde elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirimsizliği sonuçları arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 4.11’den görüldüğü üzere elektriksel özdirenç sonuçlarının artması ile birlikte hızlı klorür geçirimsizliği sonuçlarının azaldığı sonucuna varılmıştır.





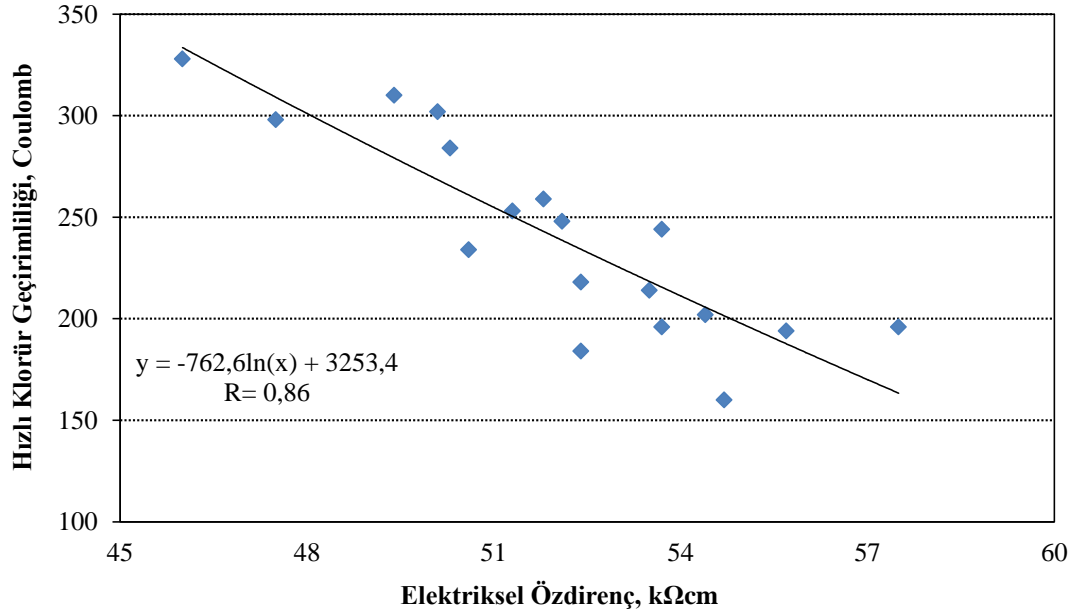
Şekil 4.11 Mermer agregası ile üretilen serilerde elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirirliği sonuçları arasındaki ilişki.



Şekil 4.12 Bazalt agregası ile üretilen serilerde elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirirliği sonuçları arasındaki ilişki.

Bazalt agregası ile üretilen serilerde elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirirliği sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.12’de verilmiştir. Bazalt agregalı serilerde elektriksel

özdirenç değerlerinin artışı ile birlikte klorür geçirimliliği değerlerinin azaldığı Şekil 4.12'den görülmektedir. Mermer agregalı serilerde olduğu gibi bazalt agregalı serilerde de elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirimliliği sonuçları arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğu sonucuna varılmıştır.



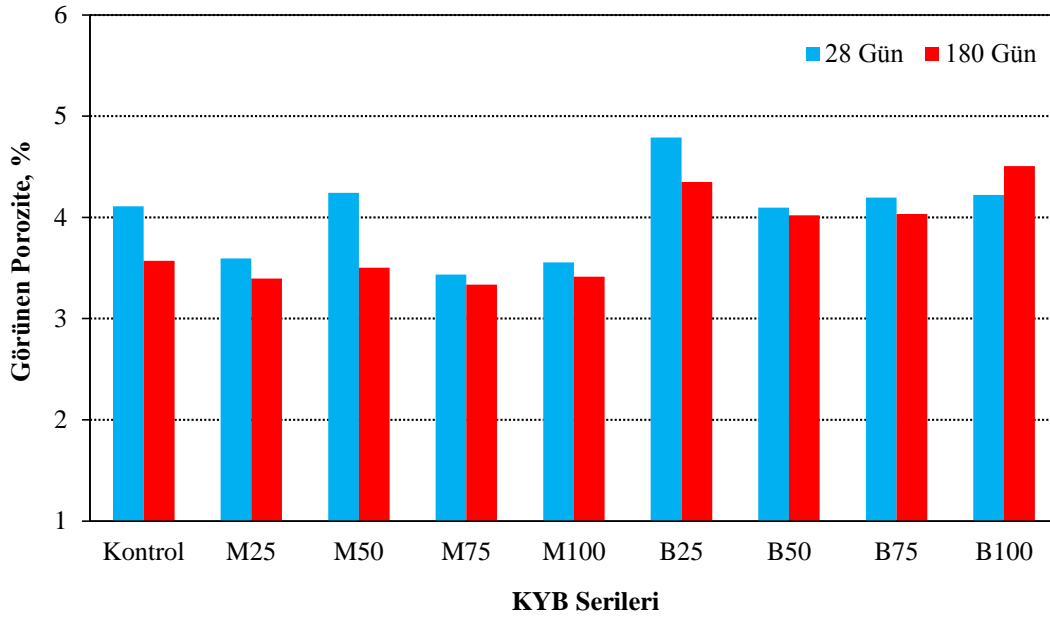
**Şekil 4.13** Tüm serilerden elde edilen elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirimliliği sonuçları arasındaki ilişki.

Mermer ve bazalt agregalarının kullanıldığı tüm beton serileri kullanılarak Şekil 4.13 oluşturulmuştur. Tüm serilerden elde edilen elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirimliliği sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.13'de verilmiştir. Şekil 4.13 incelendiğinde mermer ve bazalt agregalı serilerde olduğu gibi tüm serilerden de kuvvetli bir ilişki elde edilmiştir.

#### 4.10 Görünen Porozite Deneyi Sonuçları

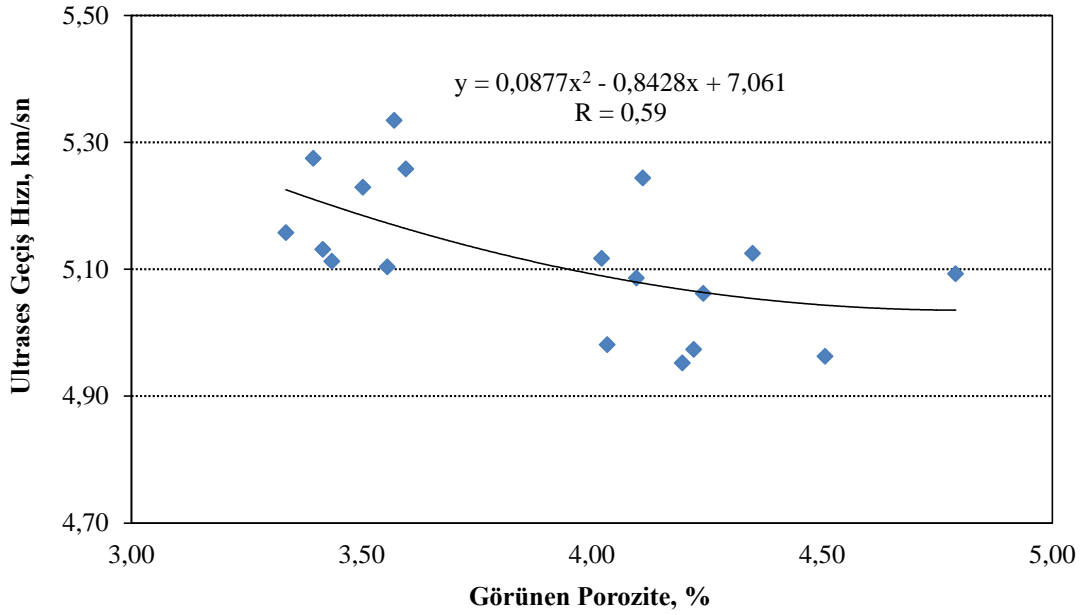
Görünen porozite değerlerinin KYB serilerine göre değişimi Şekil 4.14'de verilmiştir. Genel olarak kür sürelerinin artışı ile birlikte görünen porozite değerleri azalmıştır. Mermer kırığı ve bazalt agregalı tüm KYB serilerinden elde edilen görünen porozite değerlerinin %3.34 ile %4.79 arasında değiştiği görülmüştür. Şekil 4.14 genel olarak incelendiğinde mermer kırığı agregalı serilerden bazalt agregalı serilere göre daha

düşük görünen porozite değerleri elde edilmiştir. Bazalt agregasının su emme değerleri incelendiğinde de mermer kırığı agregasına göre daha yüksek oranlarda su emme yüzdesine sahip oldukları görülmüştür. Bazalt agregasının daha boşluklu bir yapıya sahip olduğu değerlendirilmektedir. Bu yüzden bazalt agregalı serilerden mermer agregalı serilere göre daha yüksek görünen porozite değerleri elde edilmiştir. Bazalt agregası volkanik bir kayaç türü olmasından dolayı boşluklu bir yapıya sahiptir ancak boşluklu olmasına rağmen oldukça sert ve mekanik özelliği yüksek bir agregata cinsidir. Akman Pek (2014) yaptığı çalışmada, bazalt agregasının basınç dayanımının kalker agregasına göre %50 daha fazla olduğunu ve ayrıca su emme ve porozite değerlerinin de kalker esaslı agregalardan daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Bu sebeplerden dolayı görünen porozite değerlerinin yüksek olmasına rağmen bazalt agregası ile üretilen KYB serilerinden, önceki bölümlerde gösterildiği gibi oldukça yüksek mekanik dayanım sonuçları elde edilmiştir.



**Şekil 4.14** Görünen porozite değerlerinin KYB serilerine göre değişimi.

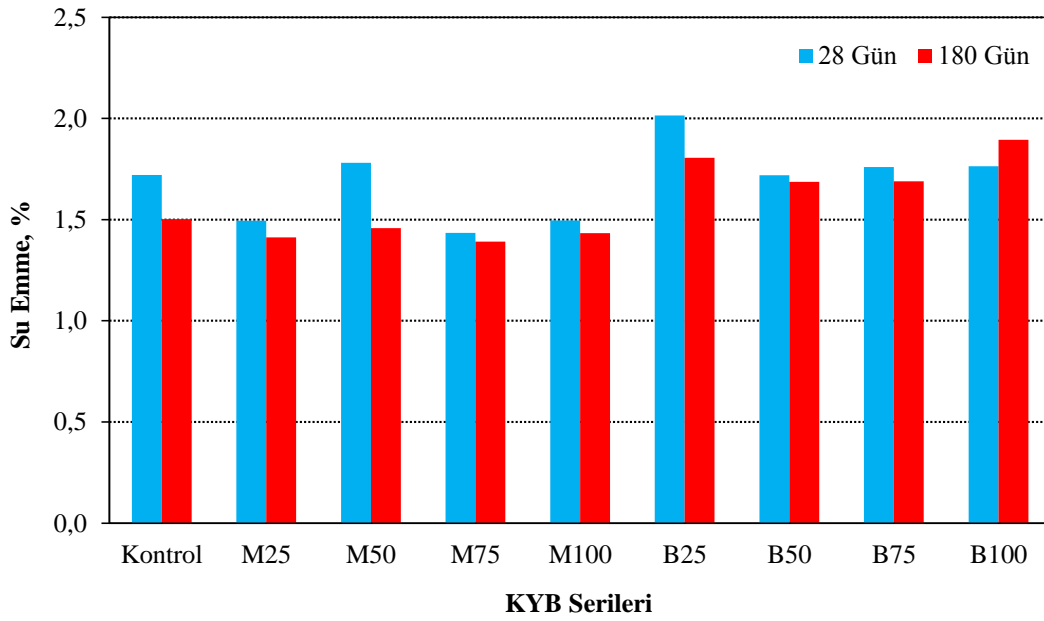
Görünen porozite ile ultrases geçiş hızı sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekil 4.15 incelendiğinde görünen porozite değerlerinin artması ile birlikte ultrases geçiş hızı değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Korelasyon katsayısı değerlerinden de anlaşıldığı üzere ultrases geçiş hızı ile görünen porozite değerleri arasında iyi bir ilişkinin olduğu görülmüştür.



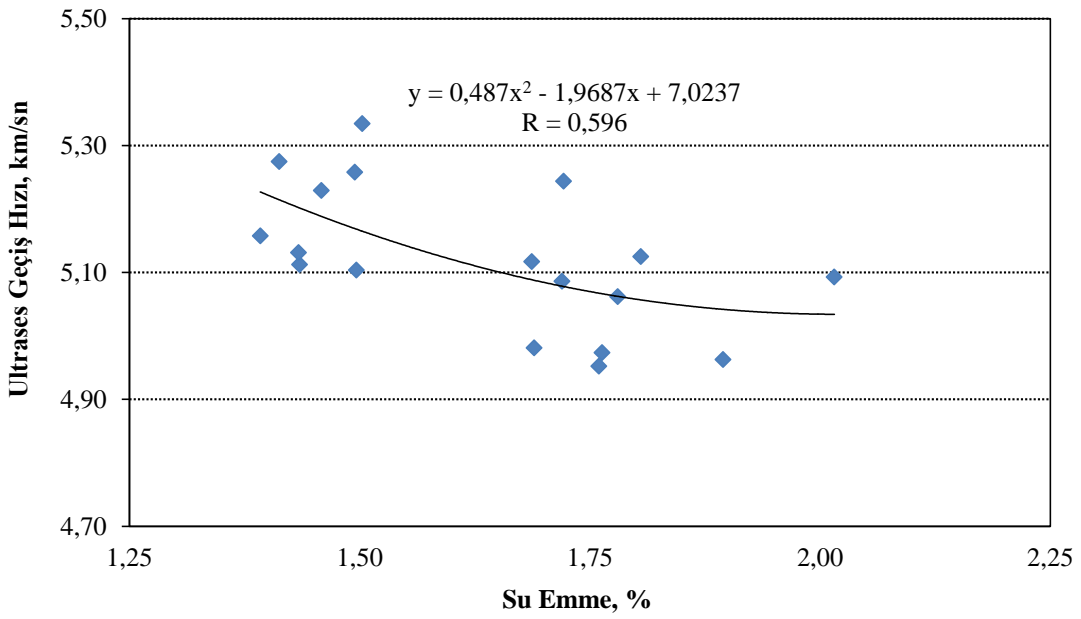
**Şekil 4.15** Tüm serilerden elde edilen görünen porozite ile ultrases geçiş hızı sonuçları arasındaki ilişki.

#### 4.11 Su Emme Deneyi Sonuçları

Su emme deneyi sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi Şekil 4.16'da verilmiştir. Su emme deneyi sonuçları incelendiğinde görünen porozite sonuçlarına benzer değişimler elde edilmiştir. Bazalt agregalı serilerden daha yüksek su emme değerleri elde edilmiştir. Mermer kırığı ve bazalt agregalı tüm KYB serilerinden elde edilen su emme değerleri %1.39 ile %2.02 değerleri arasında değişmiştir. Kür sürelerinin artması ile birlikte genel olarak su emme değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bu sonuçlardan kür sürelerinin artması ile KYB serilerinin daha boşluksuz bir hale dönüştükleri anlaşılmıştır. Su emme ile ultrases geçiş hızı sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.17'de verilmiştir. Şekil 4.17 incelendiğinde su emme değerlerinin artması ile birlikte ultrases geçiş hızı değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.16 Su emme deneyi sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi.



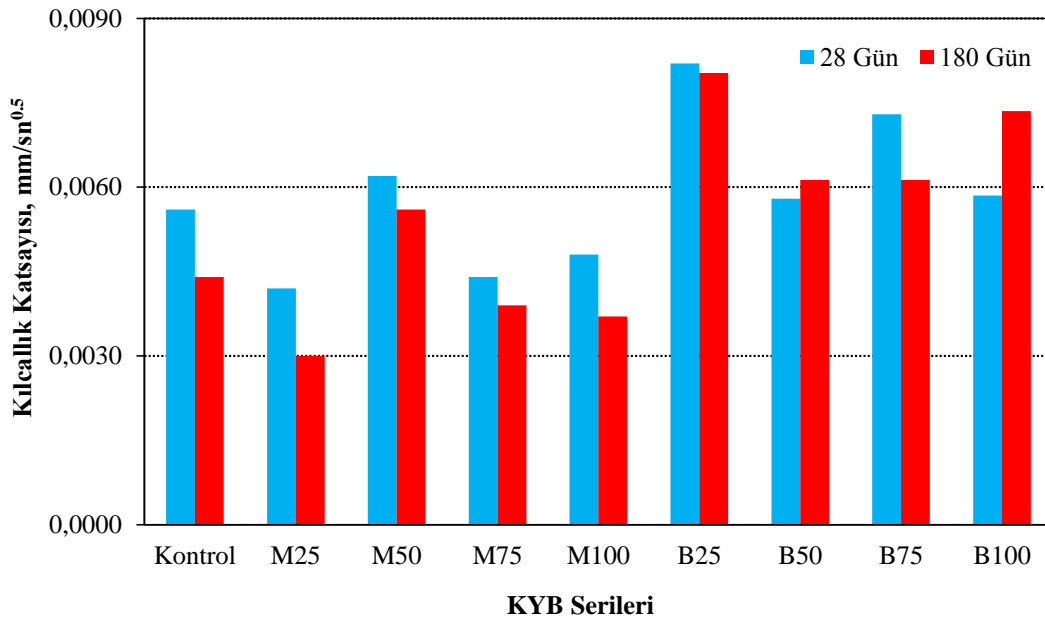
Şekil 4.17 Tüm serilerden elde edilen su emme ile ultrases geçiş hızı sonuçları arasındaki ilişki.

#### 4.12 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları

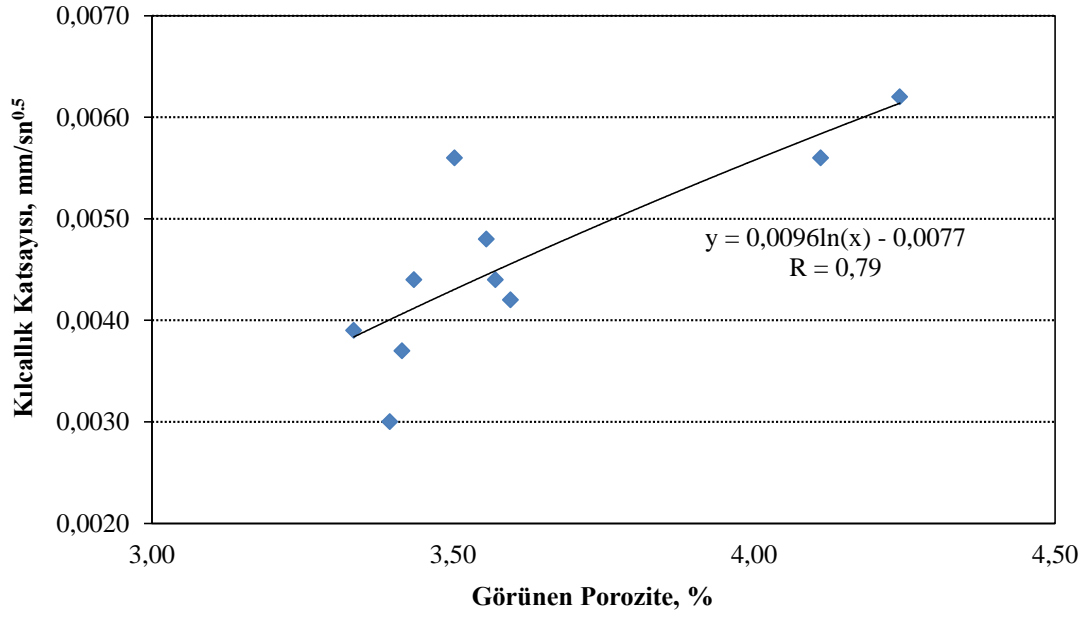
Kılcallık katsayısı sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi Şekil 4.18'de verilmiştir. Şekil 4.18 incelendiğinde tüm serilerden elde edilen kılcallık katsayısı sonuçlarının

0.0030 ile 0.0082 mm/sn<sup>0.5</sup> değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Şekil 4.18 genel olarak incelendiğinde görünen porozite ve su emme deney sonuçlarında olduğu gibi mermer agregalı serilerden daha düşük kılcallık katsayısı değerleri elde edilmiştir. Kür sürelerinin artması ile birlikte genel olarak kılcallık katsayısı değerlerinin de düştüğü sonucuna varılmıştır.

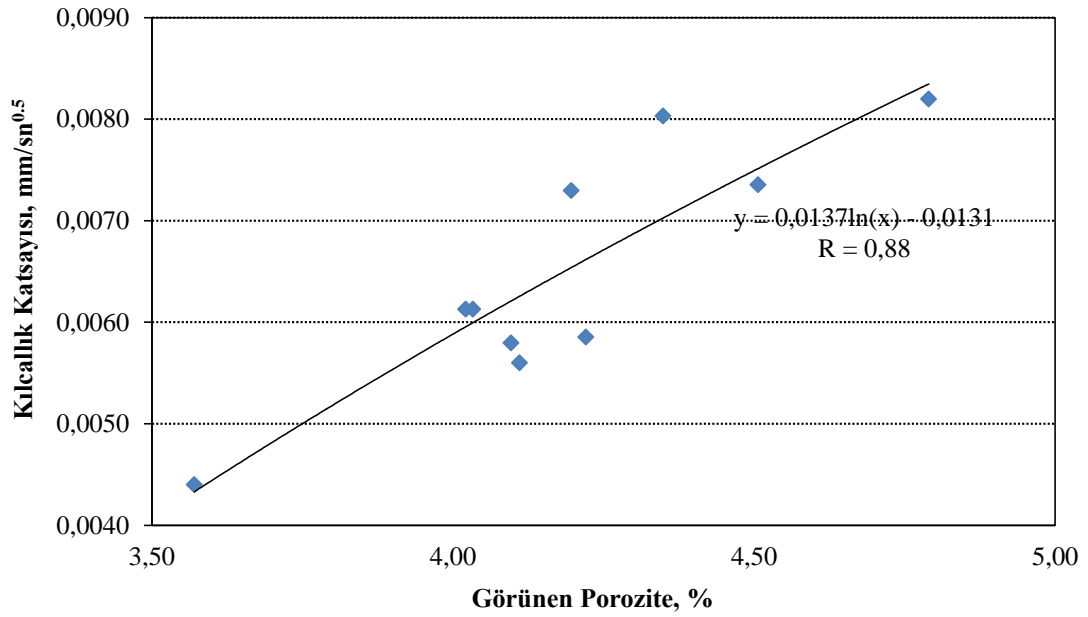
Mermer agregası ile üretilen serilerde görünen porozite ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.19’da verilmiştir. Şekil 4.19’dan görüldüğü üzere görünen porozite değerlerinin artışı ile birlikte kılcallık katsayısı değerlerinin de arttığı sonucuna varılmıştır. Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de sırasıyla bazalt agregası ve tüm serilerden elde edilen porozite ve kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişkiler verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere görünen porozite ve kılcallık katsayısı sonuçları arasında kuvvetli ilişkilerin olduğu sonucuna varılmıştır.



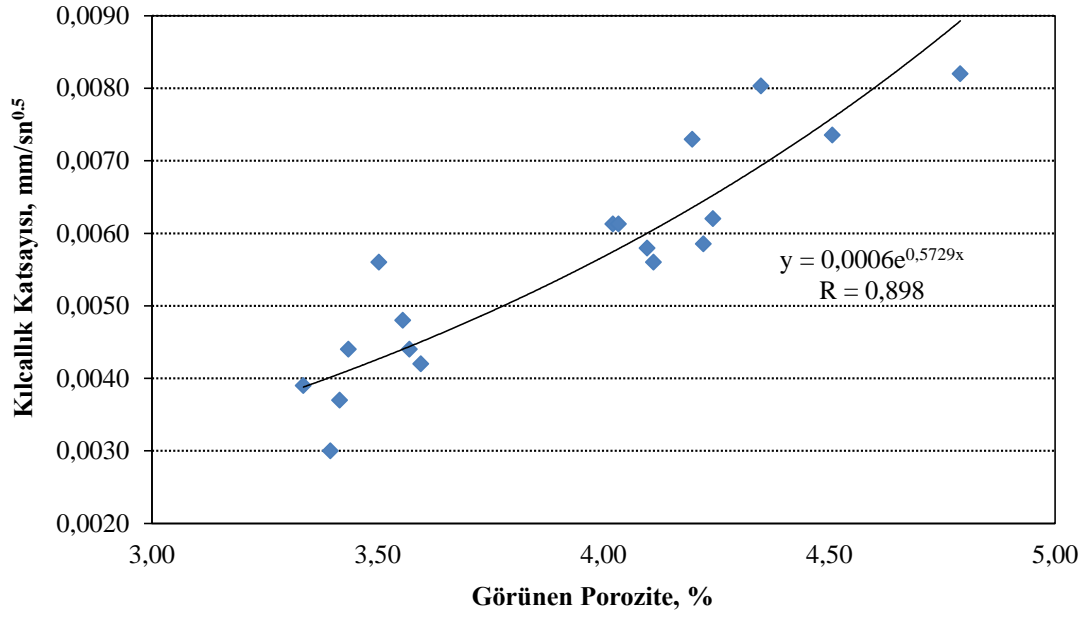
Şekil 4.18 Kılcallık katsayısı sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi.



Şekil 4.19 Mermer agregası ile üretilen serilerde görünen porozite ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki.



Şekil 4.20 Bazalt agregası ile üretilen serilerde görünen porozite ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki.



Şekil 4.21 Tüm serilerden elde edilen görünen porozite ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki.



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonlar ile ilgili yapılan tez çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler haline verilmiştir.

- Yayılma çaplarının 575 ile 670 cm arasında değiştiği görülmüştür. En yüksek yayılma çapı sonucu bazalt agreganın %100 oranında kullanıldığı serilerden elde edilmiştir.
- Mermer kırığı agregasının kullanım oranlarının artması ile birlikte kontrol serilerine göre birim ağırlık değerlerinin düştüğü sonucuna varılmıştır. Bazalt agregaların birim ağırlıklarında, kontrol serilerine göre çok fazla değişiklik olmadığı sonucuna varılmıştır.
- Kırmataş agregasının yerine kullanılan mermer kırığı ve bazalt agregasının kullanım oranlarının artması ile birlikte ultrases geçiş hızı değerlerinin düştüğü sonucuna varılmıştır.
- En yüksek basınç dayanımı değerleri 180 gün boyunca kür uygulanan M100 serilerinden elde edilmiştir. Bazalt agregasının %100 oranında kullanıldığı serilerin dışındaki tüm serilerden birbirine oldukça yakın basınç dayanımı sonuçları elde edilmiştir.
- Kendiliğinden yerleşen betonlardan elde edilen yarmada-çekme dayanımı sonuçları 4.46 MPa ile 5.45 MPa değerleri arasında değişmiştir. Basınç dayanımlarına benzer şekilde kür sürelerinin artması ile birlikte genel olarak yarmada-çekme dayanımlarında artışların olduğu görülmüştür. En yüksek değerler bazalt agregasının %100 oranında kullanıldığı serilerden elde edilmiştir.
- Hızlı klorür geçirimsizliği sonuçlarının 160 Coulomb ile 328 Coulomb değerleri arasında değiştiği ve hızlı klorür geçirimsizliği sonuçlarının, çok düşük seviyede klorür geçirimsizliklerine sahip oldukları sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlardan üretilen beton serilerinin klorür bulunan ortamlarda kullanılması durumunda korozyona karşı oldukça dayanıklı olacakları sonucuna varılmıştır.

- Elektriksel 6zdiren değerleri 20 kΩcm'den b6y6k olduğu için 6retilen KYB serilerinin korozyona karşı oldukça dayanıklı oldukları sonucuna varılmıştır.
- G6r6nen porozite değerleri genel olarak incelendiğinde, mermer kırığı agregalı serilerden bazalt agregalı serilere g6re, daha d6ř6k g6r6nen porozite değerleri elde edilmiştir.
- G6r6nen porozite ve su emme deney sonuçlarında olduğu gibi mermer agregalı serilerden, daha d6ř6k kılcallık katsayısı değerleri elde edilmiştir.

Y6ksek dayanımlı KYB 6retimleri yapılırken, bazalt ve mermer agregaların kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, atık bir malzeme olan mermer kırıklarının beton 6retimlerinde agrega olarak kullanılması ile birlikte, beton 6retim maliyetlerinin d6ř6r6lerek, ekonomiye ve çevresel atık y6netimine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abed, M., Nemes, R. and Tayeh, B.A. (2018). Properties of self-compacting high-strength concrete containing multiple use of recycled aggregate. *Journal of King Saud University Engineering Sciences*, Article in press.
- Akman Pek, N. (2014). Beton Deniz Yapılarında Bazalt Agregası Kullanımı, *İMO Teknik Dergi*, **25-3**: 6849-6866.
- Arbelaez Jaramilo, C.A., Riguera Victor, J.W., Marti Vargas, J.R., Serna Ros, P. and Pinto Barbosa, M., (2003). Reduced models test for the characterization of the rheologic properties of self compacting concrete. 3rd International Symposium on Self-compacting Concrete, Reykjavik, Iceland, 17- 20 August.
- Arsoy, Z., Ersoy, B., Sert, M., Çiftçi, H., Çelik, M.Y., Evcin, A. ve Yentürk, F. (2018). Afyonkarahisar Organize Sanayii Bölgesi Mermer Atıklarının Beton Agregası Olarak Dayanım Özelliklerinin Belirlenmesi, International Engineering and Technology Symposium, Batman, 1020-1026.
- Aruntaş, H. Y., Dayı, M., Tekin, İ., Birgül, R. ve Şimşek, O. (2007). Kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine atık mermer tozunun etkisi. 2.Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara, 174-185.
- Bakır, H. (2011). Dolgu Maddesi Oranının Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bartos, Peter. J.M. (2005). Testing-SCC: Towards New European Standarts For Fresh SCC, First International Symposium on Design, Performance and Use of Self Compacting Concrete SCC, China, 26-28 May.
- Benzabih, E.F. (2018). Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) Konulu Çalışmaların Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Bilim, C. ve Atış, C. D. (2011). Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu içeren harçların aşınma ve mukavemet özellikleri, *Politeknik Dergisi*, **2**: 101-107.
- Ceylan, H. ve Mança, S. (2013). Mermer Parça Atıklarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, **2**: 21-25.

- Çelik, B. (2013). Farklı Su Emme Kapasitesine Sahip Agregaların Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze ve Sertleşmiş Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Dinakar, P., Babu, K.G. and Santhanam, M. (2008). Durability properties of high volume fly ash self compacting concretes, cement & concrete composites, pp. 1-22.
- EFNARC, (2002). The European Guidelines for Self Compacting Concrete, Specification, Production and Use. www.Efnarce.org. EFNARCE Association, UK.
- EFNARC, (2005). The European Guidelines for Self Compacting Concrete, Specification, Production and Use. www.Efnarce.org. EFNARCE Association, UK.
- Erdoğan, Ş. ve Kurbetçi, Ş. (2003). Betonun performansına sağladıkları etkinlik açısından kimyasal ve mineral katkı maddeleri, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, **426**: 115-120.
- Garip, Z. (2011). Kendiliğinden Yerleşen Yüksek Dayanımlı Betonların Depreme Dayanıklılık Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Giaccio, G., Et Al. (1992). High-strength concretes incorporating different coarse aggregates, *ACI Materials Journal*, **89**: 242-247.
- Glavind, M. and Pedersen, E. J. (1999). Packing Calculations Applied For Concrete, Mix Design. Proceedings Creating with Concrete, University of Dundee
- Gürdal, H. ve Yüceer, Z. (2004). Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları, Beton Kongre Bildirisi, İstanbul.
- Gürses, O. (2018). Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri ve Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Kaya, A.O. (2010). Farklı Türde Mineral Katkı Kullanımının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze Faz ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Keçeci, A. (2018). Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Silis Dumanı Kullanımının, Beton Basınç Dayanımına ve Aderansa Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya.

- Kılınç, C. (2012). Kendiliğinden Yerleşen Beton, *THBB Hazır Beton Dergisi*, **112**:70-75.
- Mertol, H.C. (2010). Normal ve Yüksek Dayanımlı Beton Kullanılan Tasarımların Karşılaştırılması, 5. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi Bildirileri, İstanbul, 99-108.
- Newman, J. and Choo, B.S. (2003). Advanced Concrete Technology, *Butterworth-Heinemann*, **9**: 1-17.
- Okamura, H. and Ouchi, M., (1998). Self-Compacting High Performance Concrete, *Progress in Structural Engineering and Materials*, **1**: 378-383.
- Okamura, H. and Ouchi, M., (1999). Self Compacting Concrete Development, Present and Future, Proceeding of 1st International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete, Sweden.
- Okamura, H. and Ouchi, M. (2003). Self-Compacting Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, **1**: 5-15.
- Orhan, E. (2012). Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Katkı Oranları Değişiminin Betonun Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ.
- Ouchi, M. (1999). Self Compacting Concrete Development, Applications and Investigations, Nordic Concrete Research Committee Publications.
- Özgüler, A.T., (2007). Kendiliğinden yerleşen betonların mekaniksel özelliklerine agrega tipinin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Özkul, H.T., Tokyay, M. ve Uyan, M. (1999). Her Yönüyle Beton, THBB, İstanbul.
- Özkul, M. H. (2014). Kendiliğinden Yerleşen Betonlar. *Hazır Beton Dergisi*, **125**: 61-71.
- Ramachandran, V.S., (1995). Concrete admixtures properties, Science and Technology, 2nd edn. Notes, Publications, Parkridge, New Jersey, USA.
- Şahmaran, M., Yaman, Ö., ve Tokyay, M. (2004). Yeni Nesil Yüksek Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri ile Yüksek Hacimde Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Yerleşen Beton, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Şentürk, A., Gündüz, U., Tosun, İ.Y., ve Sarıışık, A. (1996). Mermer Teknolojisi, Tuğra Ofset, Isparta, 241 sayfa.

- Taşdemir, C. ve Atahan, H.N. (1996). Filler Malzemelerin Betonun Mekanik Özelliklerine ve Durabilitesine Etkisi, I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul.
- Tennich, M., Kallel, A. and Ouezdou, M.B. (2015) Incorporation of fillers from marble and tile wastes in the composition of self-compacting concretes. *Construction and Building Materials* 91:65-70.
- Tohumcu ve Bingöl. (2013). Silis Dumanı ve Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Taze Beton Özellikleri ve Basınç Dayanımları, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **2**: 31-44.
- Tohumcu, İ. (2011). Silis Dumanı ve Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Farklı Kür Koşullarının Basınç Dayanımına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi İnş.Müh.liği Anabilim Dalı, Erzurum.
- Topçu İ.B., Bilir T. ve Baylavlı H., (2008). Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, **1**: 1-22.
- TS 706 EN 12620+A1, (2009). Beton agregaları, Türk Standardı.
- TS EN 197-1, (2012). Çimento: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standardı.
- TS EN 206-1: 2013+A1, (2017). Beton-Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standardı.
- TS EN 450-1, (2013). Uçucu kül-Betonda kullanılan: Tarif, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standardı.
- TS EN 12350-8, (2011). Beton-Taze beton deneyleri: Kendiliğinden yerleşen beton- Çökme yayılma deneyi, Türk Standardı.
- TS EN 12350-9, (2011). Beton-Taze beton deneyleri: Kendiliğinden yerleşen beton-V hunisi deneyi, Türk Standardı.
- TS EN 12350-10, (2011). Beton-Taze beton deneyleri: Kendiliğinden yerleşen beton- L kutusu deneyi, Türk Standardı.
- Türkmenoğlu, Z.F., Kılıç, A. M. ve Depci, T. (2015). Van Pomzası ve Mermer Tozu Atıkları ile Üretilmiş Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **1**: 105-116.
- Uygunoğlu, T., (2008). Hafif agregalı kendiliğinden yerleşen betonların özellikleri. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Uysal, M. (2010). Mineral Katkılar Kullanılarak Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özelliklerinin ve Dayanıklılığının İncelenmesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya.
- Yahia, A., Tanimura, M., and Shimoyama, Y. (2002). Evaluation of deformability of different types of self-consolidating concrete, First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, pp. 303-310.
- Yamada, K., Takashi, T., Hanehara, S. and Matsuhisa, M. (2000). Effects of the chemical structure on the properties of polycarboxylate-type superplasticizer, *Cem. Concr. Res.*, Vol: 30.
- Yeğınobalı, A. (2009). Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, TÇMB/AR-GE/Y01.01, 62s.
- Yılmaz, F., Mertol H.C. (2010). Türkiye’de Yüksek Dayanımlı Betonun Kullanımı Standartlar, Tasarım ve Yapım, Atılım Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Yılmaz, İ. (2018). Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu ve Zeolit Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların İşlenebilirlik ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Yoshioka, K.T., Kawai, K., Enohata, T., (2000). Adsorption characteristics of superplasticizers on cement component minerals. *Cement and Concrete Research.*, **32**:1507–1513.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet Ferdi ŞENOL  
Doğum Yeri ve Tarihi : Eskişehir, 1980  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : ahmetferdisenol@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Eskişehir H.Ahmet Kanatlı Lisesi, (1994-1997)  
Lisans : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, (1998-2002)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, (2014-2019)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Milli Savunma Bakanlığı, (2003-2019)