

**ESKİŞEHİR  
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ  
BİLECİK  
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**FARKLI AGREGALI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN  
BETONLARIN KALICILIK ÖZELLİKLERİ**

**İhsan Talha ARIGÜL  
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Cenk KARAKURT**

**BİLECİK, 2019  
Ref.No:10296365**



**ESKİŞEHİR  
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK  
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**FARKLI AGREGALI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN  
BETONLARIN KALICILIK ÖZELLİKLERİ**

**İhsan Talha ARIGÜL  
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı  
Doç .Dr. Cenk KARAKURT**

**BİLECİK, 2019**



**ESKİŞEHİR  
ANADOLU UNIVERSITY**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ  
BILECİK  
SEYH EDEBALI UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences  
Department of Civil Engineering**

**DURABILITY PROPERTIES OF SELF COMPACTING  
CONCRETES WITH DIFFERENT AGGREGATES**

**İhsan Talha ARIGÜL  
Master's Thesis**

**Thesis Advisor  
Assoc. Prof. Dr. Cenk KARAKURT**

**BİLECİK, 2019**



## BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

### FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

#### YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 09/08/2019 tarih ve 45-03 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 26/08/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan İhsan Talha ARIGÜL' ün "Farklı Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Kalıcılık Özellikleri" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/~~oy çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

#### JÜRİ

ÜYE  
(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Cenk KARAKURT

ÜYE: Doç. Dr. Mehmet Uğur TOPRAK

ÜYE: Öğr. Gör. Dr. Muhsin YALÇIN

#### ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun .... / .... / ..... tarih ve ..... / ..... sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tez çalışmamda danışmanlığımı yapan, tez çalışmam süresince değerli fikirlerinden faydalandığım çok kıymetli hocam Doç. Dr. Cenk KARAKURT'a, laboratuvar çalışmalarımnda malzeme desteği sağlayan Kar-Çet Madencilige, Yüksek Lisans eğitimim boyunca her türlü sorularıma özveri ile cevap veren Fen Bilimleri Enstitüsü Personellerine, Yüksek Lisans eğitimimi tamamlamamda bana destek olan Bilecik İl Özel İdaresi Yol ve Ulaşım Hizmetleri Müdürü Gökhan YAKŐE ve tüm iş arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında benden her türlü desteği esirgemeyen, eğitim ve iş hayatım boyunca hep yanımda olan annem Özlem ARIGÜL, babam Mehmet ARIGÜL ve kardeşim Enes ARIGÜL'e, Yüksek Lisans eğitimimde ve hayatımın her safhasında destek ve katkılarından dolayı çok değerli eşim Hatice Betül ARIGÜL ve oğlum Aras ARIGÜL'e sonsuz sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

## **BEYANNAME**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu Üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmada kullanılmadığını beyan ederim.

.../....//2019

**İhsan Talha ARIGÜL**

## FARKLI AGREGALI KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN KALICILIK ÖZELLİKLERİ

### ÖZET

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB); kendi ağırlığı altında döküldüğü kalıba yayılabilen ve vibrasyon gerektirmeksizin ayrışma ve terlemeye bağlı kusurlar göstermeksizin, iyi sıkışma elde edilen, çok akıcı kıvamlı bir betondur. Kendiliğinden yerleşen beton, daha hızlı inşaat süreleri ve sıkışık donatı çevresinde akış kolaylığı ile birlikte hızlı bir beton yerleşimi sunar. Ayrıca KYB sayesinde şantiyede insan gücünde azalma sağlanarak ekonomik açıdan yararlı olduğu kanıtlanmıştır. KYB ile daha iyi yüzey görüntüsü, geliştirilmiş dayanıklılık ve tasarımda daha fazla özgürlük elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada farklı agrega kökenine sahip KYB'lerin işlenebilirlik, sertleşmiş beton ve kalıcılık özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla doğal agrega ve kırma taş agregalardan, 0-4 mm, 4-12 mm boyutlarında ince ve iri agrega kullanılmıştır. KYB karışımlarında mineral katkı olarak uçucu kül ve mermer tozu, çimento olarak CEM I 42,5 R, akışkanlaştırıcı katkı olarak ise BASF Glenium RMC 303 kullanılmıştır. Tasarlanan KYB karışımları üzerinde işlenebilirlik özellikleri, sertleşmiş beton özellikleri belirlenmiştir. Bu kapsamda taze KYB karışımlarında V-hunisi, L kutusu ve J halkası deneyleri yapılarak KYB'nin yerleşme kabiliyeti ve ayrışma riski parametreleri belirlenmiştir. Daha sonra üretilen numunelerin mekanik özellikleri ile alkali silika reaksiyonu etkisi, sülfat etkisi, donma çözülme direnci, aşınma direnci üzerine doğal agrega ve kırmataş agregalarının etkileri belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlardan doğal agregalı karışımların daha işlenebilir olduğu, öte yandan sertleşmiş beton özellikleri incelendiğinde ise kırmataş agregalı karışımlar ile doğal agrega ile üretilen karışımların birbirlerine yakın sonuçlar verdiği, kalıcılık özellikleri araştırıldığında doğal agregalı karışımların daha iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur. Bu sonuçlardan görüldüğü üzere doğal agregaların KYB'lerin işlenebilirliğini olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler-** Kendiliğinden Yerleşen Beton; Farklı Agrega; İşlenebilirlik; Dayanım; Kalıcılık

## **DURABILITY PROPERTIES OF SELF COMPACTING CONCRETES WITH DIFFERENT AGGREGATES**

### **ABSTRACT**

Self-Compacting Concrete (SCC) is a very workable concrete with good compatibility without vibrations and can flow without segregation and any defects due to bleeding. SCC offers a fast concrete placement with faster construction times and ease of flow around narrow reinforcement bars. In addition, SCC has been proven to be economically beneficial by reducing manpower at the construction site. SCC provides better surface appearance, improved durability and greater independence in design.

In this study, the workability hardened concrete and durability properties of SCC produced with different aggregate origin were investigated. For this purpose, the natural aggregate and crushed stone aggregate in dimension with 0-4 mm 4-12 mm are used as fine and coarse aggregate respectively. The fly ash and marble dust were used as mineral additives in SCC mixtures with CEM I 42.5 R Portland cement and BASF Glenium RMC 303 as super plasticizer. Workability properties and hardened concrete properties were determined on the designed SCC mixtures. For this reason, V-funnel, L-box, and J-ring tests were performed on fresh SCC mixtures in order to determine the flowability, passing ability and segregation risk parameters. Then, the effect of natural aggregate and crushed stone aggregates on the mechanical properties, alkali silica reaction, sulphate effect, freeze-thaw resistance, abrasion resistance of the produced specimens were determined.

According to test results, it is found that the natural aggregate mixtures are more workable, on the other hand the hardened concrete properties are similar both of crushed stone aggregate and natural stone aggregate and the durability properties is better for the natural aggregate mixtures. when the properties of hardened concrete are examined, it is found that crushed stone aggregate mixtures and natural aggregate produced mixtures give close results to each other and when the retention properties are investigated, it is found that natural aggregate mixtures give better results. As seen from test results, it was found that natural aggregates are beneficially effect the workability of SCC mixtures.

**Keywords-** Self Compacting Concrete; Different Aggregate; Workability; Strength, Durability,

## İÇİNDEKİLER

<b>TEŞEKKÜR</b> .....	.....
<b>BEYANNAME</b> .....	.....
<b>ÖZET</b> .....	I
<b>ABSTRACT</b> .....	II
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	VI
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	VIII
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	IX
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON</b> .....	3
2.1.    KYB'nin Tarihsel Gelişimi .....	3
2.2.    KYB'lerin Olumlu ve Olumsuz Yönleri .....	5
2.3.    Taze KYB'nin Özellikleri .....	5
2.3.1. İşlenebilirlik .....	6
2.3.2. Doldurma yeteneği.....	6
2.3.3. Geçiş yeteneği.....	6
2.3.4. Ayrışmaya karşı direnç .....	7
2.4.    KYB Deney Yöntemleri .....	7
2.4.1. Çökme yayılma ve T <sub>50</sub> zamanı deneyi .....	8
2.4.2. V hunisi deneyi .....	9
2.4.3. L kutusu deneyi.....	11
2.4.4. J halkası deneyi.....	12
2.4.5. U kutusu deneyi .....	13
2.4.6. Doldurma kutusu deneyi.....	13
2.4.7. Orimet Deneyi.....	14
2.5.    KYB Karışım Tasarımı .....	14
2.6.    KYB'lerde Kullanılan Bileşen Malzemeler .....	17
2.6.1. Çimento.....	17
2.6.2. Agregası.....	17
2.6.3. Mineral Katkılar.....	18
2.6.4. Kimyasal Katkılar .....	20
2.6.5. Karışım Suyu .....	21
2.7.    Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar .....	21

<b>3. MALZEME VE YÖNTEM</b> .....	24
3.1. Kullanılan Malzemeler .....	24
3.1.1. Agregalar .....	24
3.1.2. Çimento.....	25
3.1.3. Uçucu kül.....	25
3.1.4. Mermer tozu.....	26
3.1.5. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı.....	26
3.1.6. Karışım suyu .....	27
3.2. Yöntem .....	27
3.2.1. Elek analizi deneyi.....	29
3.2.2. Metilen mavisi deneyi.....	29
3.2.3. Özgül ağırlık deneyi.....	30
3.2.4. Birim ağırlık deneyi .....	31
3.2.5. Parçalanma direnci deneyi .....	32
3.2.6. Organik madde tayini deneyi .....	32
3.2.7. Kum eş değeri deneyi .....	33
3.2.8. Karışım oranları .....	34
3.2.9. V Hunisi Deneyi .....	346
3.2.10. L Kutusu Deneyi.....	36
3.2.11. J Halkası Deneyi .....	37
3.2.12. Su emme deneyi.....	38
3.2.13. Kılcallık deneyi.....	39
3.2.14. Ultrases geçiş hızı deneyi .....	40
3.2.15. Basınç dayanımı deneyi .....	41
3.2.16. Donma çözülme direnci deneyi .....	42
3.2.17. Aşınma direnci deneyi .....	42
3.2.18. Sülfat etkisi deneyi.....	43
3.2.19. Alkali silika reaksiyonu deneyi.....	45
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI</b> .....	47
4.1. Agrega Deneyleri Sonuçları .....	497
4.2. Taze Beton Deney Sonuçları .....	49
4.2.1. V hunisi deney sonuçları.....	49
4.2.2. L kutus deney sonuçları .....	50
4.2.3. J halkası deney sonuçları .....	51

4.3. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları .....	52
4.3.1. Su emme deneyi sonuçları .....	52
4.3.2. Kılcallık deneyi sonuçları .....	53
4.3.3. Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları .....	54
4.3.4. Beton basınç dayanımı deney sonuçları.....	524
4.3.5. Aşınma direnci deneyi sonuçları.....	56
4.3.6. Donma çözülme deneyi sonuçları.....	57
4.3.7. Sülfat direnci deneyi sonuçları .....	59
4.3.8. Alkali silika reaksiyonu deneyi sonuçları .....	60
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>62</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>64</b>
<b>ÖZ GEÇMİŞ.....</b>	<b>.....</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Şekil 2.1:</b> Çökme yayılma ve $T_{50}$ zamanı deney düzeneği .....	9
<b>Şekil 2.2:</b> V hunisi deney aparatı .....	10
<b>Şekil 2.3:</b> L kutusu deney düzeneği .....	11
<b>Şekil 2.4:</b> J halkası deney düzeneği .....	12
<b>Şekil 2.5:</b> U kutusu deney aleti .....	13
<b>Şekil 2.6:</b> Doldurma kutusu deney aparatı.....	14
<b>Şekil 3.1:</b> Kullanılan agrega çeşitleri.....	24
<b>Şekil 3.2:</b> Betoniyer ile karıştırma .....	28
<b>Şekil 3.3:</b> Hazırlanan beton karışımlarının kalıplara yerleştirilmesi .....	28
<b>Şekil 3.4:</b> Hazırlanan beton karışımlarının kalıptan sökülüp kür havuzunda bekletilmesi .....	29
<b>Şekil 3.5:</b> Elek analizi deneyi yapılışı .....	29
<b>Şekil 3.6:</b> Metilen mavisi deneyi yapılışı .....	30
<b>Şekil 3.7:</b> İri ve ince agrega özgül ağırlık deneyi yapılışı .....	31
<b>Şekil 3.8:</b> Birim ağırlık deneyi yapılışı .....	31
<b>Şekil 3.9:</b> LosAngeles deneyi yapılışı .....	32
<b>Şekil 3.10:</b> Organik madde tayini deneyi yapılışı .....	33
<b>Şekil 3.11:</b> Kum eş değeri deneyi yapılışı .....	33
<b>Şekil 3.12:</b> Kırmataş agrega granülometri eğrisi (%50 0-4 mm, %50 4-12 mm).....	34
<b>Şekil 3.13:</b> Doğal agrega granülometri eğrisi (%50 0-4 mm, %50 4-12 mm) .....	35
<b>Şekil 3.14:</b> V hunisi deneyi yapılışı .....	36
<b>Şekil 3.15:</b> L kutusu deneyi yapılışı .....	37
<b>Şekil 3.16:</b> J halkası deneyi yapılışı .....	38
<b>Şekil 3.17:</b> Su emme deneyi yapılışı .....	39
<b>Şekil 3.18:</b> Kılcallık deneyi yapılışı .....	40
<b>Şekil 3.19:</b> Ultrases geçiş hızı deneyi yapılışı .....	41
<b>Şekil 3.20:</b> Basınç dayanımı deneyi yapılışı .....	41
<b>Şekil 3.21:</b> Donma çözülme deneyi yapılışı .....	42
<b>Şekil 3.22:</b> Aşınma direnci deneyi yapılışı .....	43
<b>Şekil 3.23:</b> Sülfat direnci deneyi yapılışı .....	44

<b>Şekil 3.24:</b> Alkali silika reaksiyonu deneyi yapılışı .....	46
<b>Şekil 4.1:</b> Üretilen karışımların yaş birim ağırlıkları .....	49
<b>Şekil 4.2:</b> V hunisi deney sonuçları .....	50
<b>Şekil 4.3:</b> L kutusu deney sonuçları .....	50
<b>Şekil 4.4:</b> J halkası deney sonuçları .....	51
<b>Şekil 4.5:</b> Su emme deneyi sonuçları.....	52
<b>Şekil 4.6:</b> 28 günlük numuneler kılcallık katsayıları .....	53
<b>Şekil 4.7:</b> 90 günlük numuneler kılcallık katsayıları .....	53
<b>Şekil 4.8:</b> 28 ve 90 günlük ultrases geçiş hızı deney sonuçları .....	54
<b>Şekil 4.9:</b> 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanım sonuçları .....	55
<b>Şekil 4.10:</b> Aşınma direnci deneyi sonrası hacim kayıpları .....	56
<b>Şekil 4.11:</b> Aşınma direnci deneyi sonrası ağırlık kayıpları .....	57
<b>Şekil 4.12:</b> 28 günlük numunelerin deney öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızları .....	57
<b>Şekil 4.13:</b> 28 günlük numunelerin deney sonrası ağırlık kayıpları .....	58
<b>Şekil 4.14:</b> 90 günlük numunelerin deney öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızları .....	58
<b>Şekil 4.15:</b> 90 günlük numunelerin deney sonrası ağırlık kayıpları .....	59
<b>Şekil 4.16:</b> Harç numunelerinin sülfat çözültisi içinde 2 ay sonundaki boy değişimleri .....	60
<b>Şekil 4.17:</b> Alkali silika reaksiyonu deneyi sonrası boy değişimi.....	61

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa No

<b>Çizelge 2.1:</b> KYB üretiminde araştırma geliştirme çalışmaları yapan kuruluşlar .....	4
<b>Çizelge 2.2:</b> İstenilen özelliğe göre en yaygın test yöntemleri .....	8
<b>Çizelge 2.3:</b> Karışım tasarımında alınacak önlemler .....	15
<b>Çizelge 2.4:</b> KYB genel tasarım yapısı .....	16
<b>Çizelge 2.5:</b> Mineral katkıların su ile reaktif kapasitelerine göre sınıflandırılması.....	19
<b>Çizelge 3.1:</b> Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri .....	25
<b>Çizelge 3.2:</b> Seytömer uçucu külünün kimyasal analiz sonuçları .....	26
<b>Çizelge 3.3:</b> Süperakışkanlaştırıcı katkı teknik özellikleri .....	27
<b>Çizelge 3.4:</b> 1 m <sup>3</sup> beton karışımında kullanılan malzeme miktarları .....	35
<b>Çizelge 3.5:</b> KYB viskozite sınıfları .....	36
<b>Çizelge 3.6:</b> KYB'nin L kutusu geçme kabiliyeti sınıfları .....	37
<b>Çizelge 3.7:</b> Çökme yayılma sınıfları .....	38
<b>Çizelge 3.8:</b> Ultrases geçiş hızı deneyi ile betonun kalitesinin değerlendirilmesi .....	40
<b>Çizelge 3.9:</b> CEN referans kumunun tanecik büyüklüğü dağılımı .....	43
<b>Çizelge 3.10:</b> Sülfat direnci deneyi harç numunelerinin karışım oranları (1dm <sup>3</sup> ) .....	44
<b>Çizelge 3.11:</b> Alkali silika reaksiyonu harç numunelerinin karışım oranları (1dm <sup>3</sup> ) ....	45
<b>Çizelge 4.1:</b> Kullanılan agregaların elek analizi sonuçları .....	47
<b>Çizelge 4.2:</b> Agregada deneylerinin sonuçları .....	48

**SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ**

A	: Temas Alanı
ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	:Alüminyum Oksit
ASTM	: Amerikan Standardı
C <sub>3</sub> A	: Tri Kalsiyum Silikat
CaCO <sub>3</sub>	: Kalsiyum Karbonat
CEN	: Avrupa Standartlar Komitesi
CaO	: Kalsiyum Oksit
CL	: Klor
EFNARC	: Özel Yapı Kimyasalları Ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu
EN	: Avrupa Standardı
DK	: Doğal Kum
DA	: Doğal Agregat
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Demir Oksit
K	: Kılcallık Katsayısı
K <sub>2</sub> O	: Potasyum Oksit
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
KK	: Kırma Kum
KT	: Kırmataş Agregat
M1	: İlk Ağırlık
M2	: Son Ağırlık
MT	: Mermer Tozu
MgO	: Magnezyum Oksit
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	: Sodyum Sülfat
NaOH	: Sodyum Hidroksit
Na <sub>2</sub> O	: Sodyum Oksit
P	: Numune Yoğunluğu
SiO <sub>2</sub>	: Silisyum Oksit
SO <sub>3</sub>	: Kükürt Trioksit
T	: Süre
TS	: Türk Standardı

$T_{50}$	: Taze Betonun 50 Cm'lik Çapa Ulaşma Süresi
UK	: Uçucu Kül
USG	: Ultrases geçiş hızı
VAK	: Viskozite Arttırıcı Kaktı
Wa	: Su Emme Yüzdesi
Q	: Emilen Su
$\Delta V$	: Toplam Hacim Kaybı
$\Delta m$	: Toplam Ağırlık Kaybı

## 1. GİRİŞ

Beton, çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin birlikte homojen karıştırılması ile meydana gelen yapı malzemesidir. İlk hazırlandığında plastik kıvama sahip olup, bağlayıcı madde olarak karışıma giren çimentonun hidrasyon geçirmesiyle katılaşır, bulunduğu kalıbın şeklini alan taşıyıcı bir yapı malzemesidir (Şimşek, 2003).

Betonun en önemli bileşeni olan bağlayıcı malzemelerin geçmişi 5000 yıl önceye dayanmaktadır. Eski dönemlerde ilk bağlayıcı malzeme kildi. Mısır'da alçı, Roma'da kireç, Avrupa'da su kireci kullanılmaktaydı. Anadolu'da ise kil-kireç esaslı "Horasan Harcı" olarak bilinen bağlayıcı malzeme kullanılmıştır. Joseph Aspdin adında bir usta, 1824 yılında ince taneli kalker ve kil karışımını pişirerek elde ettiği bağlayıcıya "Portland çimentosu" ismini vererek günümüzün betonu için en önemli parçanın patentini almıştır. Isaac Johnson ise 1845 yılında kalkerin ince taneleri ile kili karıştırarak, pişirme sıcaklığını artırıp, öğütmeye önem vererek Portland Çimentosunu keşfetmiş ve günümüzün betonu için en önemli parçanın patentini almıştır (Draffin, 1943). Betonun yaygın olarak kullanılmasına 1850 yılında betonarmenin icadı ile başlamıştır. Çelik donatılı beton konusunda 1855 yılında François Coignet tarafın ilk yayın yazılmıştır. Takip eden dönemlerde betonarme ile ilgili yönetmelikler beton karışım hesapları, ideal gronülometri eğrileri geliştirilmiştir. Türkiye de de ilk betonarme yapılar inşa edilmiş ve ilk Türk portland çimento standardı 1900'lü yıllarda yayınlanmıştır. 1970-1980'li yıllarda endüstriyel beton üretimi ve prefabrik beton dünyada ve ülkemizde geliştiği görülmüştür (Kocataşkın, 1991).

Betonun dayanımını etkileyen durumlar 3 etkenden oluşmaktadır. Kullanılan agregaların dayanımı, agregaların çimento ile aderansı ve çimento macunun dayanımıdır. Ayrıca betonun dayanımını etkileyen diğer durum ise betonda içerisinde ki boşluk oranıdır. İyi sıkışmayan betonlarda boşluklar oluşacağından betonda istenilen dayanıma ulaşamayacaktır. Bir amacı da beton içinde oluşabilecek boşluğu en aza çekmek için geliştirilen beton türü KYB'dir (Ozawa, vd., 1989).

Betonarme yapıların depremler sebebiyle dayanım problemi 1983 yılı ve sonrası Japonya'da araştırma konusu olmuştur. Dayanımı yüksek beton üretimi için yüksek işçilik sonucu iyi sıkıştırma işlemi yapılarak boşluksuz beton üretmek gerekmektedir. 1986 yılında, sıkıştırma işlemi gerektirmeyen beton gerektiği fikri Okamura H. tarafından ortaya atıldı ve 1988 yılında KYB' nin örnekleme tamamlandı (Okamura ve Ouchi,

2003). 1989 yılında KYB ile ilgili ilk makale, Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansı'nda (EASEC) Ozawa tarafından sunulmuştur. Okamura tarafından kendiliğinden yerleşen beton ile ilgili kitap yazılarak Japonca basılmıştır. 1992 yılında İstanbul'daki Uluslararası CANMET-ACI konferansında Ozawa tarafından yapılan sunum KYB 'nin dünyada tanınmasında hızlı bir etki yapmıştır (Coşkun, 2013).

KYB kendi ağırlığı altında yerleşme yeteneği sayesinde, inşaat çalışmalarının kalitesinden bağımsız olarak dayanıklı beton yapılar yapmayı mümkün kılar. Geleneksel betona göre çimento, kimyasal katkı ve ince toz malzemenin fazla kullanılmasından dolayı KYB' nin üretim maliyeti yüksektir. Fakat sıkıştırma işlemi gerektirmediğinden ve yüksek dayanıma sahip olması KYB' yi ekonomik bir beton türü yapmaktadır (Yanar, 2007). KYB kullanımının, inşaat sürelerini kısaltması, işçi ihtiyacını düşürmesi, sertleşmemiş betonun kalıplara titreşim ihtiyacı olmadan yerleşmesini sağlaması, taşıyıcı elemanların dayanımını arttırması, betonarme elemanının tasarımında özgürlük sağlaması gibi avantajları vardır (Walraven, 1999).

Ülkemizde son yıllarda KYB' lerin avantajlarından dolayı, kullanımı yaygınlaşmış, çok katlı ve geniş alışveriş merkezleri, askeri yapılar, hastaneler ve okul binaları ve güçlendirme projelerinde kullanımı daha ön plandadır.

Beton içerisinde hacimsel olarak % 60-75 civarında yer tutan agrega önemli bir bileşendir. Beton mukavemetini etkileyen en önemli bileşen kullanılan agrega cinsi olmaktadır. Bu çalışmada doğal agrega ve kırmataş agregaları ile üretilen KYB' lerin taze beton özellikleri, sertleşmiş beton özellikleri ve kalıcılık özellikleri incelenmiştir.

## 2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON

Genel ifadeyle kendi ağırlığı ile sıkıştırma işlemine ihtiyaç duyulmadan, donatının fazla ve sık olduğu dar ve yüksekliği fazla olan kesitlere segregasyona uğramadan ve terleme yapmadan yerleşebilen, kıvamı akıcı olan betonlar kendiliğinden yerleşen betonlar olarak adlandırılmaktadır (Su, vd., 2003).

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), literatürde başka isimlerle de tanınmaktadır. En fazla kullanılan isimlerinden biri Kendiliğinden Sıkışan Beton (Self-Compacting-Concrete – SCC)' dur. Geniş ebatlara sahip yüzeysel alanlarda kullanıldığı takdirde, Kendiliğinden Yüzeyleyen Beton (Self-Levelling- Concrete – SLC) adı kullanılmaktadır (Rols, vd., 1999).

KYB'ler boşaltıldıkları kalıbın içerisine akışkanlıklarının fazla olmasından dolayı sıkıştırma yapılmadan kendi ağırlığıyla boşluksuz olarak yerleşir ve donatıyı sarar, betonda az miktarda boşluk kalacak şekilde kalıbı doldurur (Leemann vd., 2006). KYB'de çok fazla perdahlama gerekmez pürüzsüz ve düzgün bir yüzey elde edilebilir. Bunun olmasında betonun işlenebilirliğinin iyi olması önemli rol oynamaktadır (Uygunoğlu, 2008).

KYB'nin karışımı, etkili bir süper akışkanlaştırıcı, karışımdaki ince malzeme miktarı, su/bağlayıcı oranı, en büyük agrega bağlamında tane boyutu, toz/toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi değişkenler geleneksel betona göre farklılıklar göstermektedir. Süper akışkanlaştırıcı katkıları, akıcılığın artırılması ve su/bağlayıcı oranının düşürülmesini sağlamak amacı ile kullanılır (Okamura, 1997).

### 2.1. KYB'nin Tarihsel Gelişimi

Bangkok'da 1994 yılında gerçekleştirilen ACI çalıştayından sonra, birçok akademisyen ve araştırmacı KYB üzerinde araştırma yapmaya başlamıştır. New Orleans'da ACI 1996 sonbahar kongresi'nde, KYB ile ilgili yayınların sunulmasıyla, Amerika ve Kanada'da KYB daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. 1997 yılı ile birlikte Avrupa Birliği KYB kullanımını arttırmayı hedeflemiştir. Uluslararası Prefabrik Beton Üreticileri Birliği (BIBM), Avrupa Çimento Birliği (CEMBUREU), Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO), Avrupa Beton Katkı Üreticileri Federasyonu (EFCA) ve Avrupa Uzman Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri (EFNARC) birleşerek 2005 yılında ortak bir şartname hazırlamışlardır (Bekir vd., 2008).

KYB yapımında araştırma geliştirme çalışması yapmakta olan birçok kuruluş vardır. Bu çalışmalar Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** KYB üretiminde araştırma geliştirme çalışmaları yapan kuruluşlar.

1990-1993	Yüksek Performanslı Betonda Çimento Seçimi (JCA: Japon Çimento Üreticileri Birliği)
1992-1994	Süper Akıcı Beton (JCI: Japon Beton Enstitüsü)
1994-1997	Yüksek Akışkanlığa Sahip Beton (JSCE: Japon İnşaat Mühendisleri Odası)
1995-	Kendiliğinden Yerleşen Beton (JSCE)
1997-	Kendiliğinden Yerleşen Beton Üretimi (RILEM: Malzeme ve Yapılar İçin Uluslararası Deney ve Araştırma Birliği)
1999-2002	KYB kullanımı ile üretim rasyonalizasyonu ve çalışma koşullarının iyileştirilmesi (Brite Euram Project: KYB Kullanımı İle İlgili Çok Uluslu Proje Grubu)
2000-	KYB'nin taze özelliklerini ölçme yöntemi (Growth Project: KYB Kullanımı İle İlgili Çok uluslu Proje Grubu)
2001-	ASTM C 09.47 KYB ile ilgili standart hazırlığı (ASTM: Amerikan Test ve Standart Oluşturma Birliği)
2001-	KYB ile ilgili prefabrike beton üretimine uyarlama kılavuzu hazırlığı (PCI: Amerikan Prefabrike Beton Üreticileri Birliği)
2002-	ACI- 236 B KYB ile ilgili kılavuz doküman hazırlığı (ACI: Amerikan Beton Enstitüsü)
2005-	BIBM, CEMBUREAU, ERMCO, EFCA VE EFNARC

## 2.2. KYB'lerin Olumlu ve Olumsuz Yönleri

KYB' ler özel beton tasarımlarına sahip geleneksel betona göre daha üstün işlenebilirlik ve mekanik özelliklere sahiptirler. Ancak KYB' lerinde bu avantajlarının dışında olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Buna göre KYB'lerin olumlu yönlerini sıralayacak olursak;

- Beton dökümü sırasında vibrasyon kullanımına ihtiyaç duyulmaması,
- Betonun kalıba yaptığı basınç optimum karışımlarla ayarlandığından, vibrasyonda olmamasından kalıp maliyetlerinin azalması,
- Enerji ve süreden tasarruf sağlanması,
- İşçiliğin azalması,
- Sık donatılı, dar ve derin kesitli betonarme elemanlarının üretilmesinin kolaylaşması,
- Boşluksuz ve geçirimsiz beton elemanların üretilmesi,
- Dayanımı ve kalıcılığı yüksek betonların üretilmesi,
- İşçilik hatalarının azaltılması,
- Betonarme tasarımlarında özgürlük sağlanması,
- Beton içerisinde atık toz kullanımının yüksek olması,
- Pürüzsüz bir yüzey elde edilmesi (Corradi, vd., 2002)

KYB tasarımı üzerinde durulması önemli konulardandır. Tasarım yapılırken malzemeler uygun seçilmezse sorunlar ile karşılaşılabilir. KYB'nin olumsuz özelliklerini sıralayacak olursak;

- Geleneksel betona göre maliyetinin yüksek olması,
- Üretim ve uygulamanın detaylı kontrol süreci gerektirmesi,
- Uygulanacağı her imalat için özel karışım oranlarının ve taze beton özelliklerinin belirlenmesi için daha fazla zaman gerektirmesi,
- Her akışkanlaştırıcının farklı etki göstermesi,
- Pürüzsüz yüzeyin sıva tutmama durumu (Wu, 2005).

## 2.3. Taze KYB'nin Özellikleri

KYB'ler taze özellikleri açısından geleneksel betonlardan farklıdır. Taze haldeki KYB'nin dolun kabiliyeti, geçiş kabiliyeti, ayrışma direncini kontrol eden işlenebilirliğini ve yerleşme kabiliyeti dikkatle kontrol edilmelidir.

### 2.3.1. İşlenebilirlik

Kendiliğinden yerleşen betonların işlenebilirliği, betonun kendi ağırlığı ile kalıpta boşluk kalmayacak şekilde kalıbı doldurması ve her noktasında kaliteyi sağlamasıdır. Taze haldeki kendiliğinden yerleşme kabiliyeti 3 şekilde belirlenebilir.

- Doldurma yeteneği
- Dar kesitlerden ve donatılardan geçiş yeteneği
- Ayırışmaya karşı direnç (Ouchi, 1999).

### 2.3.2. Doldurma yeteneği

KYB kendi ağırlığı ile şeklini değiştirme ve döküldüğü kalıbın şeklini ayırışma göstermeksizin alabilmelidir. Doldurma yeteneği, betonun dökülme noktasından ne kadar ileriye akabildiği ve bu akışın hızı durumlarını içermektedir. İyi bir doldurma yeteneği için, akış kapasitesi ile akış hızı arasında denge olmalıdır. Betonun iyi akış gösterebilmesi için, iri agrega, ince agrega ve bağlayıcıların katı tanecikleri arasındaki sürtünmenin az olması gerekmektedir. KYB'nin akışkanlığının yüksek olması ile ayırışmaya karşı direncinin yüksek olması, engellerin arasından geçerek doldurma kapasitesini arttırmasına sebep olur. Çimento hamuru fazının deformasyon yeteneğinin arttırılması için, su/bağlayıcı oranı dengelenmeli ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmalıdır. Tanecikler arası sürtünmenin azaltılması için ise, karışımda daha az iri agrega hacmi, agregalara ve kullanılan çimentoya bağlı olarak optimum gronülometriye sahip toz kullanılmalıdır (Atlı, 2012).

### 2.3.3. Geçiş yeteneği

KYB istenilen akışkanlığa ve ayırışmaya karşı dirence sahip olduğu zaman etkilidir. Fakat kesitin dar veya çok sık donatılı kesit olduğu durumlarda, ayrıca bir özelliğe daha ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da iri agregaların birbiri üzerinde kemerlenerek akışa engel oluşturmamasıdır. Kemerleme durumu agrega boyutunun büyük ve agrega içeriğinin fazla olması durumunda ortaya çıkmaktadır. Agregaya boyutunun düşürülmesi halinde kemer oluşumu yüksek agrega içeriğinde oluşabilir. Eğer agrega taneleri geçtikleri boşluğun boyutlarına kıyasla çok küçükse kemer oluşumu gerçekleşmeyebilir. İyi bir geçiş yeteneğinin sağlanabilmesi için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır.

- Kohezyonu arttırmak
- Su/bağlayıcı oranını düşürmek

- Viskozite ayarlayıcı katkı (VAK) kullanılması

Uygun geçiş açıklığı ve iri agrega özellikleri için ise, düşük iri agrega içeriği ve en büyük agrega boyutunun azaltılması gerekmektedir (Walraven, 2002) (Dehn, F., 2002).

#### 2.3.4. Ayrışmaya karşı direnç

Taze betonda ayrışma, karışıma giren malzemelerin dağılarak, yapıdaki özellikleri de dağılıma uğratması olayıdır. KYB durağan halde ve akış halinde aşağıdaki ayrışmaları göstermemelidir.

- Terleme
- Çimento hamuru fazı ve agreganın segregasyonu
- Kemerlemeye sebep olan iri agrega ayrışması
- Hava boşluğunun beton içerisindeki dağılımının homojen olmaması

Ayrışmayı engellemek için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır.

Katı malzemelerin ayrışmasının önlenmesi;

- Sınırlı agrega içeriği
- Azaltılmış en büyük agrega tane çapı
- Düşük su/bağlayıcı oranı
- Viskozite arttırıcı katkı kullanımı

Serbest terlemenin minimize edilmesi;

- Düşük su içeriği
- Düşük su/bağlayıcı oranı
- Viskozite arttırıcı
- Yüksek yüzey alana sahip bağlayıcılar. (Collepari, 2001).

#### 2.4. KYB Deney Yöntemleri

Yüksek dayanıma sahip özel betonlar sınıfında olan KYB'ler, karışımda kullanılan mineral ve kimyasal katkıların etkileriyle geleneksel betona göre daha akışkandırlar. Akışkan olmalarından dolayı geleneksel betonlara uygulanan deneyler haricinde kendine özgü deney yöntemleri kullanılmaktadır (Keçeci, 2018).

KYB'lerin taze özelliklerinin ölçmek için çeşitli deney yöntemleri geliştirilmiştir. Betonun KYB olarak tanımlanabilmesi için doldurma yeteneği, geçme yeteneği ve ayrışma direncinin belirli sınır değerler içinde olması gerekmektedir. Çizelge 2.2.' de

istenilen özelliğe göre gruplandırılmış en yaygın test yöntemlerini listeler. Hiçbir deney tek başına KYB parametrelerini belirlemekte yeterlidir. Bu nedenler KYB tasarımı yapabilmek için bu deneylerin birleşimi gerekir (EFNARC, 2005).

**Çizelge 2.2.** İstenilen özelliğe göre en yaygın test yöntemleri (EFNARC).

İstenilen Özellik	Test Yöntemi	Ölçülen Değer
Akışkanlık/Doldurma Kabiliyeti	Çökme Yayılma	Toplam yayılma
	Kajima kutusu	Görsel doldurma
Viskozite / Akışkanlık	T <sub>500</sub>	Akış zamanı
	V hunisi	Akış zamanı
	O hunisi	Akış zamanı
	Orimet	Akış zamanı
Geçme Kabiliyeti	L kutusu	Geçme tayini
	U kutusu	Yükseklik farkı
	J halkası	Kademeli yükseklik, toplam akış
	Kajima kutusu	Görsel geçiş yeteneği
Ayrışma Direnci	İçe girme	Derinlik
	Elek ayrışması	Terleme yüzdesi
	Oturma kolunu	Ayrışma yüzdesi

#### 2.4.1. Çökme yayılma ve T<sub>50</sub> zamanı deneyi

Çökme Yayılma (akma) değeri ve T<sub>50</sub> üresi KYB'nin akıcılığını ve akış hızını hiçbir engel olmadığı durumlarda test etme yöntemidir (TS EN 12350-8).

Deney için 90x90 cm boyutlarında su geçirmeyen, çimento hamurundan etkilenmeyen ve paslanma eğiliminde olmayan pürüzsüz bir zemine, akış süresini kaydetmek için kronometre ve slump hunisine ihtiyaç vardır. Pürüzsüz zemin ve huni nemli bir bezle silinir, zeminde kuru yer kalmamalı ve su kalıntısı da olmamalıdır. Temizlenmiş zemin sabit ve dengeli bir şekilde yerleştirilir. Çökme hunisi 20 cm'lik dairenin içerisine yerleştirilerek şişleme yapılmadan çimento hamuru ile doldurulur. Çökme hunisinin basınç sebebiyle yukarı kalkmasını ve betonun sızmasını engellemek amacıyla doldurma sırasında çökme hunisi zemine doğru bastırılır. Çökme hunisi dolu halde 30 saniyeden fazla bekletilmez ve zemine dik olarak tek bir hareketle kaldırılır. T<sub>50</sub> değeri için, çökme hunisinin zeminden kaldırıldığı anda kronometre çalıştırılır ve harç 50

cm dairesine ilk olarak ulaştığı anda kronometre durdurulur ve bu süre kaydedilir. Yayılma bitene kadar beklenir. Kaydedilen süre KYB'nin akış hızını belirler ve plastik viskozite ile ilişkilendirilmektedir. KYB' nin 50 cm çapa ulaşma süresi  $T_{50}$  olarak adlandırılır. Viskozitesi fazla olan karışımlarda yayılmanın bitmesi için birkaç dakika beklemek gerekebilir. Yayılma durunca birbirine dik iki çap ölçülerek deney tamamlanır. Bu çaplar arasındaki fark 5 cm'den fazla olduğu durumlarda deney tekrarlanmalıdır (Efnarc, 2005).



**Şekil 2.1.** Çökme yayılma ve  $T_{50}$  zamanı deney düzeneği.

Yayılma deneyi sırasında deney sonucunu etkileyecek durumlar, daha çok deneyi yapan kişinin kullandığı aparat ve yöntem (koni çekme hızı ve doğrultusu, yayılma tablasının malzeme sürtünme katsayısı, huni ve tablanın yüzey nem durumu), karışım oranlarındaki elde olmayan değişkenliklere (agrega nem farklılıkları, agrega gradasyonundaki değişkenlikler) bağlıdır (Felekoğlu, 2003).

#### **2.4.2. V hunisi deneyi**

KYB'lerin üretilme sebepleri arasında en ulaşılmaz dar kalıplara ve sık donatılı betonarme elemanlarında boşluk bırakmadan doldurma işleminin yapılabilmesi yer almaktadır. Bu deney KYB'lerin dar kalıplardan geçebilme yeteneğini ölçmek için yapılmaktadır (Tezel, vd., 2005).

Akış hızının belirlenmesi ve gözlem yapılması suretiyle KYB'nin viskozitesini öğrenmeye yarayan bu deney yönteminde, belirli aralıklarla tespit edilen akış sürelerinin değerlendirilmesiyle ayrışma direnci hakkında da bilgi verebilmektedir (Çelik, B., 2013). Bu deneyin yapılabilmesi için karışımdaki en büyük agrega boyutu 20 mm'yi geçmemeli ve 12 litre beton gereklidir. V hunisinin içerisi ve kapağı hafifçe nemlendirilir. Kapak kapatılır ve huninin içerisine beton numunesi sıkıştırılmadan dökülür. Beton numunesinin üst yüzeyi çubuk ile düzeltilir, böylelikle beton numunesinin üst yüzeyi ile huninin üstünün aynı hizada olması sağlanır. V hunisi doldurulduktan 10 saniye sonra kapak açılır ve akışın tam olarak bitmesi için geçen süre kronometre ile ölçülür. Bu V hunisi akma süresidir (EFNARC, 2005).



**Şekil 2.2.** V hunisi deney aparatı.

Beton ve harç için kullanılmak üzere farklı boyutlara sahip V hunisi çeşitleri mevcuttur. V hunisi akma süresi, karışımın viskozitesini belirlemekte kullanılır ancak tek başına yeterli sonuç vermemektedir. Basit olarak, yüksek viskoziteye sahip karışımların V hunisi akma süreleri yüksek iken, düşük viskoziteye sahip karışımların akma süresi düşüktür (Skarendahl ve Petersson, 2000).

Bu deney için, viskozite ile korelasyonun iyi olması ve tekrarlanabilir olması gibi avantajlar ile tek kişinin yapması için fiziksel zorlukların olması, büyük beton

numunelerinin gerekmesi sonuçlar için pratik limitlerin oluşturulmasının zorluğu gibi dezavantajları sayılabilir (Bartos, 2005).

### 2.4.3.L kutusu deneyi



Şekil 2.3. L kutusu deney düzeneği.

Bu deney yöntemi ile taze haldeki KYB'lerin donatılar arasından geçme yeteneğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. L kutusu deneyi ilk olarak Petersson tarafından Japonya'da bir su altı beton dizaynının yapımında kullanılmıştır. L şeklinde yatay ve düşey prizmatik dikdörtgen bölümlerden oluşan aparat şekil 2.3' te görülmektedir. Yatay ve düşey prizmalar arasındaki geçiş kesitinde 41-59 mm boşluklarla üç veya iki düz çelik çubuklar ve bu geçiş bölgesinde bir kapak mevcuttur (Özgüler, 2007). L kutusu yatay düz bir zeminde desteklenir ve kapak kapatılır. Beton L kutusunun doldurma haznesine dökülür ve  $60 \pm 10$  saniye beklenir ve kapak kaldırılır. Hareket durduğunda, L kutusunun yatay bölümünün sonunda, betonun üst kısmı ile kutunun yatay bölümünün üst kısmının arasındaki uzunluk ölçülür, bu ölçüm betonun  $H_2$  mm olarak kaydedilir. Aynı prosedür kapağın hemen arkasındaki beton derinliğini  $H_1$  mm olarak kaydedilir. Geçme yeteneği  $H_2/H_1$  oranından bulunur. Seviye ölçümü haricinde, karışımın kapağın açılmasından itibaren L kutusunun yatay kısmında bulunun 200 ve 400 mm' lik mesafelerden geçiş süreleri de kaydedilir ( $T_{200}$ ,  $T_{400}$ ) (Efnarc, 2005).

#### 2.4.4. J halkası deneyi

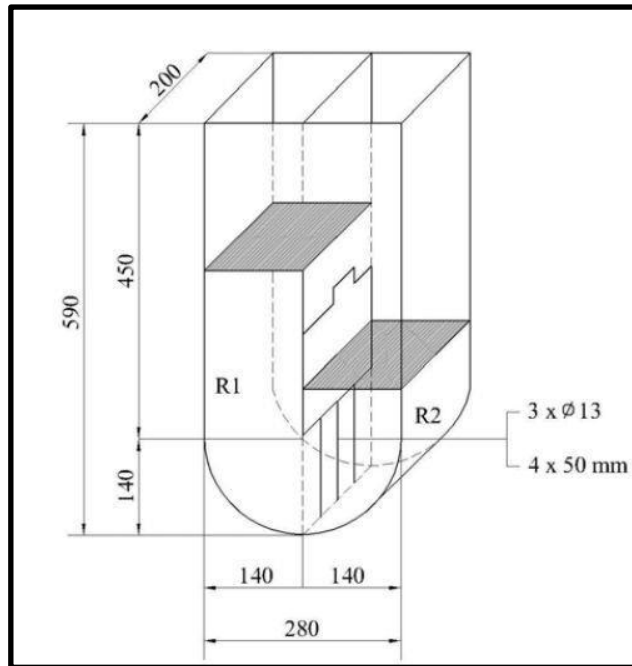
Kendiliğinden yerleşen betonun doldurma ve geçme kabiliyetini bir arada ölçebilen ayrıca kendiliğinden yerleşen betonun ayrışma direncini de ölçebilen deney yöntemidir (Schutter, 2005).



Şekil 2.4. J halkası deney düzeneği.

J halkası deneyi, yayılma deneyi ile birlikte uygulanabilir. Deney aparatı 30 cm çaplı halkaya sabit aralıklarla direk çelik çubuklar bağlanmasıyla yapılmıştır. Bu çubuklar donatıları temsil etmektedir (Tetik, 2005). Çubuklar arası açıklık, kullanılacak betonun en büyük agrega çapının üç katından az olmamalıdır. J halkası Şekil 2.4'te görülüşü gibi yerleştirilir. J halkası içerisine çökme hunisi yerleştirilir. Çökme hunisi sıkıştırılmadan doldurulur. Çökme hunisi dikey olarak kaldırılır ve betonun serbest olarak yayılması beklenir. Betonun son iki çapı dikey yönde ölçülür. İki ölçülen çapın ortalaması hesaplanır. Çelik çubukların içindeki beton yüksekliğı ile dışındaki beton yüksekliğı ölçülür. Dört konumdaki çelik çubukların iç ve dış beton yükseklik farklarının ortalaması hesaplanır (EFNARC, 2002).

### 2.4.5. U kutusu deneyi



Şekil 2.5. U kutusu deney düzeneği (Çelik,2013).

U kutusu deneyi, betonun kendi ağırlığı altında donatı çubukları arasından geçebilme kabiliyetini ölçebilmek için kullanılan bir deney yöntemidir. Beton numunesi U kutusunun bir gözünde yerleştirilir ve bölmeler arası kapak açılır, beton kendi ağırlığı altında donatı çubukları arasından diğer kısma geçmeye çalışır. Akış tamamlandıktan sonra her iki kısımda ki yükseklikler ölçülür ve arasında ki fark ( $H_2 - H_1$ ) hesaplanır (Gökalp, vd., 2008).

### 2.4.6. Doldurma kutusu deneyi

Doldurma kutusu deneyi ile betonun sık donatılı yapı elemanlarında geçme kabiliyeti ve işlenebilirliği ölçülmektedir. Saydam bir dikdörtgen düzenden oluşan deney aletinde, KYB'nin ayrışmadan ve terlemeden çelik çubukların arasından geçişi takip edilir. Saydam kutu içerisinde 35 tane 20 mm çapında çelik çubuklar bulunmaktadır. KYB deney düzeneği içerisine 5 saniye içerisinde 1,5-2 litre akacak hızda dökülür. Akış tamamlandığında kutunun başında ve sonunda bulunan beton yükseklikleri ölçülür ve doldurma oranı hesaplanır. Doldurma oranı %90 ile %100 arasında olmalıdır (Keçeci, 2018).



Şekil 2.6. Doldurma kutusu deney aparatı (Artık, 2009).

#### 2.4.7. Orimet Deneyi

Bu test yöntemi su altındaki betonların kıvamını belirlemek için kullanılmaktadır. 60 cm uzunlukta, 8 ve 12 cm çapında bir tüp ve tüpün altında açılır bir kapaktan oluşmaktadır. KYB tüp içerisine doldurulur ve kapak açılır. Betonun tüpten boşalma süresi kaydedilir (Coşkun, 2013).

#### 2.5. KYB Karışım Tasarımı

KYB TS EN 206-1 standardında belirtilen kıvam değerinden daha yüksek kıvama sahiptir (Dumangöz, 2014). KYB olarak kabul edilecek bir karışımın aşağıda belirtilen gereksinimlerin sağlanması gerekir;

- Kendiliğinden sıkışabilme yeteneği,
- Şekil değiştirme yeteneği ve akıcılık,
- Topaklaşmaya dirençli olması,
- İşlenebilirlik özelliklerini taşıması ve yerleştirme süresince koruması,
- Taşıma ve yerleştirme sırasında dinamik stabilitesini koruması,
- Yerleştirme sonrasında statik stabilitesini koruması (terleme ve ayrışmayı engelleme),
- Homojen yüzey görünümü ve yerinde homojen mekanik özellik gösterme,

- Kullanım ömrü boyunca dayanım ve dayanıklılığını koruma.

**Çizelge 2.3.** Karışım tasarımında alınacak önlemler (EFNARC).

Şekil değiştirme yeteneği	İyi stabilite	Düşük topaklaşma riski
1. Hamurun şekil değiştirme yeteneği artırılmalı a) Akışkanlaştırıcı kullan b) Su/Toz oranını arttır 2. İç sürtünme azaltılmalı a) İri agrega hacmini azalt (hamur hacmini arttır) b) Sürekli gradasyonlu toz kullan	a) Karışıma giren malzemelerin ayrışması engellenmeli b) İri agrega miktarını inirle c) Dmax'ı azalt Kohezyonu arttır - Su/toz oranını azalt - VAK kullan 1. Terleme azaltılmalı a) Karışım suyunu azalt b) Su/toz oranını azalt c) Yüzey alanı fazla toz kullan d) VAK kullan	a) Akış sırasındaki ayrışma engellenmeli su/toz oranını azalt b) VAK kullan 2. Donatılar arası serbest açıklığa göre a) İri agrega hacmini azalt b) Dmax'ı azalt.

Bu kadar çok özelliğin tam olarak sağlandığı bir betonu üretmek uygulamada oldukça zahmetlidir. Bu özellikler her durum için farklılık gösterdiğinden, pek çok inşaat uygulamasında bu özelliklerin her birinin yerine getirilmesi gerekmeyebilir veya bazı faktörlerin önem derecesi azalabilir. KYB karışım tasarımında ancak amaca göre tasarım yöntemi belirlemek optimum çözümü getirebilir (Khayat ve Daczko, 2002). KYB için taze halde en önemli üç özelliği sağlanabilmesi için karışım tasarımında alınacak önlemler Çizelge 2.3'te gösterilmiştir (Çelik., 2013).

KYB için araştırmacılar ve kuruluşlar pek çok tasarım yöntemi geliştirmiştir. KYB üretiminde genel olarak üç farklı yöntem kullanılmaktadır.

- Toz tipi yöntemi: KYB içerisinde iri agrega sınırlandırılır ve bağlayıcı miktarı arttırılır.
- Vizkozite Ayarlayıcı Katkı (VAK) tipi yöntemi: Karışımında yüksek oranda süperakışkanlaştırıcı ile çimento ve mineral bağlayıcı miktarını arttırmaksızın elde edilir.

- Kombinasyon tipi yöntemi: Diğer iki tip karışım tasarımının birleşmesi ile elde edilir (Safiuddin, 2008).

Toz tipi yöntemi ile üretilen KYB'ler Avrupa ülkelerinde katkılı çimentoların kolayca elde edilmesi sebebiyle oldukça fazla kullanılmaktadır. KYB'nin viskozitesi uçucu kül, cam tozu, kireç tozu, silis dumanı ve kuvars tozu gibi filler malzemeler ile sağlanmaktadır (Emiroğlu, 2012).

Viskozite ayarlayıcı katkıları (VAK) kendiliğinden yerleşen betonların reolojik özelliklerini ve kıvamını sağlamak amacıyla kullanılan yüksek ağırlığa sahip, suda çözülebilen organik polimerlerdir (Nanthagopalan, ve Santhanam, 2010). VAK tipi yöntemi özellikle Kuzey Amerika'da pek çok üreticinin VAK üretmesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel betonla kıyaslanırsa kendiliğinden yerleşen betonun karışım tasarımı prensibi, daha düşük iri agregası içeriği, daha fazla pasta hacmi, düşük su/toz oranı, yüksek süperakışkanlaştırıcı miktarı ve VAK kullanımı ile farklılık göstermektedir (Emiroğlu, 2012).

Karışımı tasarlarırken, ana bileşenlerin kütle yerine hacimce görelî oranlarının göz önüne almak daha faydalıdır. Kendiliğinden yerleştirilebilme özelliği için orantıların ve niceliklerin tipik aralıkları aşağıda verilmiştir.

- Hacimce su/toz oranı 0,80-1,10
  - Toplam toz içeriği metreküp başına 160-240 lt (400-600 kg)
  - Kaba agregası içeriği, karışımın hacmine göre genellikle %28-35'tir
  - Su/çimento oranı EN 206'daki gerekliliklere göre seçilir. Tipik olarak su içeriği 200 litre/m<sup>3</sup>'ü aşmaz.
  - İnce agregası oranı diğer bileşenlerin hacmini dengeler (EFNARC, 2002).
- Çizelge 2.4'te tipik KYB karışımı bileşimi aralığı verilmiştir (EFNARC, 2005).

**Çizelge 2.4.** KYB genel tasarım yapısı (EFNARC).

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

## 2.6. KYB'lerde Kullanılan Bileşen Malzemeler

KYB üretimi için kullanılan malzemeler geleneksel betonda kullanılanlar aynıdır (EFNARC, 2005). Buradaki farklılık katkı ve malzeme özellikleri ile ilgilidir.

### 2.6.1. Çimento

TS EN 197' ye uygun tüm çimentoların her çeşidi KYB üretiminde kullanılmasında sakınca yoktur. Çimento tipinin seçimi, mukavemet, dayanıklılık vb. gibi betonun genel gerekliliklerine bağlı olacaktır (Efnarc, 2002).

Çimento içerisinde bulunan  $C_3A$  içeriği %10' dan yüksek ise KYB işlenebilirliğinde zayıflık sorunlarına neden olabilir. KYB üretiminde tipik çimento içeriği  $350-450 \text{ kg/m}^3$  olmalıdır. Karışımda  $500 \text{ kg/m}^3$ ' ten fazla çimento içeriği tehlikeli olabilir ve büzülme arttırabilir.  $350 \text{ kg/m}^3$ ' ten daha azı, uçucu kül, puzolan vb. gibi diğer ince dolgu maddelerinin dahil edilmesi için uygun olabilir (Efnarc, 2002).

### 2.6.2. Agregalar

Agregalar betonu oluşturan ana bileşenlerdendir. Karışımda agrega miktarı en uygun oranda kullanılması beton dayanımını olumlu yönde etkilemektedir (Xie, Y vd, 2005).

Agregaları tanımlayabilmek ve değişik sınıflara ait agregaları beton yapımında doğru kullanabilmek için agregalar sınıflandırılmıştır. Herhangi bir agreganın beton üretiminden kullanılmasına karar vermek için agregaların özelliklerinin deneylerle araştırılması gerekmektedir. Agregalar sınıflandırmaları aşağıda verilmiştir.

- Kaynağına göre: Doğal ve yapay agrega
- Özgül ağırlık veya birim ağırlıklarına göre: Normal, hafif, ağır
- Tane büyüklüklerine göre: İri, İnce
- Tane şekline göre: Yuvarlak, köşeli, yassı, uzun
- Yüzey dokusuna göre: Düzgün, granüler, pütürlü, kristalli, petekli
- Elde edilmiş şekline göre: Doğal, yan ürün, ısıtma işlemi tabii tutulmuş
- Jeolojik özelliklerine göre: Volkanik, tortul, metamorfik
- Mineralojik yapılarına göre: Silis mineralli, karbonat mineralli, mikalı vb.
- Reaktif özelliklerine göre: (agregaların yapısında, çimento içerisindeki alkalilerle reaksiyona girerek betonda genişleme yaratabilecek reaktif silis ve reaktif karbonat içerip içermediklerine göre): Reaktif, reaktif olmayan (Erdoğan, Y., 2003)

Normal ağırlıktaki agregalar EN 12620' ye uygun olmalı ve EN 206-1' in dayanıklılık gereksinimlerini karşılamalıdır. Tüm agregaların nem içeriği, su emilimi, sınıflandırma ve değişimleri yakından ve sürekli kontrol edilmesi sabit kalitede KYB üretimi için gereklidir (EFNARC, 2005).

KYB üretiminde kullanılan iri agrega boyutunun belirlenmesinde donatı aralığı ana faktördür. KYB donatı boyunca akarken ve L-kutusu testi, bir kendiliğinden yerleşen beton geçme kabiliyetinin bir göstergesi olduğundan, agrega tıkanmasından kaçınılmalıdır. Daha büyük boyutlar kullanılsa da agreganın maksimum boyutu genellikle 12-20 mm ile sınırlandırılmalıdır (EFNARC, 2005).

Partikül büyüklüğü dağılımı ve iri agrega şekli, KYB'nin akışkan ve geçme özelliğini doğrudan etkiler. Agrega parçacıkları ne kadar küresel olursa, tıkanmaya neden olma ihtimalleri o kadar düşüktür ve iç sürtünmenin azalmasından dolayı akış artar (EFNARC, 2005).

İnce agregaların KYB'lerin taze özellikleri üzerinde ki etkisi, iri agregadan önemli ölçüde fazladır. 0.125 mm'den düşük olan ince agrega KYB'nin toz içeriğinde katkıda bulunduğu kabul edilir ve su/toz oranının hesaplanmasında dikkate alınmalıdır (EFNARC, 2005).

Agrega yüzey neminden kaynaklanan su fazlalığının olumsuz etkisi geleneksel betonda basit çözümlerle engellenebilir. Örneğin, çimento dozajını bir miktar yükseltmek tasarımında güvenlik sağlamak için yeterli olacaktır. KYB'de su fazlalığı karışımın reolojik özelliklerini kaybetmesine sebep olarak ayrışma riskini arttırmaktadır. Bu nedenle KYB agrega nemine çok hassastır. Su emmesi yüksek olan pomza kumu vb. gözenekli malzemeler kullanılması halinde tasarımda ek önlemler alınmalıdır. Agrega nemi laboratuvar ortamında tespit edilerek deneysel çalışmalarda kolaylıkla dikkate alınabilmektedir. Günümüzde beton santralleri, agregaları sahada muhafaza etmelerinden ötürü hava kusur durumunda kullanmaktadırlar. Bu durumda günlük veya haftalık olarak havanın nem durumunda göre karışımlarda su düzeltilmesine gitmektedirler (Çelik, 2013).

### **2.6.3. Mineral Katkılar**

KYB'lerin taze özellikleri için ihtiyaç olan, kohezyon ve ayrılma direncini geliştirmek ve korumak için yaygın olarak inert, puzolonik ve hidrolik katkıları kullanılır. Mineral katkı ayrıca hidrasyon ısısını ve termal büzülme azaltmak için çimento içeriğini

de düzenleyecektir. KYB, genellikle yüksek kalitesi ve iyi görünümü sebebiyle tercih edilir, ancak katkının kaynağı iyi bir renk tutarlılığında sahip değilse bu tehlikeye girebilir. Çizelge 3.5'te mineral katkıların su ile reaktif kapasitelerine göre sınıflandırılabilirliği gösterilmiştir (Efnarc, 2005).

**Çizelge 2.5.** Mineral katkıların su ile reaktif kapasitelerine göre sınıflandırılması (EFNARC).

TİP 1	Atıl yada Yarı Atıl	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mineral filler</li> <li>• Pigmentler</li> </ul>
TİP 2	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>• Öğütülmüş yüksek fırın cürufu</li> </ul>

Mineral katkıların tane dağılımları, su emme oranları, yüzey şekilleri karışımın su ihtiyacının etkilemektedir. Kalsiyum karbonat içeren mineral bağlayıcılar karşına çok iyi reolojik özellikler kazandırdıklarından KYB'lerde en yaygın kullanılan katkılardandır. KYB'ler için kullanılacak mineral katkılardan en uygun seçimi 0,125 mm'den daha ince ve 63 mikronluk elek fraksiyonu %70'den büyük olmalıdır (Efnarc, 2005).

Betonda karışımlarında en fazla kullanılan mineral katkıları puzolonik malzemelerdir. Puzolonik malzemeler kendi başlarına bağlayıcı özelliği olmayan, fakat ince öğütülmüş halde ve nemli ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girip bağlayıcı özelliğe sahip bileşenler meydana getiren silisli veya silisli alüminli malzemelerdir. Doğal puzolanlar bims çeşitli volkanik küller ve tüfler olarak bilinmektedir. Yapay puzolanalar için ise termik santrallerin atıklarından olan uçucu küller, demir üretiminde bir atık madde olan yüksek fırın cürufu ve silikon metal ve alaşım endüstrisi atığı olan silis dumanı buna örnek olarak verilebilir (Özkuş, vd., 2004).

Puzolanların çeşitli beton özelliklerine etkileri aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Karışım suyunu arttırlar. Fakat uçucu küllerin bazıları azalmaya neden olabilir.
- İşlenebilme yükselir, ayrışma ve terleme düşer.
- Donma – çözülme direnci erken yaşlarda azalır.
- Erken yaşlarda dayanım arma hızı azalır. Fakat ileri yaşlardaki dayanımlar yüksek olur.

- Alkali – agrega reaksiyonu riski azalır.
- Hidratasyon ısısı azalır.
- Rötire genellikler artar.
- Sülfat direnci artar (Özkul, 2004).

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

#### **2.6.4. Kimyasal Katkılar**

Beton katkı maddeleri; su, agrega ve çimento dışında betonlara veya dökümden önce transmiksere çok düşük miktarda katılan organik ve inorganik kimyasal maddelerdir (Çubuk, 2017).

KYB’lerde, betonun istenilen özelliklerini elde edebilmek için çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Kimyasal katkı türleri ve özelliklerine göre, akışkanlaştırıcı katkılar, vizkozite düzenleyiciler, hava sürükleyici katkılar, su tutucu katkılar olmak üzere sınıflandırılabilirler. Akışkanlaştırıcı kimyasallar, süper ya da hiper akışkanlaştırıcılar olarak sınıflandırılabilir. KYB üretimi için akışkanlaştırıcı kimyasalların kullanılması gerekmektedir. Tercih edilen akışkanlaştırıcı katkıların mutlaka TS EN 934-2’ye uygun olmalıdır. Akışkanlaştırıcılar KYB’lerde su/çimento oranını düşürürler. Su/çimento oranının düşmesi beton basınç dayanımında önemli ölçüde artışa sebep olmaktadır (Keçeci, 2018).

Betonun, kendiliğinden yerleşebilme özelliğini gösterebilmesi için iki şartı bulunmaktadır. Birincisi akıcılık, ikincisi ise ayrışmaya karşı yüksek direnç sağlamaktır. Akıcılığın su miktarının artırılarak sağlanması halinde ayrışma meydana gelmektedir. Bu durum ancak etkili bir kimyasal akışkanlaştırıcı kullanılmasıyla düzeltilir (Sağlam, vd., 2004).

Polikarboksilat eter esaslı süper akışkanlaştırıcıların geliştirilmesi KYB’lerin gelişmesine katkıda bulunmuştur. Ancak, yalnız kimyasal katkı kullanımı KYB üretimi için yeterli olmamış ve toz malzeme olarak adlandırılan mineral katkıların normal betonda olduğundan daha fazla kullanılması zorunlu olmuştur (Dransfield, 2009).

### 2.6.5. Karışım Suyu

Karışım suyu geleneksel betonlarda olduğu gibi aynı sınırlamalar uygulanarak KYB’lerde de kullanılabilir. Betonda geri dönüşüm suyu kullanıldığından, suyun tip, içeriği ve özellikle asılı taneciklerin içeriğindeki değişiklikler, karışımın harmanlar arası üniformaluluğunu etkileyebileceğinden dikkate alınmalıdır (EFNARC, 2005).

### 2.7. Konuyla İlgili Yapılmış Çalışmalar

Yücesoy, (2003), çalışmasında M. Kemalpaşa Karaorman mevkiinden alınan kumun alkali silika reaksiyonu açısından potansiyelini incelemiş ve örnek olarak alınan kumun ince kesiti yapılmış ve ince kesitler mikroskop ile incelenerek alkali silika reaksiyonuna sebep olan minerallerin varlığı saptanmıştır. Reaksiyon oluşturmak amacıyla malzeme, harç prizması testine tabi tutulmuştur. Test sonucundan reaksiyon oluşmuş, malzemenin alkali silika reaksiyonu açısından sakıncalı olduğunu belirlemiştir. Alkali silika reaksiyonunun sebep olacağı zararlar ortadan kaldırmak için, örnek alınan malzeme ile üretilecek betona %55 oranında zararsız malzeme karıştırılmasının uygun olacağı gözlemlenmiştir.

Taban, (2005), yaptığı yüksek lisans tezinde Ermenek Havzası Çetinkalesi Tepe civarına ait kayalardan üretilen kırmataşların alkali silika reaksiyonuna ilişkin özelliklerini belirlemiştir. Kırmataş örnekleri üzerinde alkali silika reaksiyonunu belirlemek için kimyasal analiz ve hızlandırılmış harç çubuk deneylerini yapmıştır. Araştırma bölgesinden elde edilecek kırmataşların alkali silika reaksiyonu açısından zararsız olduğu belirlenmiştir.

Kandemir, (2005), yaptığı “*Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kalıcılık Özelliğinin İncelenmesi*” isimli çalışmasında beton yol uygulamalarında kullanılabilmesi amacıyla kendiliğinden yerleşen beton özelliklerini sağlayan karışımlar dizayn edilmiş ve donma-çözülme, aşınma ve buz çözücü tuzlara dayanıklılıklarını araştırmıştır.

Özgüler, (2007), yaptığı “*Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekaniksel Özelliklerine Agregat Tipinin Etkisi*” isimli çalışmasında maksimum agregat boyutu 16 mm olan 2 farklı tip agregat ile 350 ve 400 dozluk 4 seri hazırlanan 44 numune ile sertleşmiş haldeki betonun özelliklerini incelemiştir. Yapılan çalışmada agregat tipinin kendiliğinden yerleşen betonun mekanik özelliklerine etkisinin olduğunu, KYB’de normal agreganın kırma taşa nispetle kullanılmasının daha uygun olacağı gözlemlenmiştir.

Artık, (2009), yaptığı “*Kendiliğinden Yerleşen Betonda Farklı Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi*” isimli çalışmada kırma taş ve çakıl agrega türleri için 5 farklı karışım oranı hazırlanmış ve çalışmada toz miktarı sabit tutularak su/bağlayıcı oranı değiştirilerek her agrega türü için 5’er seri olmak üzere toplam 10 seri beton karışımı hazırlanarak betonun özellikleri incelenmiştir. Optimum s/b oranı ile çakıl agregasının taze beton özelliklerinin, kırma taş agregasının ise sertleşmiş betonda dayanım özelliklerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Gümüş, (2010), yaptığı yüksek lisans tezinde su/çimento oranı 0,28 olarak belirlemiş, en büyük çapa sahip kırma taş agrega ebatı ve karışımdaki yüzdesini sabit tutularak agrega hacim konsantrasyonunu değiştirmişler, üretilen numunelere tek eksenli basınç dayanımları incelenmiştir. Ayrıca disk numunelere yarma deneyleri yapılmış bu betonların şekil değiştirmeleri ile agrega konsantrasyonu arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Garan, (2010), çalışmasında su/çimento oranı 0,28 olarak belirlenmiş ve en büyük çakıl taşı agregasının tane boyutu karışımdaki oranı sabit tutularak agrega hacim konsantrasyonunu değiştirmişler, üretilen numunelerin elastik olmayan davranışı tek eksenli basınç durumunda incelenmiştir. Ayrıca disk numunelere yarma deneyleri yapılmış bu betonların şekil değiştirmeleri ile agrega konsantrasyonu arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Özger, (2011), yüksek lisans tezinde Kendiliğinden yerleşen betonun maliyetini arttıran çimento oranlarının azaltılarak yerine mineral katkı koyularak betondaki durabilite özelliklerine olan etkilerini araştırmıştır.

Atlı, (2012), araştırmasında farklı agregaların çimento ile farklı ikame oranlarında kullanılmasıyla üretilen KYB’lerin taze haldeki işlenebilirlik, sertleşmiş halde ise mekanik özelliklerini incelemiştir.

Emiroğlu, (2012), yaptığı doktora çalışmasında lastik kaplama işlemi sırasında atık olarak ortaya çıkan ve lif şeklinde elde edilebilen lastik agregalar kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton üretimi olanakları ve betonların taze ve sertleşmiş beton özelliklerini araştırmıştır. Araştırma sonucunda kendiliğinden yerleşen beton içerisinde lastik ikamesinin kullanılabilmesi ancak lastik ikamesinin kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının yerleşme ve geçiş kabiliyetini düşürdüğü kanaatine varmıştır.

Çelik, (2013), isimli yüksek lisans çalışmasında KYB’nin taze ve sertleşmiş özellikleri üzerinde tüm karışımlarda nehir kumu sabit tutulmak üzere, farklı nem

durumuna (Fırın kurusu ve ıslak) sahip kırma bazalt, kırma kalker ve nehir çakılının etkilerini araştırmıştır.

Coşkun, (2013) doktora çalışmasında farklı agrega tipleriyle elde edilen KYB'nin mekanik özellikleri ve aderans dayanımını araştırmıştır. Araştırmasında agrega olarak dere, kırmataş ve pomza, mineral katkı olarak da 4 farklı oranda silis dumanı ve uçucu kül kullanılarak toplam 24 farklı KYB serisi elde etmiş ve numunelere basınç, eğilmede çekme, yarmada çekme ve aderans dayanımı deneyleri uygulamıştır.

Dumangöz, (2014), yaptığı çalışmasında mermer tozu ve yüksek fırın cürufu ince malzeme olarak kendiliğinden yerleşen beton karışımlarında kullanılarak reolojik ve işlenebilirlik özellikleri ve diğer sertleşmiş beton özellikleri deneysel çalışmalar ile belirlenmiştir. Daha sonra bu numunelerin kalıcılık özelliklerinden, sülfat etkisi, donma çözülme direnci ve aşınma direnci deneyleri uygulanıp mikroyapı incelemeleri yapılarak mermer tozu ve yüksek fırın cürufunun bağ yapısındaki etkilerini araştırmıştır.

Özyaşar, (2016), çalışmasında deneysel verilerden elde edilen taze KYB'nin akış davranışının sayısal olarak modellemesini amaçlamıştır. Modellemede öncelikle homojen akışkan kabulü yapılarak KYB'nin sayısal benzetimi reometre, L-kutusu, V-hunisi ve J-halkası deneylerinde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) modelinin doğruluğu ve hassasiyeti test edilmiştir. Daha sonra mevcut HAD modeline, agrega etkilerini içeren uygun bir "parçacık taşınım modeli" dahil edilerek KYB'nin daha gerçekçi sayısal benzetimleri yapılmıştır. Böylece laboratuvar deneyinin mümkün olmadığı geometri ve koşullardaki KYB uygulamalarında sayısal benzetim yolu ile elde edilen sonuçlara dayalı olarak KYB karışımı için uygun reolojik parametreleri belirlenebileceği araştırılmıştır..

Çubuk, (2017), çalışmasında agregaların çaplarının betonun taze ve sertleşmiş özelliklerine etkilerini araştırmak için tüm malzeme miktarları aynı olan 5 farklı beton serisi hazırlanarak taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton deneyleri yapmıştır.

Keçeci, (2018), "*Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Silis Dumanı Kullanımını Beton Basın Dayanımında ve Aderansa Etkileri*" isimli çalışmasında mineral katkı olarak kullanılan silis dumanının beton basınç dayanımına ve kenetlenmeye olan etkileri deneysel olarak incelemiştir.

### 3. MALZEME ve YÖNTEM

#### 3.1. Kullanılan Malzemeler

##### 3.1.1. Agregalar

Beton serilerinde 2 farklı agrega kullanılmıştır. 1. Tip agrega Bilecik sınırları içerisinde Osmaneli ilçesinden geçmekte olan Sakarya nehrinden temin edilen doğal agrega, 2. Tip agrega ise Bilecik Dağ-ış Madencilik taş ocağından elde edilen kalker kökenli kırma taş agregadır. Çalışmada agrega ebatları 0-4 4-12 mm olarak seçilmiştir. Şekil 4.1' de kullanılan agregalar gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kullanılan agrega çeşitleri

### 3.1.2. Çimento

Deneyisel çalışmalarda Bilecik'te üretim yapan SANÇİM çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1.' de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.

Kimyasal Özellikler		Fiziksel ve Mekanik Özellikler		
SiO <sub>2</sub>	10,10	İncelik (45 µm elek üstü %)	7,15	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,48			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,09	Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3,12	
CaO	63,65	Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3690	
MgO	2,50	Priz başı (saat-dk)	2 sa – 31 dk	
SO <sub>3</sub>	2,84	Priz sonu (saat-dk)	3 sa – 11 dk	
Kızdırma Kaybı	3,90	Hacim genişmesi (mm)	1	
Na <sub>2</sub> O	0,21	Basınç Dayanımı (MPa)	27,90	
Na <sub>2</sub> O e: Na <sub>2</sub> O + 0,658 * K <sub>2</sub> O	0,62			2.gün
Cl	0,015			28.gün
Ölçülemeyen	0,52	Kıvam suyu %	29,5	
Toplam	100			
Serbest CaO	0,44			
Çözülemeyen kalıntı %	0,55			

### 3.1.3. Uçucu kül

Uçucu kül kömürle çalışan termik santrallerin çalışması sırasında ortaya çıkan atık üründür. Uçucu küller çevreyi olumsuz etkileyeceklerinden, termik santral bacasından çıkarak havaya karışmaları önlenir. Bir yılda dünya genelinde 750 milyon ton uçucu kül ortaya çıkmaktadır (Guo, vd., 2019). Türkiye' de ise yıllık ortaya çıkan uçucu kül

ortalama 16 milyon kadardır (Kaplan, vd., 2010). Günümüzde ise bu rakamın 20 milyon ton civarında olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada, Kütahya Seyitömer termik santralinden elde edilmiş uçucu kül kullanılmıştır. Çizelge 3.2’de uçucu külün kimyasal analiz sonrası sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Seyitömer uçucu külünün kimyasal analiz sonuçları.

Oksit	Uçucu Kül (%)
SiO <sub>2</sub>	54,49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,27
S+A+F	84,34
CaO	4,26
MgO	4,48
SO <sub>3</sub>	0,52
K <sub>2</sub> O	2,01
Na <sub>2</sub> O	0,65
KK	3,01
Cl-	0,006
Serb.CaO	0,26
Reak.SiO <sub>2</sub>	39,01
Reak.CaO	2,49

#### 3.1.4. Mermer tozu

KYB karışımında viskozite arttırıcı malzeme olarak mermer tozunun kullanılması araştırılmış ve 200 kg/m<sup>3</sup> oranında mermer tozu kullanımının KYB’nin taze ve sertleşmiş beton özelliklerine olumlu etkisi olduğu kanıtlanmıştır (Topçu, vd., 2009).

Bu çalışmada, Bilecik’te mermer işletme tesisine ait mermer kesimi sırasında ortaya çıkan çamur halindeki mermer tozu temin edilmiştir. Mermer tozları etüvde kurutularak konkasörden geçirilmiş, sonrasında ufalanarak ince taneli hale getirilmiştir.

#### 3.1.5. Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı

DeneySEL çalışmaların tamamında BASF Glenium RMC 303 süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Çizelge 3.3’ te süperakışkanlaştırıcı katkının teknik özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Süper akışkanlaştırıcı katkı teknik özellikleri.

Malzemenin yapısı	Polikarboksilik eter esaslı
Görünüm	Yeşil – sıvı
Özgül ağırlık (20°C’de)	1,00 – 1,10
pH değeri	5 – 8
Alkali içeriği (%)	≤ 3,00 (Kütlece)
Klor iyon içeriği (%)	≤ 0,10 (Kütlece)
Korozyon davranışı	Sadece EN 934-1:2008, EK A.1
Tehlikeli maddeler	Tamamen Ek-AZ’ye uygundur.

### 3.1.6. Karışım suyu

Deneysel çalışmada Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi şebeke suyu kullanılmıştır.

### 3.2. Yöntem

Yapılan tez çalışmasında KYB’lerde agrega türü farklılığının taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla 0-4 mm ve 4-12 mm ebatlarında, Sakarya nehrinden çıkarılan doğal kum ve doğal agrega, Bilecik taş ocaklarında üretilen kalker kökenli kırma kum ve kırmataş agrega KYB karışımlarında kullanılmıştır. Ayrıca KYB karışımlarında mineral katkı olarak kullanılan uçucu kül ve mermer tozunun da etkileri incelenmiştir. 8 farklı seride KYB üretimi yapılmıştır. Beton serilerinde agrega cinsi ve mineral katkı değiştirilmiştir. Her bir seri beton için taze betonda işlenebilirlik deneyleri, sertleşmiş betonlarda ise 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları, ayrıca 28 ve 90 günlük numunelere kılcallık, su emme, donma çözülme, ultrases geçiş hızı ve aşınma deneyleri yapılmıştır. 25x25x285 mm ebatlarında harç numuneleri hazırlanarak sülfat direnci deneyi ve alkali silika reaksiyonu deneyleri yapılmıştır.

Deneysel çalışmalar Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılmıştır. Beton serilerinin karışımları düşey eksenli betoniye kullanılarak hazırlanmıştır. Betoniye içerisine sırasıyla kum, agrega, çimento eklenerek kuru karışım karıştırılmış sonrasında katkı ile su karışımı ilave edilmiştir (Şekil 3.2.).



**Şekil 3.2.** Betoniyer ile karıştırma.

Üretilen her seri betona yapılan taze beton deneyleri sonrası, basınç dayanımı, kılcallık ve su emme, ultrases geçiş hızı deneylerinde kullanılmak üzere 4 adet 150\*150\*150 mm ebatlarında küp numune, Donma çözülme deneyinde kullanılmak üzere 2 adet 100\*100\*100 mm ebatlarında küp numune, Aşınma direnci deneyinde kullanılmak üzere 2 adet 70\*70\*70 mm ebatlarında küp numuneler TS EN 12390-2 standartlarında uygun olarak kalıplara yerleştirilerek 24 saat kalıp içinde bekletildikten sonra kalıplar sökülerek, kür havuzunda bulunan su içine bırakılmıştır.



**Şekil 3.3.** Hazırlanan beton karışımlarının kalıplara yerleştirilmesi.



Şekil 3.4. Hazırlanan beton karışımlarının kalıptan sökülüp kür havuzunda bekletilmesi.

### 3.2.1. Elek analizi deneyi

Her agreg türü için TS EN 933-1 standardına göre elek analizi yapılmıştır. Agreg numuneleri 105°C sıcaklıkta 24 saat etüve bekletilmiş, kuru agregalara elek analizi deneyi yapılarak çıkan sonuçlar gronülometri hesabı için kullanılmıştır. Şekil 3.5.'de elek analizi deneyi yapılışı gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Elek analizi deneyi yapılışı.

### 3.2.2. Metilen mavisi deneyi

İnce agregalar için TS EN 933-9 standardına göre metilen mavisi deneyi yapılmıştır. 500 ml'lik damıtık ve demineralize su behere konmuştur ve kurutulmuş deney numunesi kısmı spatül ile iyice karıştırılarak behere ilave edilmiştir. Karıştırıcı,

600 devir/dakika hıza ayarlanır ve pervane, beher tabanından yaklaşık 10 mm yüksekte olacak şekilde yerleştirilmiştir. Sonrasında karıştırıcı çalıştırılmış ve beherdeki malzeme 5 dakika boyunca karıştırılmış ve 5 ml boya çözeltisi ilave edilmiş, sonra 1 dakika daha karıştırılmış ve süzgeç kâğıdı üzerine leke deneyi yapılır. Bu işlem süzgeç kâğıdı üzerinde hâle görülene kadar devam edilir. Şekil 3.6'da metilen mavisi deneyi yapılışı gösterilmiştir.



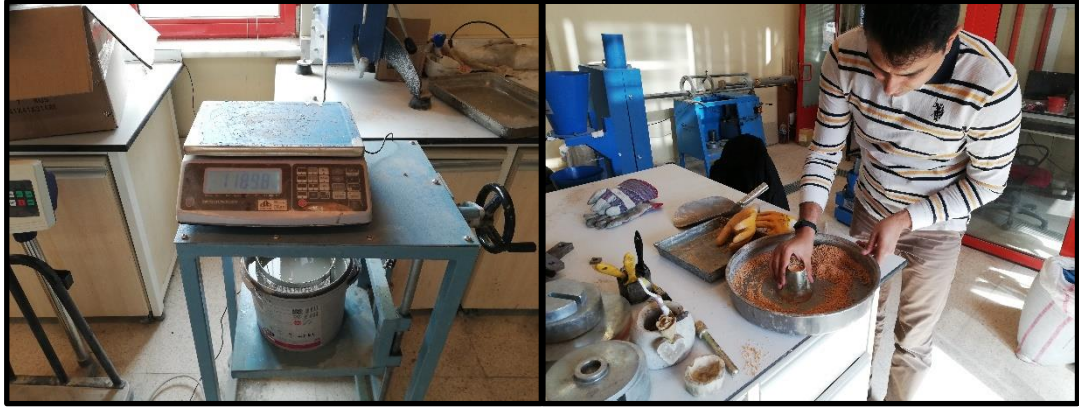
Şekil 3.6. Metilen mavisi deneyi yapılışı.

### 3.2.3. Özgül ağırlık deneyi

TS EN 1097-6 standardına göre özgül ağırlık deneyi yapılmıştır. İnce agreganın özgül ağırlığını belirlemek için 4,75 mm – 0,075 mm arası iki agrega türünden 1 kg numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin üzerine üstünü geçecek şekilde su ilave edilmiş, numuneler 24 saat tepside su içinde bekletilmiştir. 24 saat sonra tepsideki fazla su dökülmüş ve sudan çıkan numuneler sıcak hava kaynağı yardımı ile yüzey kuru suya doymun hale getirilmiş ve ağırlıkları ölçülmüştür. Yüzey kuru suya doymun hal koni metodu ile belirlenmiştir. Yüzey kuru suya doymun hal sağlandıktan sonra, piknometrenin boş ağırlığı ölçülmüştür, piknometre çizgisine kadar saf su eklenmiş ağırlığı ölçülmüştür, sonrasında agrega numuneleri piknometreye yerleştirilmiş ve numune üzerine su eklenmiş ve boşluk kalmaması için sarsılmış ve biriken köpük alınmış ve tekrar tartılmıştır. Numune piknometreden çıkarılır 110°C etüvde kurutulur ve kuru ağırlığı belirlenmiştir.

İri agreganın özgül ağırlığını belirlemek için 2 kg numune tartılır ve tartılan numuneler yıkanır agreganın üzerini geçecek miktarda su ilave edilmiş ve numuneler 24

saat tepside bekletilir. 24 saat sonra numuneler sudan çıkarılmış havlu yardımıyla yüzey kuru suya doymun hale getirilmiş ve ağırlığı ölçülmüştür. Sonrasında numuneler tel sepet yardımıyla üstten 5 cm su içerisinde kalacak şekilde su dolu kovaya doldurulmuş ve sudaki ağırlığı belirlenmiştir. Sonrasında 110°C etüvde kurutulmuş ve kuru agrega ağırlığı belirlenmiştir. Şekil 3.7’de özgül ağırlık deneyinin yapılışı gösterilmiştir.



Şekil 3.7. İri ve İnce agrega özgül ağırlık deneyi yapılışı.

### 3.2.4. Birim ağırlık deneyi

TS 3529 standardına göre birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Agregalar kaba konulmadan önce kabın ağırlığı ölçülmüş, sonrasında agregalar sıkıştırılmadan kap ile birlikte ağırlığı ölçülerek gevşek birim ağırlığı belirlenmiştir. Aynı işlem tekrarlanmış fakat bu sefer agregalara sıkıştırılarak kaba konulmuş ve ağırlığı ölçülerek sıkışmış birim ağırlığı belirlenmiştir. Şekil 3.8’de birim ağırlık deneyi gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Birim ağırlık deneyi yapılışı.

### 3.2.5. Parçalanma direnci deneyi

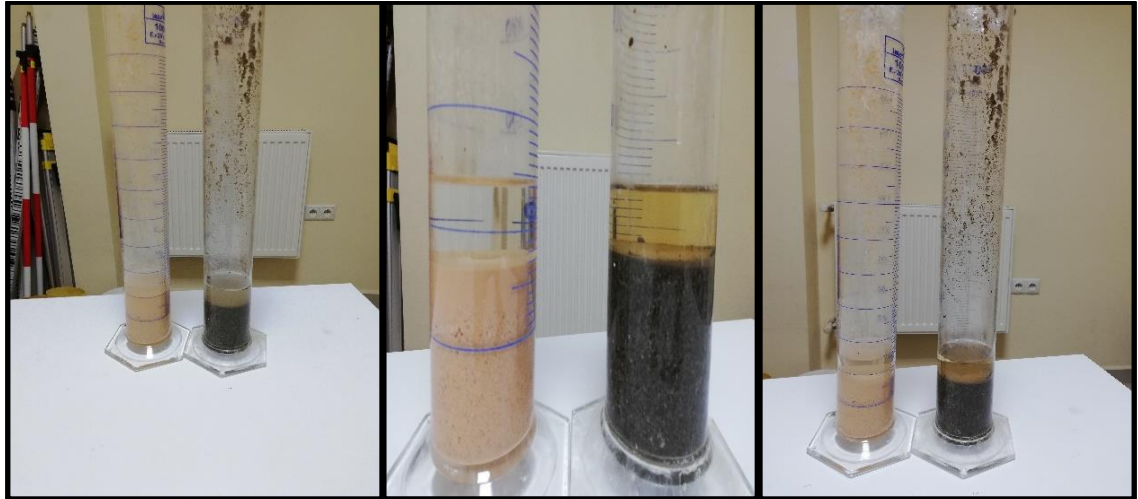
TS EN 1097-2 standardına göre parçalanma direnci deneyi yapılmıştır. İri agregalar makineye konulmuş ve makine 31 devir/dakika ile 33 devir/dakika arasında sabit hızda 500 devir döndürülmüştür. Makineden çıkarılan agregalar 1,6 mm'lik elekten elenmiş ve elekte kalan kısım etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Şekil 3.9'da parçalanma direnci deneyi yapılışı gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Los Angeles deneyi yapılışı.

### 3.2.6. Organik madde tayini deneyi

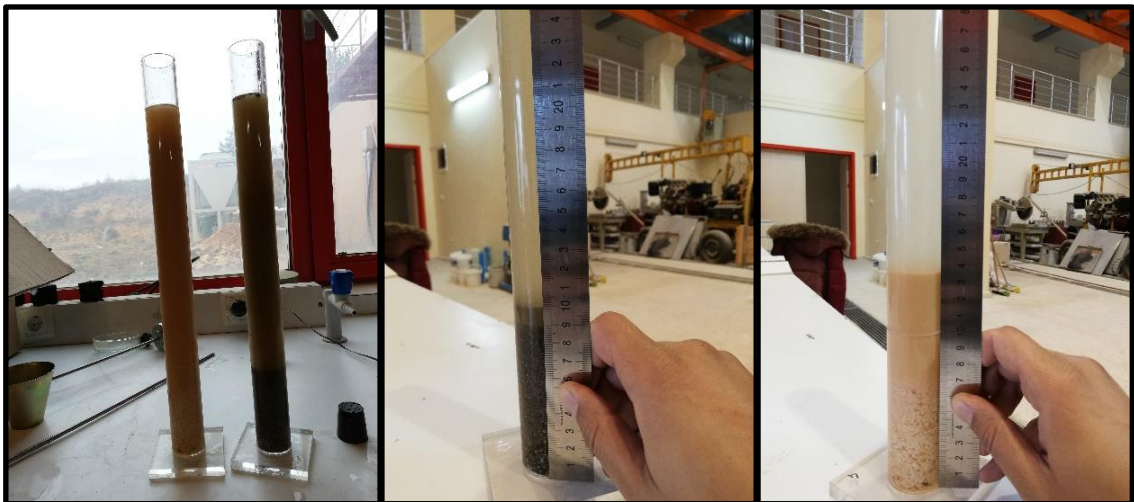
TS EN 1744-1 standardına göre organik madde tayini deneyi yapılmıştır. 1 lt suya 30 gr NaOH konulmuş ve sodyum hidroksit eriği hazırlanmıştır. Cam eprüvetin 100 ml kısmına kadar konulan agregalar üzerine hazırlanan eriyikten 160 ml kısmına kadar dökülmüştür. Eprüvet içindekiler dökülmeden kuvvetli bir şekilde çalkalanmış ve 24 saat hareket ettirmeden güneş görmeyen bir odada muhafaza edilmiştir. Bu süre zarfında eriyik rengindeki değişim takip edilmiştir. Şekil 3.10'da organik madde tayini deneyi yapılışı gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Organik madde tayini deneyi yapılışı.

### 3.2.7. Kum eş değeri deneyi

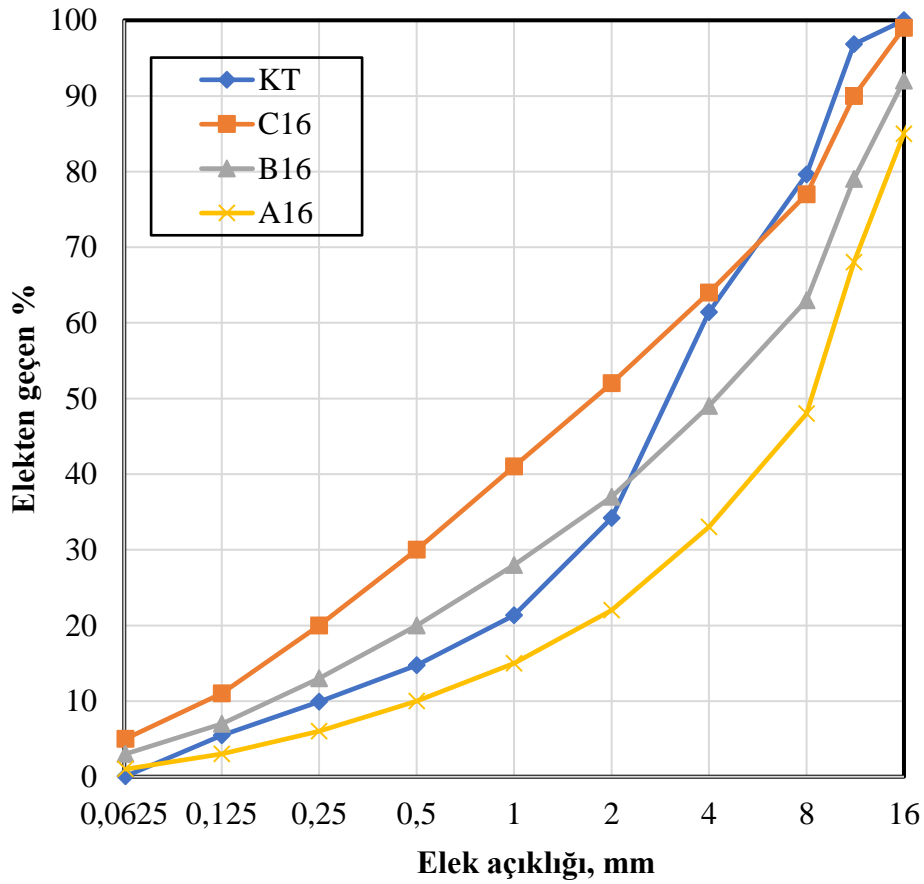
TS EN 933-8 standardına göre kum eş değeri deneyleri yapılmıştır. Deneyin yapılması için öncelikle solüsyon hazırlanmıştır. 350 ml damıtılmış suda çözülmüş 219 gr kristal kalsiyum klorür, 480 gr gliserin ve 12,5 gr formaldehit, 1 litre damıtılmış suya ilave edilerek iyice karıştırılmış ve solüsyon elde edilmiştir. Bu deney doğal kum ve kırma kum için uygulanmaktadır. 4 mm elekten elenmiş numuneler kullanılmıştır. Deney pistonu çökeltinin üstüne ulaşınca kadar yavaşça tüp içerisine indirilmiş, pistonun tabanı çökeltinin üstüne oturunca ölçüm alınmıştır. Şekil 3.11.'de kum eş değeri deneyi yapılışı gösterilmiştir.



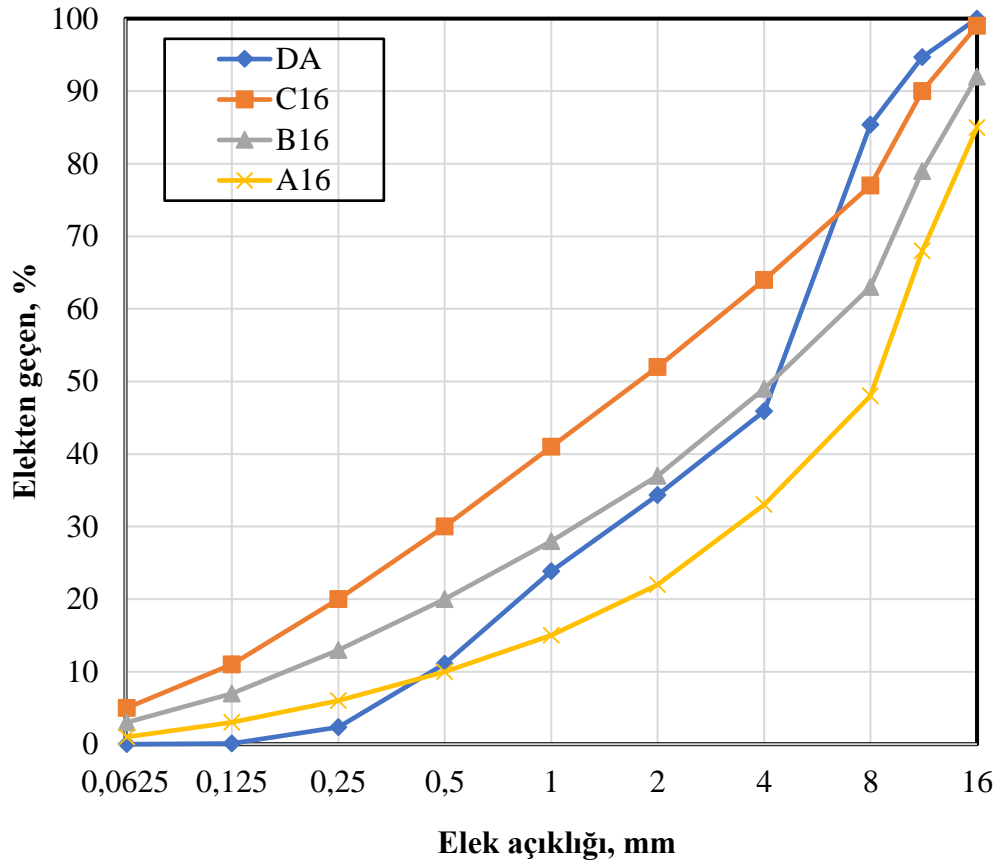
Şekil 3.11. Kum eş değeri deneyi yapılışı.

### 3.2.8. Karışım Oranları

Çalışmada tüm serilerin su/bağlayıcı oranı 0,40 olarak belirlenmiştir. Üretilen beton serileri için kullanılan kısaltmalar, kırma taş agregası (KT), doğal agregası (DA), uçucu kül (UK), mermer tozu (MT), kırma kum (KK), Doğal kum (DK) olarak gösterilmiştir. Çalışmada çimento, akışkanlaştırıcı katkı ve su sabit tutularak, uçucu kül, mermer tozu ve agregası türleri değiştirilerek 8 seri beton karışımı hazırlanmıştır. Kullanılan agregaların granülometri eğrileri Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te kendiliğinden yerleşen beton karışım tasarımı Çizelge 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Kırmataş agregası granülometri eğrisi (%50 0-4 mm, %50 4-12 mm).



Şekil 3.13. Doğal agrega granülometri eğrisi (%50 0-4 mm, %50 4-12 mm).

Çizelge 3.4. 1 m<sup>3</sup> beton karışımında kullanılan malzeme miktarları.

Beton Serisi	S/B	Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	Toz (kg/m <sup>3</sup> )	Katkı (kg/m <sup>3</sup> )	Su (kg/m <sup>3</sup> )	Kırmataş agrega (kg/m <sup>3</sup> )		Doğal agrega (kg/m <sup>3</sup> )	
						0-4	4-12	0-4	4-12
KT+UK	0,4	400	100	6	229	77	804		
DA+UK	0,4	400	100	6	200			756	813
KT+MT	0,4	400	100	6	229	77	804		
DA+MT	0,4	400	100	6	200			756	813
KT+DK+UK	0,4	400	100	6	200		804	756	
DA+KK+UK	0,4	400	100	6	229	77			813
KT+DK+MT	0,4	400	100	6	200		804	756	
DA+KK+MT	0,4	400	100	6	229	77			813

### 3.2.9. V Hunisi Deneyi

Şekil 3.14’da görülen huni TS EN 12350-9 standardına göre, her beton serisi için taze beton ile doldurulmuştur. Doldurma aşamasında hiçbir sıkıştırma ve şişlenme uygulanmamıştır. Alt kısımda ki kapak açılmış ve üstünden bakıldığında ışık görülünceye kadar geçen süre ölçülmüştür. Çıkan sonuçlar beton serileri arasında ve EFNARC 2005’ te sınır değerleri belirtilen Çizelge 3.5’te verilen viskozite sınıfları tablosu ile karşılaştırılarak viskozite sınıfları belirlenmiştir.



Şekil 3.14. V hunisi deneyi yapılışı.

Çizelge 3.5. KYB vizkozite sınıfları (EFNARC).

Sınıf	T <sub>500</sub> (sn)	V hunisi akma süresi
VS1/VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/VF2	> 2	9-25

### 3.2.10. L Kutusu Deneyi

Hazırlana tüm KYB serilerinin geçme özelliğini ölçmek için L kutusu deneyi yapılmıştır. TS EN 12350-10 standardında belirtildiği gibi, L kutusunun sürgülü kapağı kapalıyken deney aparatının dik kısmına taze beton doldurulmuştur. 1 dakika beklendikten sonra sürgülü kapak kaldırılmış, betonda ki hareket durduğunda, H<sub>1</sub> ve H<sub>2</sub>

yüksekliklerinin seviyeleri ölçülmüştür (Şekil 3.15). Çizelge 3.6’da verilen geçme kabiliyeti sınıfları ile karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 3.6.** KYB’nin L kutusu geçme kabiliyeti sınıfları (EFNARC).

Sınıf	Geçiş Kabiliyeti
PA1	$\geq 0,80$ (2 donatı için)
PA2	$\geq 0,80$ (3 donatı için)



**Şekil 3.15.** L kutusu deneyi yapılışı.

### 3.2.11. J Halkası Deneyi

Kendiliğinden yerleşen betonda hem doldurma hem de geçme yeteneğini ölçen bu deney TS EN 12350-12 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Yayılma tablası üzerine J-halkası konulmuş içerisine huni yerleştirilmiştir. Huni yüzeye bastırılarak içerisine sıkıştırma işlemi yapılmaksızın taze KYB doldurulmuştur. Huni en üst seviyeye kadar doldurulduktan sonra dikey olarak yukarı kaldırılmış ve betonun yayılması beklenmiştir. Taze beton yerleştikten sonra J halkasının birbirine dik 4 noktadan olmak üzere iç ve dış yükseklikleri ölçülerek kaydedilmiştir. Ayrıca yayılma tablası üzerindeki taze betonun birbirine dik yayılmaları kaydedilmiştir (Şekil 3.16).

EFNARC 2005’te yayınlanan çökme yayılma sınıfları çizelge 3.7’ de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Çökme yayılma sınıfları (EFNARC).

Sınıf	Çökme yayılma çapı (mm)
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850



**Şekil 3.16.** J halkası deneyi yapılışı.

### 3.2.12. Su emme deneyi

Üretilen beton serilerinden 150x150x150 mm ebatlarındaki numuneler 28. ve 90. günlerinde kür havuzundan çıkarılarak beton yüzeyleri nemli bez ile kurularak ilk ağırlıkları ölçülmüştür. Daha sonra numuneler 105°C sıcaklığa sahip etüvde 24 saat kurutulmuş ve son ağırlıkları ölçülmüştür (Şekil 3.17). TS EN 772-11 standardına uygun olarak deney gerçekleştirilmiştir.

$$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \%$$

W<sub>a</sub>: Su emme yüzdesi

M<sub>1</sub>: İlk ağırlık (gr)

M<sub>2</sub>: Son ağırlık (gr)



Şekil 3.17. Su emme deneyi yapılışı.

### 3.2.13. Kılcallık deneyi

Beton içerisindeki belirli büyüklükteki boşlukların içerisinde suyun yer çekimine karşı yükselmesi kılcallık olarak tanımlanmaktadır. Tabanında su ile temas eden beton kılcal çatlaklar yoluyla içerisine su alacaktır. Buna bağlı olarak malzemenin ağırlığı artacaktır. Numuneler 24 saat etüvde bekletilerek kuru haldeki ağırlıkları ölçülmüştür. Sonra numuneler su içerisine 5 mm girecek şekilde konularak 24 saat bekletildikten sonra tekrar ağırlıkları ölçülmüştür. Kılcallık katsayısı bileşik formül ile bulunmuştur. TS EN 772-11 standardına uygun olarak deney gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.18)

$$K = \frac{\left(\frac{Q}{A}\right)^2}{t}$$

K: Kılcallık katsayısı (cm<sup>2</sup>/s)

Q: Emilen su (gr)

A: Temas alanı (cm<sup>2</sup>)

t: Süre (saniye)



Şekil 3.18. Kılcallık deneyi yapılışı.

### 3.2.14. Ultrases geçiş hızı deneyi

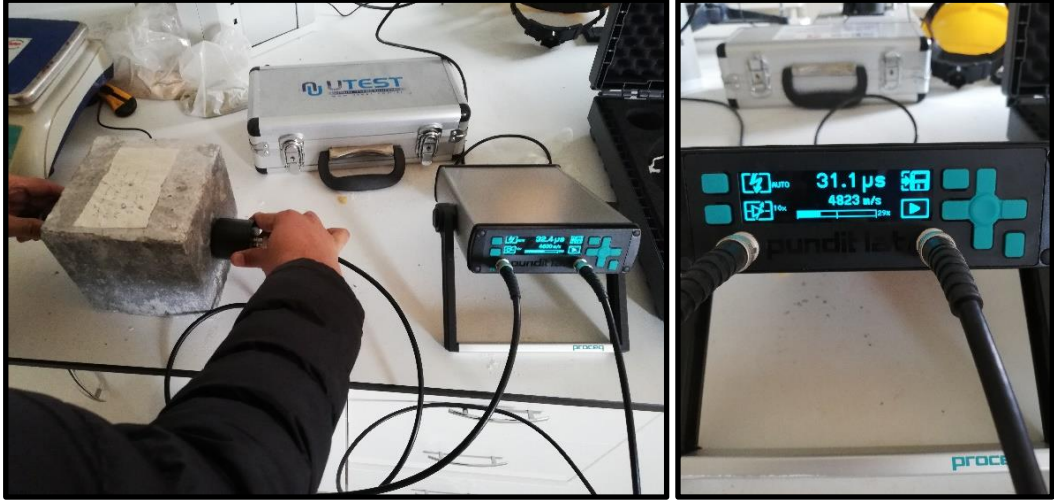
Beton dayanımını betona zarar vermeden belirlenmesini sağlayan deney yöntemidir. TS EN 12504-4 standardına uygun olarak beton basınç deneyi için hazırlanan numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı deneyi yapılmıştır (Şekil 3.19).

Ultrases geçiş hızı ile betonun yoğunluğu ilişki bulunmaktadır. Beton içerisinde fazla boşluk bulunması halinde ultrases dalgasının betonun bir yüzeyinden diğer yüzeyine ulaşabilme süresi uzar. Bu sebeple betonun boşluk miktarı çoğaldıkça, ses dalgasının hızı daha yavaş olmaktadır. Betonun boşluklu olması basınç dayanımını da etkilemektedir (Erdoğan, 2003).

ASTM C 597-71 standardı, dalga hızına bağlı olarak beton kalitesini belirten çizelge 3.8.'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Ultrases geçiş hızı deneyi ile betonun kalitesini değerlendirilmesi.

Dalga hızı (m/sn)	Beton kalitesi
> 4500	Mükemmel
3500-4500	İyi
3000-3500	Şüpheli
2000-300	Zayıf
< 2000	Çok zayıf



Şekil 3.19. Ultrases geçiş hızı deneyi yapılışı.

### 3.2.15. Basınç dayanımı deneyi

Üretilen her bir seri beton için TS EN 12390-3 standardı gereğince basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneyler 150x150x150 mm boyutlarındaki standart boyutlu küp numuneler üzerinde, 7, 28 ve 90 gün olmak üzere 3 farklı yaşta yapılmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Basınç dayanımı deneyi yapılışı.

### 3.2.16. Donma çözülme direnci deneyi

Üretilen betonların donma çözülme direncinin belirlenmesi için 100x100x100 mm ebatlarındaki numuneler 28 ve 90 günden sonra kür havuzundan çıkarılarak deneye başlanmadan önce ağırlıkları ve ultrases geçiş hızları ölçülmüştür. TS 12390-9 standardında belirtildiği şekilde +20°C ile -20°C arasında 100 defa donma çözülme çevrimi yapılarak deney yapılmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Donma çözülme deneyi yapılışı.

### 3.2.17. Aşınma direnci deneyi

Üretilen 70x70x70 mm boyutlarında numunelere 28 ve 90 günlük kür süresinin sonunda aşınma direnci deneyi uygulanmıştır. Bu deney için Böhme aşınma deney cihazı kullanılmıştır. Deney TS 2824 EN 1338 standardına uygun olarak yapılmıştır. Dakikada 30 devir hızla dönmekte olan ve 750 mm çapında yatay olarak konulmuş döner bir aşındırıcı çelik disk üzerine yerleştirilen beton numuneye 294±3 N düşey yük uygulanmıştır. Deney düzeneğine yerleştirilen beton numunelere 22 devirden oluşan 16 çevrim yapılmıştır. Çevrimler sırasında 20 gr aşındırıcı toz serilmiştir. Beton numuneler düşey ekseninde her çevrimde saat yönünde 90° çevrilmiştir. Beton numuneler deney öncesinde ve sonrasında kalınlık ölçümleri ve ağırlık ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.22).

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho}$$

$$\Delta V = \text{Toplam hacim kaybı (cm}^3\text{/50 cm}^2\text{)}$$

$\Delta m$  = Toplam ağırlık kaybı (gr/50 cm<sup>2</sup>)

P = Numune yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>)



Şekil 3.22. Aşınma direnci deneyi yapılışı.

### 3.2.18. Sülfat etkisi deneyi

Bu deney yöntemi ile hazırlanan numuneler sülfat çözeltisi içine konulmuş harçların boy değişimleri ölçülmüştür. ASTM C 1012 standardına uygun olarak deney gerçekleştirilmiştir. ASTM C 109 standardına uygun olarak harç hazırlanmış ve numuneler 20 MPa dayanıma ulaşınca kadar küre tabi tutulmuştur. Harç karışımları Çimento:1, Kum:2,75, Su: 0,485 oranlarıyla hazırlanmıştır. Kullanılan kumun tane dağılımı EN 196-1 CEN referans kumuna göre belirlenmiştir. Çizelge 3.8' de CEN referans kumunun tanecik büyüklüğü dağılımı gösterilmiştir.,

Çizelge 3.9. CEN Referans kumunun tanecik büyüklüğü dağılımı.

Elek açıklığı mm	Kümülatif elekte kalan %
2,00	0
1,60	7±5
1,00	33±5
0,50	67±5
0,16	87±5
0,08	99±1

Sodyum sülfat çözeltisinin her litresi 900 gr su içinde 50 gr  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  içermektedir. 25x25x285 mm boyutlarında harç numuneleri hazırlanmış ve çözelti içine konulmuştur. Her seri harç için 2 adet numune olmak üzere referans numuneler ile birlikte 18 adet numune hazırlanmıştır. Numuneler kendiliğinden yerleşen beton karışımlarındaki oranlar dikkate alınarak hazırlanmıştır. Numuneler sülfat çözeltisi içinde bekletilerek belirli periyotlar ile boy değişimleri takip edilmiştir (Şekil 3.23).

**Çizelge 3.10.** Sülfat direnci deneyi harç numunelerinin karışım oranları (1 m<sup>3</sup>).

Seri adı	Çimento (kg)	Agrega (kg)	Su (kg)	Uçucu kül (kg)	Mermer tozu (kg)	Katkı (kg)
KK ref numune	400	1100	229	0	0	6
DK ref numune	400	1100	200	0	0	6
KK+DK ref num	400	1100	229	0	0	6
KK+UK	400	775	229	100	0	6
DK+UK	400	756	200	100	0	6
KK+MT	400	775	229	0	100	6
DK+MT	400	756	200	0	100	6
KK+DK+UK	400	765	229	100	0	6
KK+DK+MT	400	765	229	0	100	6



**Şekil 3.23.** Sülfat direnci deneyi yapılışı.

### 3.2.19. Alkali silika reaksiyonu deneyi

ASTM C 1260 standardı gereğince harç karışımları agrega çimentonun 2,25 katı kullanılarak su/çimento oranı 0,47 olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan harçlar 25x25x285 mm ebatlarındaki kalıplara konularak 24 saat kalıpta bekletildikten sonra, numuneler kalıptan çıkarılarak 80°C suda 24 saat süreyle bekletilir ve boy ölçümleri yapılır. Boy ölçümünden sonra numuneler 80°C NaOH çözeltisinde 14 gün boyunca bekletilmiş ve periyodik ölçümler yapılmıştır. NaOH çözeltisi 40 gr NaOH'a karşılık 900 ml sudan oluşmaktadır. Deney sonunda genleşme yüzdeleri aşağıdaki gibi değerlendirilir. Deney sonunda genleşmeler;

- %0,10 değerinin altında ise agregalar zararsız davranış sergilemiştir.
- %0,20 değerinin üstündeyse agregalar zararlı genleşme sergilemiştir.
- Genleşmeler %0,10 ile %0,20 arasında ise agregalar şantiye şartlarında hem zararlı hem zararsız davranış sergileyebilirler (Kurt, 2009).

Üretilen harç numunelerinin karışım oranları Çizelge 3.10' da verilmiştir.

**Çizelge 3.11.** Alakali silika reaksiyonu harç numunelerinin karışım oranları (1 m<sup>3</sup>)

Seri adı	Çimento (kg)	Agrega (kg)	Su (kg)	Uçucu kül (kg)	Mermer tozu (kg)	Katkı (kg)
KK ref numune	400	900	229	0	0	6
DK ref numune	400	900	200	0	0	6
KK+DK ref num	400	900	229	0	0	6
KK+UK	400	775	229	100	0	6
DK+UK	400	756	200	100	0	6
KK+MT	400	775	229	0	100	6
DK+MT	400	756	200	0	100	6
KK+DK+UK	400	765	229	100	0	6
KK+DK+MT	400	765	229	0	100	6



Şekil 3.24. Alkali silika reaksiyonu deneyi yapılışı.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde agrega deneylerinin sonuçları ve iki farklı agrega tipi ile üretilen kendiliğinden yerleşen beton numunelerine yapılan taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton deneyleri sonuçları ve değerlendirmeleri sunulmuştur. Üretilen beton serileri için kullanılan kısaltmalar, kırma taş agrega (KT), doğal agrega (DA), uçucu kül (UK), mermer tozu (MT), kırma kum (KK), Doğal kum (DK) olarak gösterilmiştir.

##### 4.1. Agrega deneyleri sonuçları

Çizelge 4.1 elek analizi deney sonuçları ve Çizelge 4.2' de yapılan agrega deneylerinin sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Kullanılan agregaların elek analizi sonuçları.

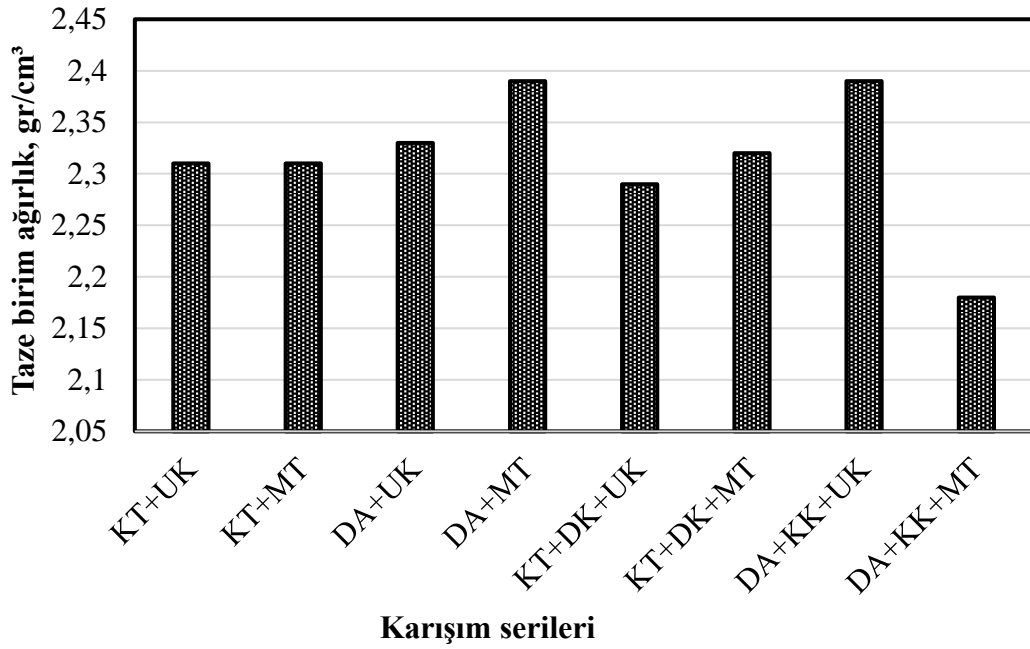
Elek (mm)	% Geçen			
	Agrega Türü			
	Kırma kum	Kırma agrega	Doğal kum	Doğal agrega
16	100	100	100	100
11,2	100	93,7	100	89,4
8	100	59,2	100	70,8
5,6	100	25,5	100	0
4	97,3	5,6	91,8	0
2	62,8	0	68,7	0
1	42,7	0	47,7	0
0,5	29,5	0	22,2	0
0,25	19,8	0	4,7	0
0,125	10,9	0	0	0
0,063	0,1	0	0	0

Çizelge 4.2. Agrega deneylerinin sonuçları

DENEY STAND ARDI	DENEY ADI		BR	SONUÇLAR			
				İRİ AGREGA		İNCE AGREGA	
				KIRMA TAŞ	DOĞAL TAŞ	KIRMA KUM	DOĞAL KUM
TS EN 933-9	Metilen mavisi deneyi		-	-	-	1,75	1,00
TS EN 1097-6	Özgül ağırlık deneyi	Kuru özgül ağırlık	-	2,52	2,55	2,43	2,37
		Yksd özgül ağırlık	-	2,57	2,59	2,59	2,46
		Su emme	%	0,02	0,019	1,276	1,867
TS 3529	Birim ağırlık deneyi	Gevşek birim ağırlık	kg/m <sup>3</sup>	1379	1468	1326	1583
		Sıkı birim ağırlık	kg/m <sup>3</sup>	1531	1601	1728	1754
TS EN 1097-2	Los angeles deneyi		%	21,58	17,18	-	-
TS EN1744-1	Organik madde tayini deneyi		-	-	-	Renksiz	Safran sarısı
TS EN 933-8	Kum eş değeri deneyi	Görünen kum eş değeri	%	-	-	50,74	50,74
		Pistola ile ölçülen kum eş değeri	%	-	-	88,88	83,83

#### 4.2. Taze Beton Deney Sonuçları

Üretilen karışımların yaş birim ağırlıkları şekil 4.1’de verilmiştir. Birim hacim ağırlıkları incelendiğinde doğal agregalar ile üretilmiş serilerin kırmataş agrega ile üretilmiş beton serilerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin doğal agreganın özgül ağırlığının kırmataş agregadan daha fazla olmasından ve yerleşme etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



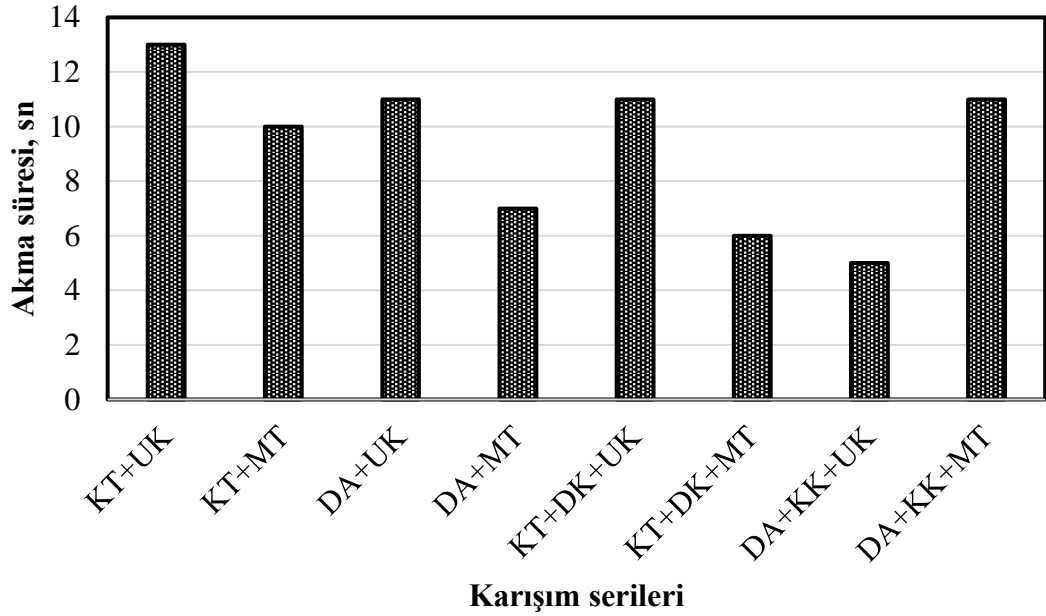
Şekil 4.1. Üretilen karışımların yaş birim ağırlıkları.

#### V hunisi deney sonuçları

V hunisi deney sonuçları şekil 4.2’de verilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi doğal agrega ile üretilmiş karışımların huniden akış sürelerini daha kısa sürede tamamladıkları görülmüştür. Genel olarak mermer tozu ile üretilen serilerin uçucu kül ile üretilen serilere göre akma sürelerinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

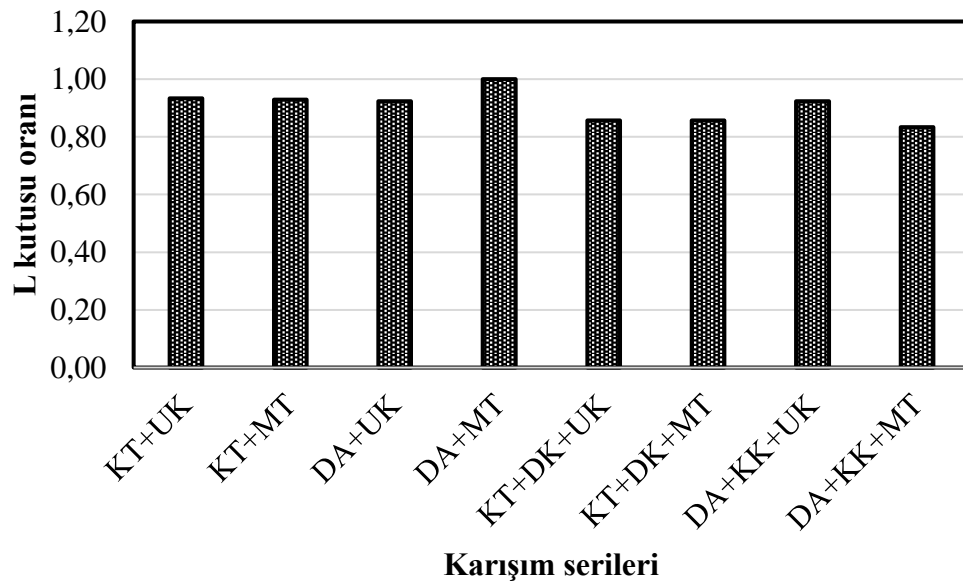
V hunisi deney sonuçları Çizelge 3.5’te verilen viskozite sınıfları ile karşılaştırıldığında DA+MT, KT+DK+MT, DA+KK+UK karışımlarının VF1 sınıfında oldukları, diğer karışımların VF2 sınıfında oldukları belirlenmiştir. Tüm değerlerin sınır

değerle içerisinde kaldığı görülmüştür. En iyi sonuç DA+KK+UK karışımından elde edilmiştir.



Şekil 4.2. V hunisi deneyi sonuçları.

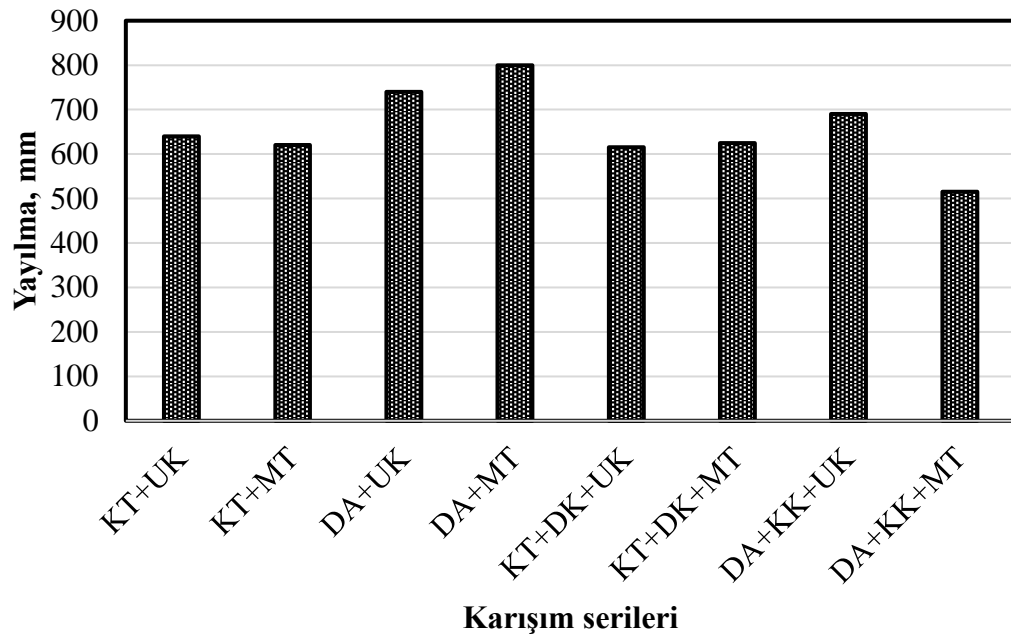
#### 4.2.1. L kutusu deney sonuçları



Şekil 4.3. L kutusu deneyi sonuçları.

L kutusu deneyi geçiş yeteneğini ölçen deneylerden bir tanesidir. Üretilen tüm beton serilerinin sonuçları değerlendirildiğinde en iyi geçiş yeteneğine sahip numune DA+MT karışımında elde edilmiştir. Akma süresi iyi olan numunelerin geçiş yeteneklerinin de büyük ölçüde iyi olduğu fark edilmiştir. KT+DK+UK, KT+DK+MT, DA+KK+MT karışımlarından oluşan beton serilerinin Çizelge 3.6’da belirtilen en düşük 0,80 sınırına yakın olduğu görülmüştür. Bu karışımların diğer karışımlara göre geçiş yeteneklerinin düşük olduğu saptanmıştır.

#### 4.2.2. J halkası deney sonuçları



Şekil 4.4. J halkası deneyi sonuçları.

Dikkat çeken en iyi sonuç DA+MT karışımında, en kötü sonuç DA+KK+MT karışımında elde edilmiştir. Doğal agregalı karışımların, kırmataş agregalı karışımlara göre daha iyi yayılma gösterdiği görülmüştür. Sonuçlar Çizelge 3.7’ de belirtilen değerler ile karşılaştırıldığında, KT+UK, KT+MT, KT+DK+UK, KT+DK+MT, DA+KK+MT karışımlarının SF1 sınıfına, DA+UK, DA+KK+UK karışımlarının SF2 sınıfına, DA+MT karışımının SF3 sınıfına ait olduğu belirlenmiştir. Çelik çubukların içerden ve dışarıdan ölçülen yükseklikleri irdelendiğinde her karışım için yükseklik farkının az olduğu belirlenmiş ve karışımlarda ayrışma gözlemlenmemiştir.

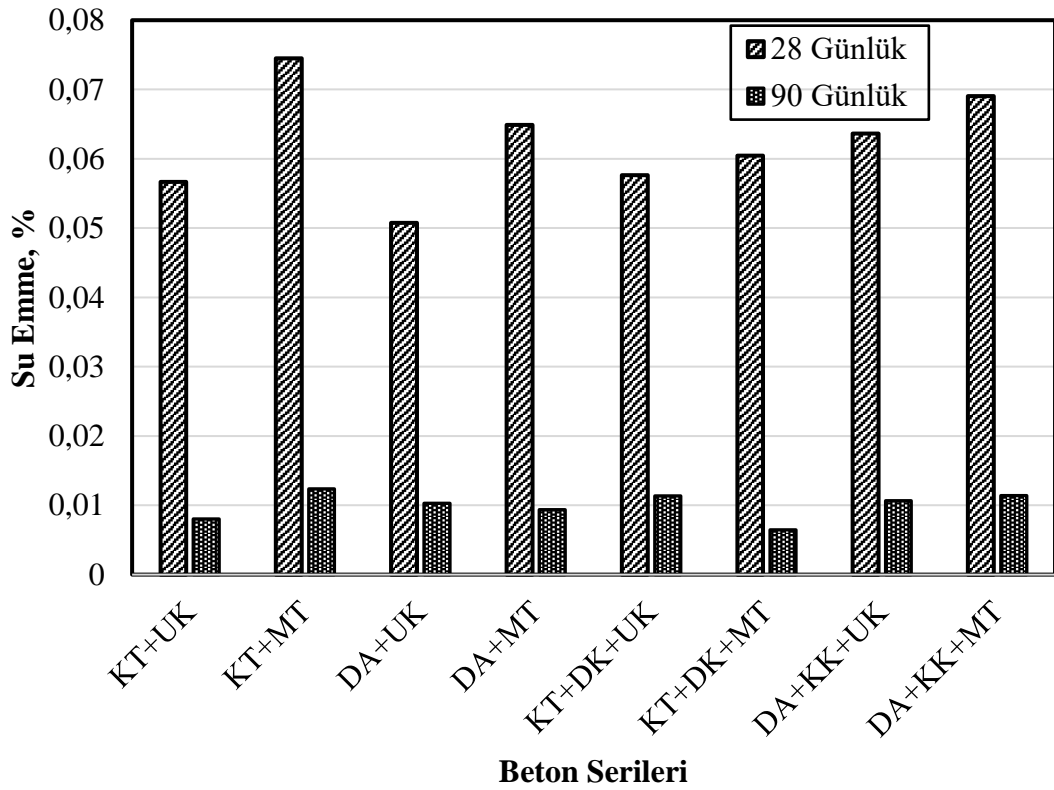
Taze beton deney sonuçları irdelendiğinde DA+MT karışımının 3 deneyde de en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Doğal agregalı karışımların işlenebilirlik özelliklerinin kırmataş agregalı karışımlara göre daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır.

### 4.3. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

#### 4.3.1. Su emme deneyi sonuçları

28 ve 90 günlük 150x150x150 mm ebatlarında numunelere su emme deneyi yapılmış Şekil 4.5’de deney sonuçlarını gösteren grafik verilmiştir.

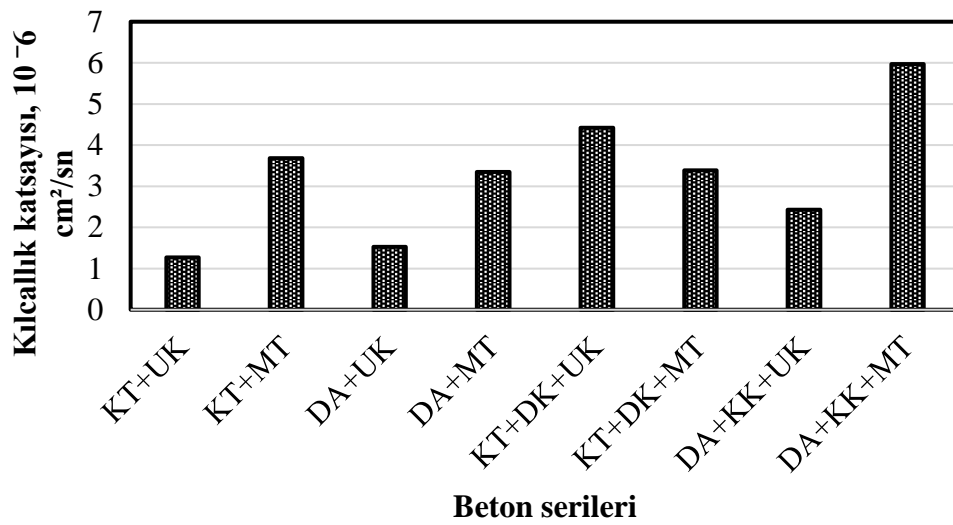
En yüksek su emme değeri KT+MT karışımında elde edilmiştir. Doğal agregalı karışımların su emme yüzdelerinin kırmataş agregalı karışımlara göre daha az olduğu görülmüştür. KT+DK ve DA+KK karışımları incelendiğinde KT+DK karışımından oluşan beton serilerinin su emme yüzdelerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebinin kırma kum içindeki toz miktarının fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



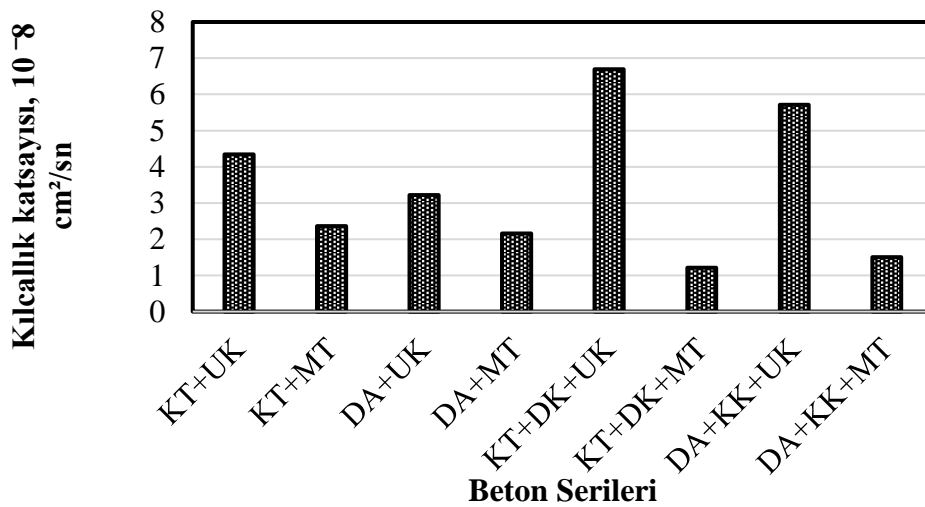
Şekil 4.5. Su emme deneyi sonuçları.

### 4.3.2. Kılcallık deneyi sonuçları

150x150x150 mm ebatlarındaki 28 ve 90 günlük numunelere su emme deneyi sonrası kılcallık deneyi yapılmış ve Şekil 4.6'da 28 günlük numunelerin kılcallık katsayısı, Şekil 4.7'de 90 günlük numunelerin kılcallık katsayıları verilmiştir. 28 günlük numuneler arasında en iyi sonuç KT+UK karışımında elde edilmiştir. 90 günlük numuneler arasında ise en iyi sonu KT+DK+MT karışımından elde edilmiştir. Su emme deneyi ile kılcallık deneyi karşılaştırıldığında her iki deney sonuçlarının birbirini desteklediği görülmüştür.



Şekil 4.6. 28 günlük numuneler kılcallık katsayıları.

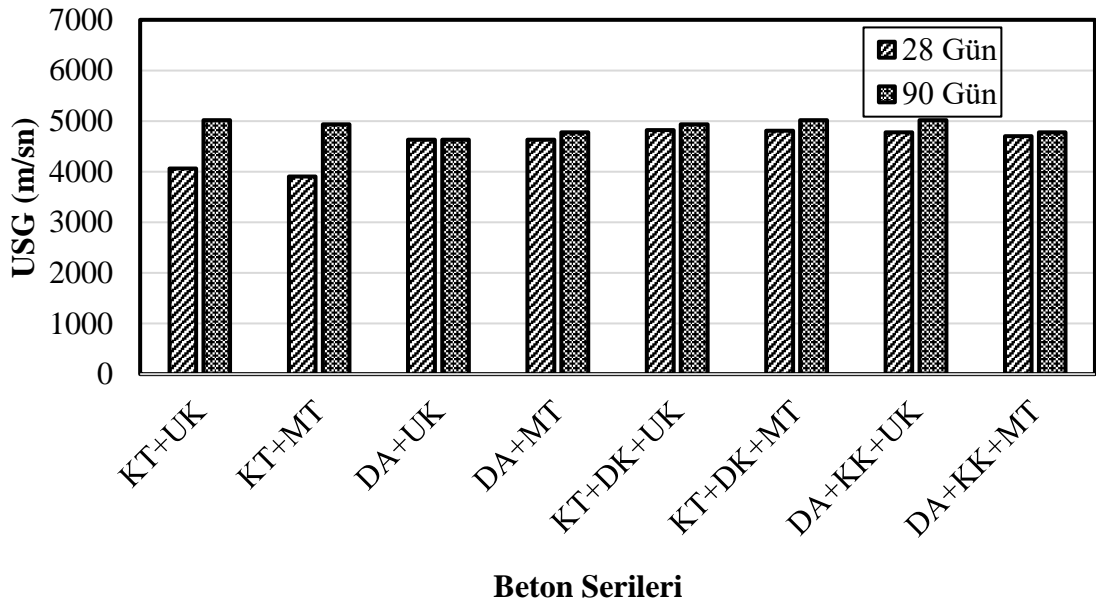


Şekil 4.7. 90 günlük numuneler kılcallık katsayıları.

### 4.3.3. Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları

150x150x150 mm boyutlarındaki numunelere basınç dayanımı deneyine başlanmadan önce ultrases geçiş hızı deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

28 günlük numunelerin ultrases geçiş hızı sonuçları Çizelge 3.8 ile karşılaştırıldığında, KT+MT, KT+UK beton kalitesi “iyi”, diğerk numunelerin kalitesi ise “mükemmel” olarak belirlenmiştir. 90 günlük numunelerde ise beton kalitesi “mükemmel” olarak belirlenmiştir. Beton serileri arasında en iyi sonuç 90 günlük numuneler için KT+UK, 28 günlük numuneler için KT+DK+UK beton serilerinde oluşmuştur. Sonuçlar basınç dayanımı sonuçları ile karşılaştırıldığında birbirlerine yakın sonuçların ortaya çıktığı görülmüştür. Bu sonuçlar üretilen beton serilerinin boşluksuz olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.8. 28 ve 90 günlük ultrases geçiş hızı deney sonuçları.

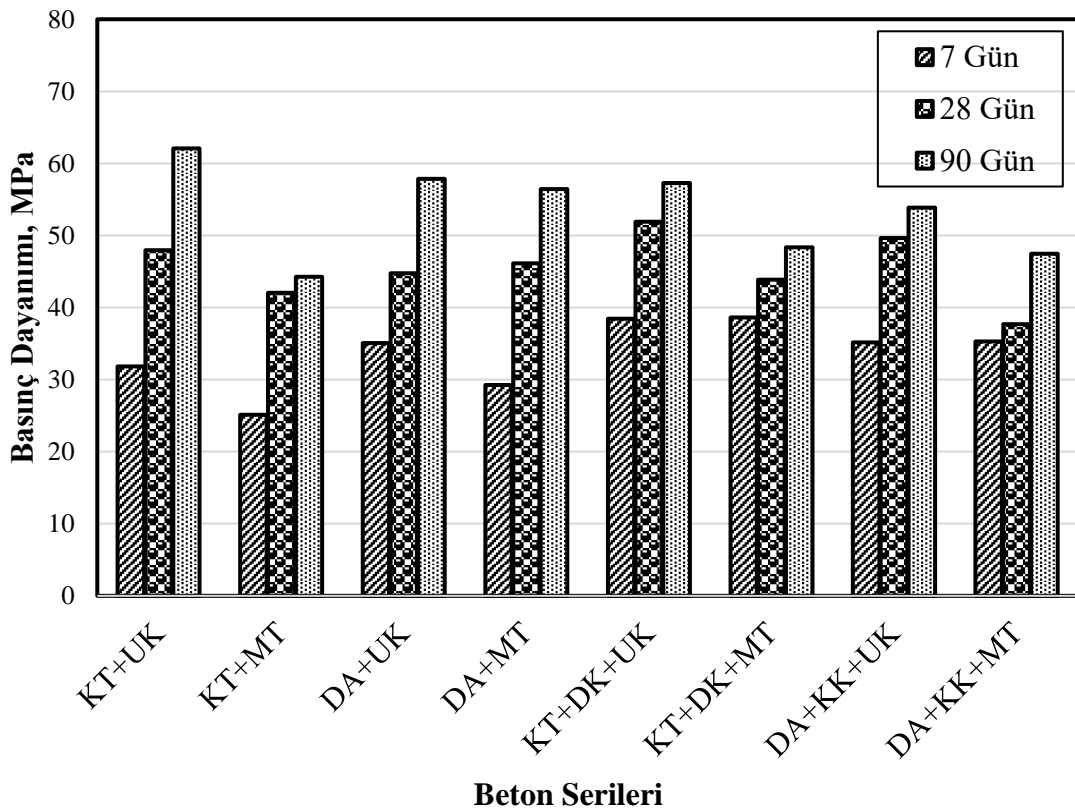
### 4.3.4. Beton basınç dayanımı deney sonuçları

Sekiz seriden oluşan 150x150x150 mm boyutlarındaki numuneler kür havuzunda bekletildikten 7,28 ve 90 gün sonra basınç dayanım deneyi yapılarak sonuçları şekil 4.9’da gösterilmiştir.

7 günlük basınç dayanımları incelendiğinde neredeyse tüm numunelerin 30 MPa dayanımın üzerinde çıktığı görülmüştür. 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde en yüksek dayanımı KT+DK+UK numunesinde elde edilmiştir. 90 günlük basınç dayanımları incelendiğinde en yüksek dayanım KT+UK numunesinde elde edilmiştir.

Uçucu kül ve mermer tozu arasında inceleme yapıldığında uçucu kül karışımlarının daha yüksek dayanım sağladığı görülmüştür. Çimento dayanımına uçucu külün etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Sonuçlar su emme deneyi ile karşılaştırıldığında, 90 günlük numuneler içerisinde su emmesi en az olan KT+UK beton serisinin, 90 günlük basınç dayanımı sonucunun en yüksek değer olduğu görülmüştür. Bunun beton serisindeki boşluğun az olduğunda kaynaklandığı düşünülmektedir. Betonun su emmesi ile basınç dayanımı arasında ters orantılı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.



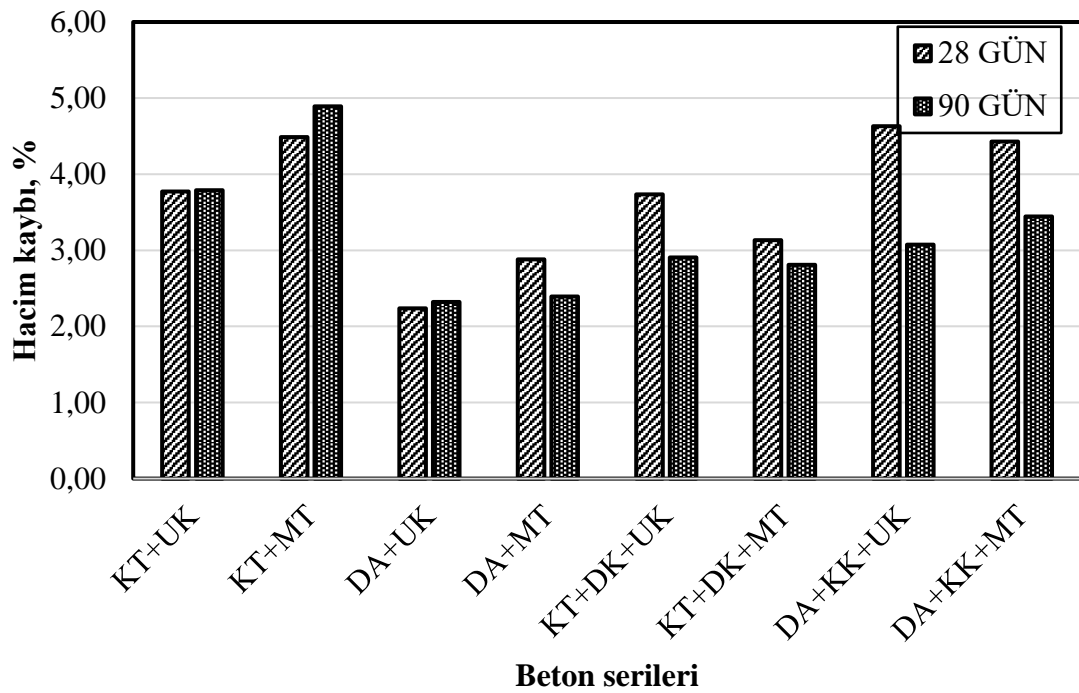
Şekil 4.9. 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanım sonuçları.

#### 4.3.5. Aşınma direnci deneyi sonuçları

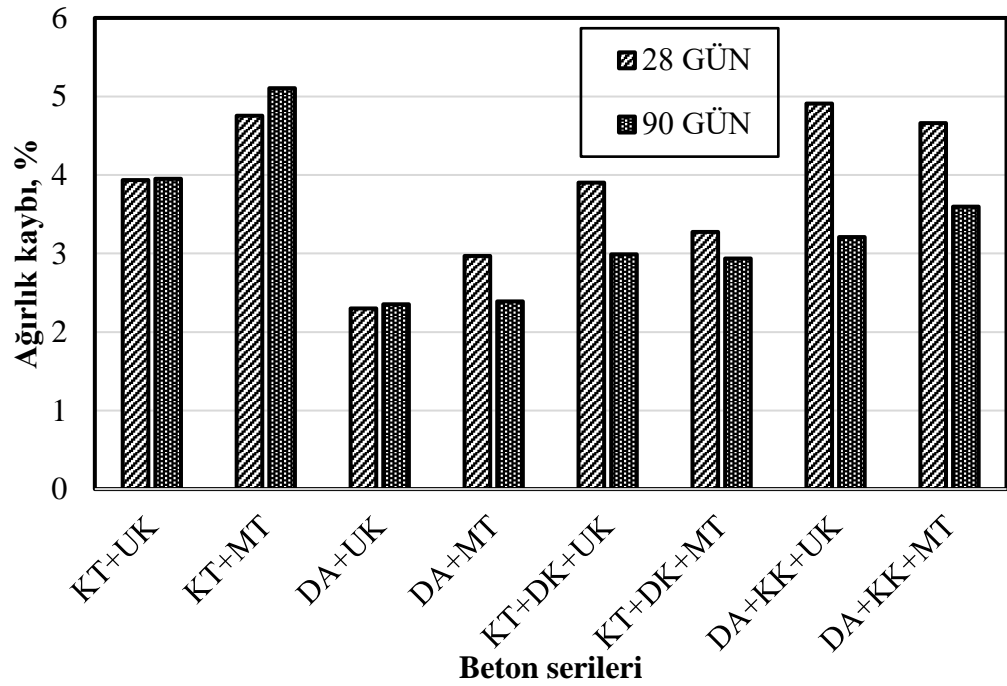
70\*70\*70 mm ebatlarında iki farklı agrega türü ile üretilen kendiliğinden yerleşen betonların aşınma direnci deneyi sonrası hacim kayıpları ve ağırlık kayıpları şekil 4.10 ve şekil 4.11’ de gösterilmiştir.

28 ve 90 günlük numunelerin aşınma direnci deneyi sonrası yüzde kayıpları incelendiğinde DA+UK karışımından oluşan numunenin en az kayba uğramıştır. En fazla kayıp ise KT+MT karışımından oluşan numunede yaşanmıştır.

Sadece doğal agregadan oluşan karışımların kırmataş agregalara göre daha az kayıp yaşadığı görülmüştür. KT+DK ve DA+KK karışımlarında ise en iyi sonuçların KT+DK karışımlarından oluşan numunelerde görülmüştür. Genel olarak uçucu kül içeren karışımların daha az kayıp yaşadığı görülmüştür.



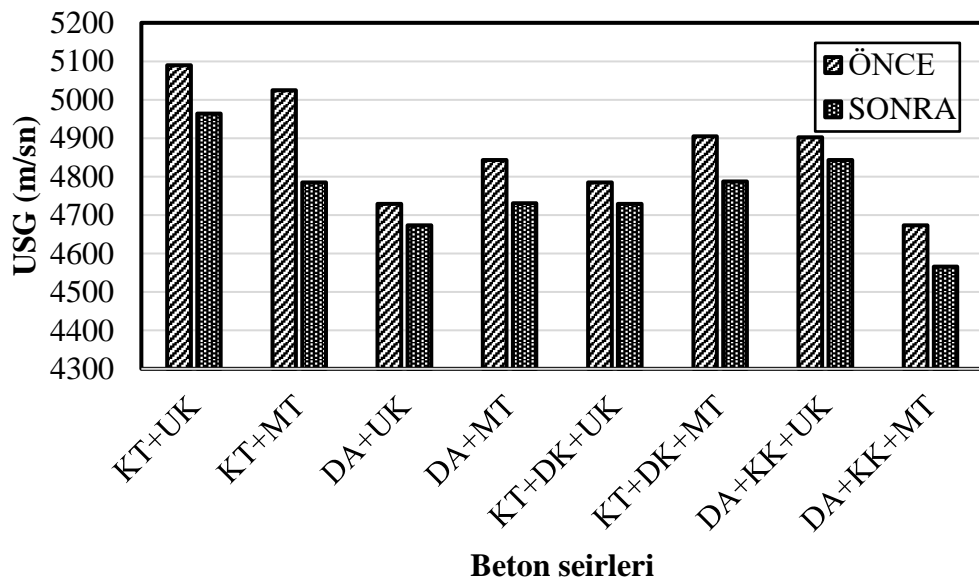
Şekil 4.10. Aşınma direnci deneyi sonrası hacim kayıpları.



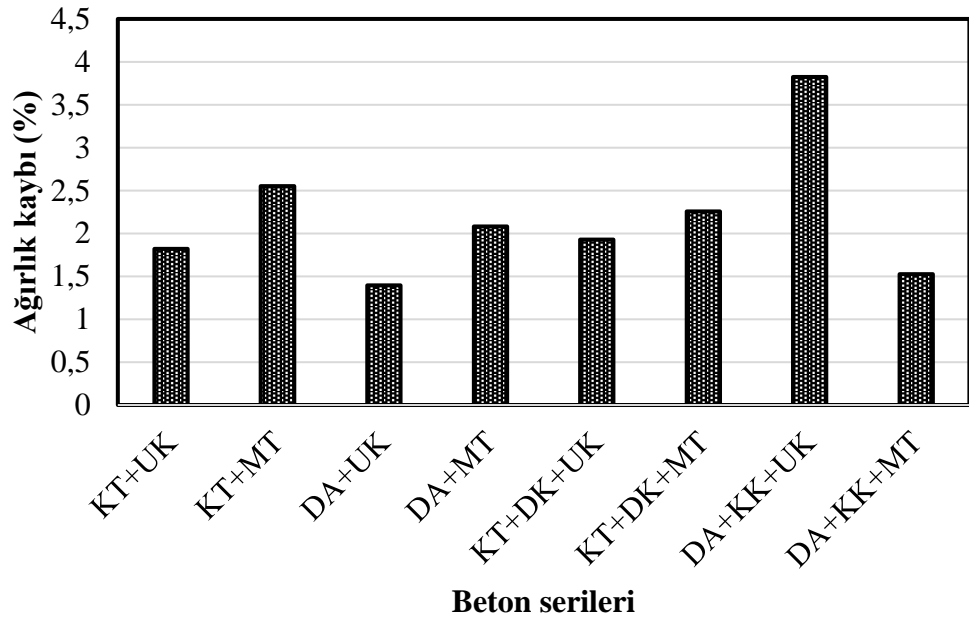
Şekil 4.11. Aşınma direnci deneyi sonrası ağırlık kayıpları.

#### 4.3.6. Donma çözülme deneyi sonuçları

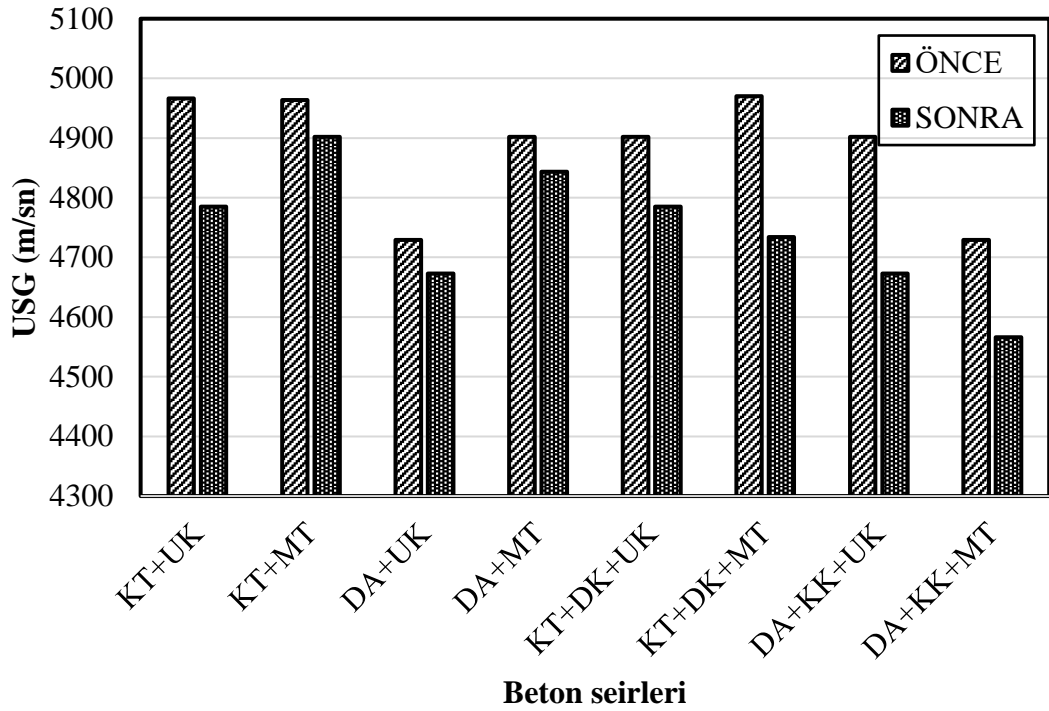
Donma çözülme deneyi için hazırlanmış 100\*100\*100 mm boyutlarındaki küp numuneler 100 çevrim sonra deney düzeneğinden çıkarılarak ultrases geçiş hızı ve ağırlıkları ölçülmüştür.



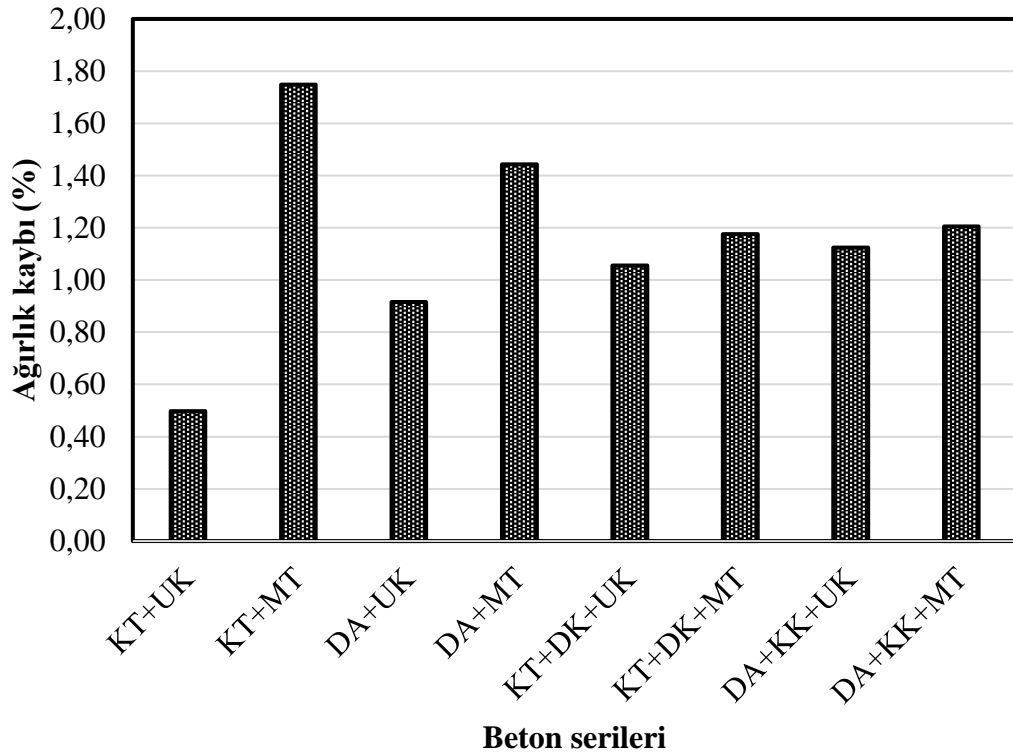
Şekil 4.12. 28 günlük numunelerin deney öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızları.



Şekil 4.13. 28 günlük numunelerin deney sonrası ağırlık kayıpları.



Şekil 4.14. 90 günlük numunelerin deney öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızları.



Şekil 4.15. 90 günlük numunelerin deney sonrası ağırlık kayıpları.

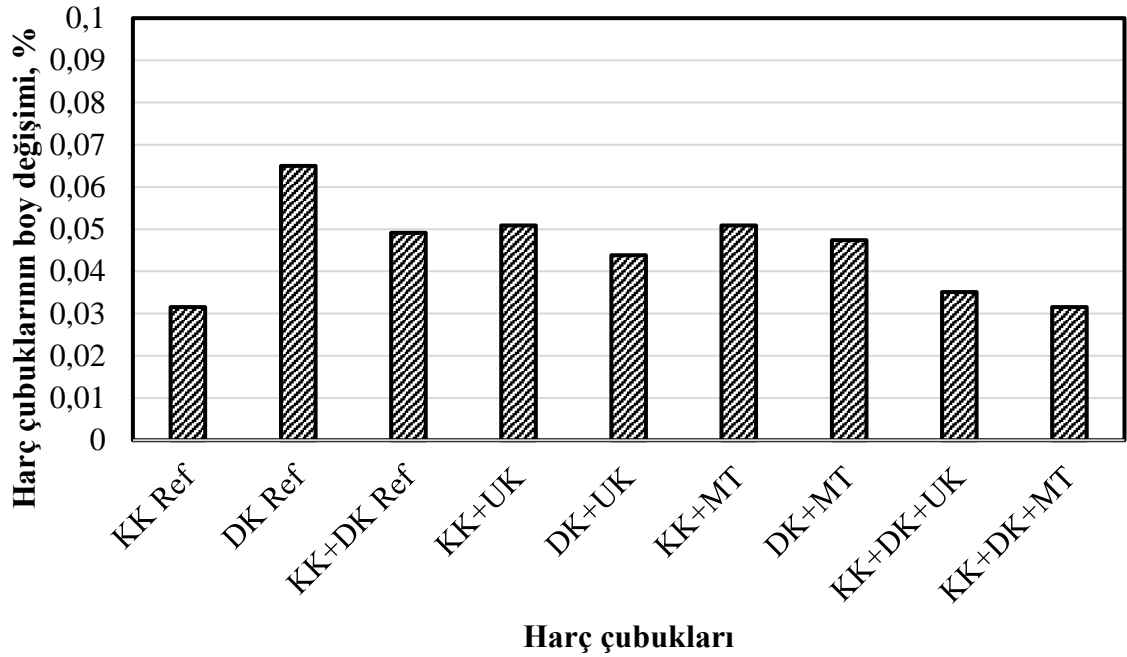
28 ve 90 günlük numunelere +20 ve -20°C olmak üzere 100 çevrim uygulanmıştır. Çevrim öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızları ve ağırlıkları ölçülmüştür. 28 günlük numunelerin ultrases geçiş hızı sonuçları incelendiğinde en fazla düşüş kırmataş agregalı karışımlarda meydana gelmiştir. En iyi sonuç ise DA+UK karışımı ile hazırlanmış numunede ortaya çıkmıştır.

28 günlük numunelerin ağırlık kayıpları incelendiğinde en fazla kayıp DA+KK+UK karışımından oluşan numunede, 90 günlük numunelerin ağırlık kayıpları incelendiğinde KT+MT karışımından oluşan numunede ortaya çıkmıştır.

#### 4.3.7. Sülfat direnci deneyi sonuçları

Deney için üretilen 28\*28\*285 mm ebatlarında harç numunelere yapılan 2 aylık deney süresi sonunda elde edilen sonuçlar bu başlık altında şekil olarak sunulmuştur. 2 ay boyunca Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> içeren çözelti içerisinde bekleyen numunelerde herhangi bir şekilde çatlak ya da hasar gözlemlenmemiştir. Sülfat direnci deneyinde elde edilen boy değişim %'leri şekil 4.13'te verilmiştir.

ASTM C 1012 standardına göre hazırlanan referans numunelerin standartta belirtilen %0,1'lik sınır değerinin altında olduğu görülmüştür. Mineral katkılu numunelerin hepsinde genleşmelerin düşük çıkmasının sebebi boşluk oranının az olması etkili olmuştur.



Şekil 4.16. Harç numunelerinin sülfat çözeltisi içinde 3 ay sonundaki boy değişimleri.

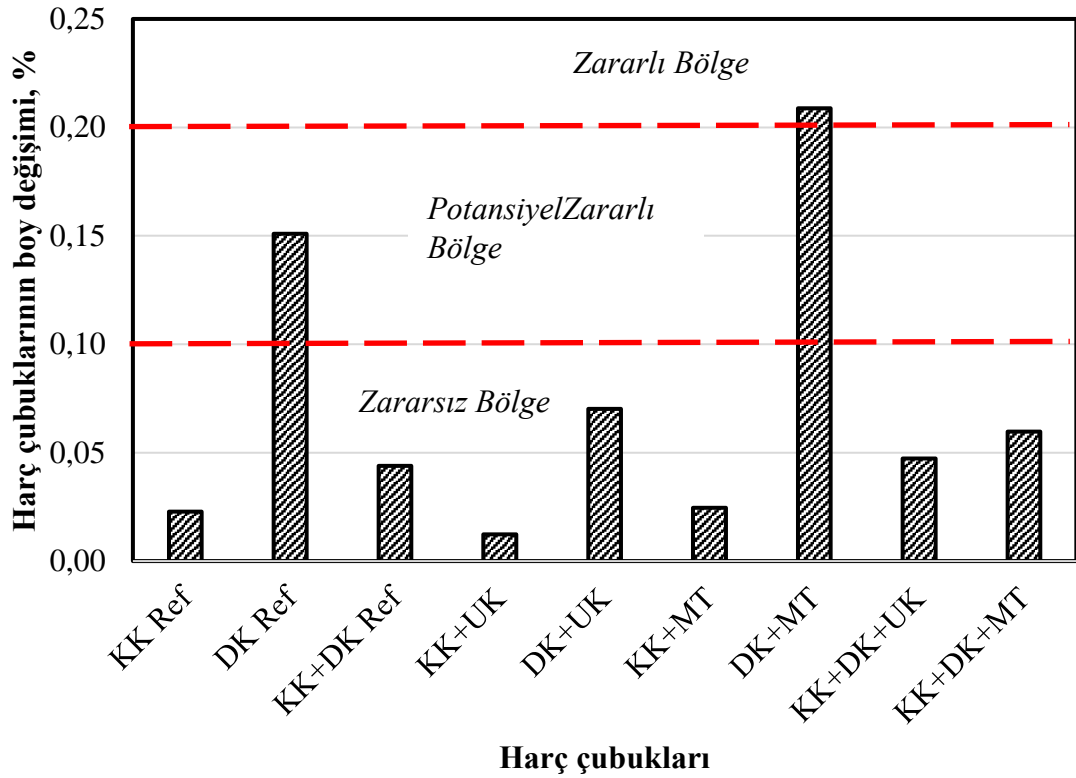
KYB serilerinin hepsinde sülfat direnci deneyi sonrası boy değişimlerinin %0,1'lik sınır değerinin altında çıkmasında kullanılan yüksek çimento dozajı ve işlenebilirlikten dolayı meydana gelen boşluksuz yapı etkili olmuştur.

Sülfat direnci deneyi sonrasında en iyi sonucu KK+DK+MT karışımından oluşan beton serisi göstermiştir. MT katkılu numuneler UK katkılu numunelere göre daha az uzama gerçekleştirmiştir. Doğal kum ile üretilmiş harçların kırma kum ile üretilmiş numunelere oranla daha az uzadığı belirlenmiştir.

#### 4.3.8. Alkali silika reaksiyonu deneyi sonuçları

Deney için üretilen 28\*28\*285 mm boyutlarında harç numuneler 14 gün boyunca 80°C NaOH çözeltisinde bekletildikten sonra ölçümler yapılmış ve boy değişimleri Şekil 4.16' da verilmiştir.

Deney sonuçları incelendiğinde en iyi sonuçlar sırasıyla KK+UK, KK+MT, KK+DK+UK, DK+UK, KK+DK+MT karışımından oluşan harç numunesinden elde edilmiştir.



**Şekil 4.17.** Alkali silika reaksiyonu deneyi sonrası boy değişimi.

DK referans numunesinin boy değişimleri %0,10 ile %0,20 arasında kaldığından bu harç numunesinin şantiye şartlarında hem zararlı hem zararsız davranış sergileyebilecekleri belirlenmiştir. DK+MT hariç diğer harç numunelerinin ise boy değişimleri %0,10 değerinin altında kaldığından agregalar zararsız davranış sergilenebilir oldukları belirlenmiştir. Aynı agregat türü olmasına rağmen DK+UK harç numunesi ile DK+MT harç numunesi arasında boy değişimi farkının fazla olduğu belirlenmiştir. Agregat ile mineral katkı karışımının alkali silika reaksiyonunu etkilediği düşünülmektedir. DK+MT karışımından oluşan harç numunesinin zararlı genleşme davranışı sergilediği belirlenmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

KYB üretiminde dere kökenli doğal agrega ile kalker kökenli kırmataş agregalarının kullanılması üzerine yapılan bu tez çalışmasında aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır. Buna göre;

- Sadece doğal agrega ve doğal kumdan oluşan karışımların işlenebilirlik özelliklerinin kırmataş agrega ve kırma kum karışımlarından oluşan serilerden daha iyi olduğu görülmüştür, bu etki üzerinde agrega yüzey geometrisinin küresel ve pürüzsüz olmasının etkin rol oynadığı düşünülmektedir.

- KT+DK+UK ve KT+DK+MT karışımlarında oluşan beton serileri incelendiğinde akış kabiliyeti, geçme yeteneği ve doldurma yeteneği açısından mermer tozu içeren beton serisinin daha iyi olduğu belirlenmiştir. DA+KK+UK ve DA+KK+MT karışımlarından oluşan KYB serilerinde ise uçucu kül içeren beton serisinin daha iyi olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuç üzerinde uçucu külün mermer tozuna göre daha ince taneli olup, yüzey yapısının küresel ve düzgün olması ile betonun iç sürtünmesini azaltmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

- 7,28 ve 90 günlük basınç dayanımları incelendiğinde mineral katkı olarak kullanılan uçucu kül ile hazırlanan beton serilerinin dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin uçucu külün daha ince yapıya sahip olması ve çimento dayanımına katkı sağlaması düşünülebilir.

- Kırmataş agregadan oluşan karışımlar ile doğal agregadan oluşan karışımların basınç dayanımlarında ciddi farklılıklar bulunmadığı belirlenmiş fakat kırmataş agregalı karışımların basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu husus kırmataş agregasının pürüzlü yüzeyi ile çimento hamuru fazı arasındaki ara yüzey kenetlenmesinin yuvarlak taneli doğal agregaya göre daha iyi olması olarak açıklanabilir.

- Su emme deneyi verilene göre en fazla su emen beton serisi KT+MT olmuştur. Genel itibariyle mermer tozu içeren beton serilerinde su emme oranlarının yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç KT+MT serisi KYB'nin daha gözenekli olduğunu göstermektedir. Bu bulguyu KT+MT serisinin basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı deney sonuçlarının düşük olması desteklemektedir.

- Aşınma direnci deneyi sonrası, doğal agrega ile üretilen tüm serilerin hacim ve ağırlık kayıplarının daha az olduğu anlaşılmıştır. Bunun sebebinin doğal agreganın daha sert bir yapıya sahip olması düşünülebilir.

- Sülfat direnci deneyi sonuçlarına bakıldığında diğer serilere göre daha iyi performans gösteren harçlar doğal kum içeren harçlar olmuştur. KK içeren karışımlar kendi arasında incelendiğinde mermer tozu ile üretilen harçların daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

- Alkali silika reaksiyonu deneyi sonucunda en az boy değişimi KK+UK harç numunesinde gerçekleşmiştir. DK+MT karışımından oluşan harç numunelerinde en fazla boy değişimi gerçekleşmiştir. Diğer harç numunelerinin ise zararsız davranış sergileyeceği belirlenmiştir. Agregaya ile mineral katkı karışımının alkali silika reaksiyonunu etkilediği belirlenmiştir.

- Elde edilen sonuçlardan doğal agregaya ile üretilen KYB'lerin, betonda işlenebilirlik ve kalıcılık özelliklerini olumlu etkilediği görülmektedir. Dayanım açısından incelendiğinden kırmataş agregaya ile üretilen betonlar ile birbirine yakın dayanım verdiği görülmüştür.

- KYB'nin işlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneylerin laboratuvar ortamında gerçekleşmesi gerektirmektedir. Taze halde KYB'nin doldurma özelliği, geçiş kabiliyeti ve ayrışma direnci gibi şartlarını ölçmek şantiye'de mümkün olmayacağından, uygulanması kolay ve kullanıcı hatalarını minimuma indirecek basit deney yöntemlerinin geliştirilmesi uygun olacaktır.

- Farklı bölgelerdeki kaynaklardan elde edilen agregalar ile deneyler tekrar yapılabilir ve agregaya kaynaklarının KYB üzerinde etkisi incelenmiş olur.

- Uçucu kül ve mermer tozu dışında mineral katkıların agregalar ile uyumu araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- ASTM International, (2004). ASTM C 1012-04, Standard test method for length change of hydraulic-cement mortars exposed to a sulfate solution.
- ASTM International, (2004). ASTM C 1260-14, Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method).
- Atlı, İ. (2012). *Farklı iri agrega içeriğinin kendiliğinden yerleşen betonların yüzey aşınma direncine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- Artık, K. (2009). *Kendiliğinden Yerleşen Betonda Farklı Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon
- Bartos, P. J. (2005). Testing-SCC: towards new European standards for fresh SCC. In *SCC'2005-China: 1st International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete* (pp. 25-44). RILEM Publications SARL.
- Billberg, P. (2005). Mechanisms behind reduced form pressure when casting with SCC. In *First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete, SCC'2005* (Vol. 42, pp. 589-598).
- Corradi, M. (2002). Zero Energy System: An Innovative Approach for Rationalised Precast Concrete Production. In *Proceedings-17th BIBM international congress of PC industry*.
- Coşkun, A. (2013). *Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özellikleri ve Aderans Dayanımı Üzerine Agrega Tipinin Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ
- Colleparadi, M. (2001). *A Very Close Precursor of Self-Compacting Concrete (SCC)*, unpublished data, 10p.
- Çelik, B. (2013). *Farklı Su Emme Kapasitesine Sahip Agregaların Kendiliğinden Yerleşen Betonun Taze ve Sertleşmiş Özelliklerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa
- Çubuk, E. (2017). *Kendiliğinden Yerleşen Betonda Kullanılan Farklı Agrega Boyutlarının ve Şekillerinin İşlenebilirlik Üzerine Etkisi*, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa
- Dehn, F. (2002). High Performance Self-Compacting Concretes for Bridge Construction, *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, pp. 433-438
- Draffin J.,O. (1943). A brief history of lime, *Cement, concrete and reinforced concrete, journal of the western society of engineers*, vol. 48, march, pp 14-47
- Dransfield, J. (2009) Admixtures, *ICE Manual of Construction Materials, Institution of Civil Engineers*, pp. 91-100



### KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Kocataşkın, F. (1991). Betonun Dünü Bugünü Yarını, 2. *Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, Kardeşler Matbaası, (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası) Sf, 23-42.*
- Kurt, D. (2009). *Alkali-Silika Reaksiyonunu Önlemek İçin Betonda Puzolanik ve Kimyasal Katkı Kullanımının Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale
- Leemann, A., Münch, B., Gasser, P., & Holzer, L. (2006). Influence of compaction on the interfacial transition zone and the permeability of concrete. *Cement and Concrete Research*, 36(8), 1425-1433.
- Nanthagopalan, P., & Santhanam, M. (2010). A new empirical test method for the optimisation of viscosity modifying agent dosage in self-compacting concrete. *Materials and structures*, 43(1-2), 203-212.
- Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-compacting concrete. *Journal of advanced concrete technology*, 1(1), 5-15.
- Okamura, H. (1997). Self-compacting high-performance concrete. *Concrete international*, 19(7), 50-54.
- Ouchi, M. (1999). Self-compacting concrete – Development, applications and investigations, *Nordic Concrete Research Committee Publications*, 5p.
- Ozawa, K., Maekawa, K., Kunishima, M., Okamura, H., Development of High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures, *In Proceedings of the Second East-Asia and Pasific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2), Vol. 1, January 1989*, pp. 445-450.
- Özgüler, A., T. (2007). Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekaniksel Özelliklerine Agregat Tipinin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ
- Özkul M. H., Taşdemir M., Tokyay M., Uyan M. (2007) Her Yönüyle Beton, *Türkiye Hazır Beton Birliği yayını*, İstanbul
- Özger, O., B. (2011). Farklı Türde Mineral, Katkı Kullanımının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Geçirimliliği ve Durabilite Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Özyaşar, E. (2016). Kendiliğinden Yerleşen Beton Davranışının Sayısal Model ile Benzetimi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik
- Rols, S., Ambroise, J., & Pera, J. (1999). Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete. *Cement and Concrete Research*, 29(2), 261-266.

### KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Sağlam, A.R., Parlak, N., Doğan, U.A., Özkul, M.H. (2004) Kendiliğinden yerleşen beton ve katkı-çimento uyumu, *Beton 2004 Kongresi*, 10-12 Haziran, İstanbul, s. 213-224
- Safiuddin, Md. (2008). *Development of Self-consolidating high Performance Concrete Incorporating Rice Husk Ash*, PhD. Thesis, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada
- De Schutter, G. (2005). Guidelines for testing fresh self-compacting concrete. *European Research Project*.
- Skarendahl, A., Petersson, Ö. (2000). Self-Compacting Concrete, *Rilem Report 23, Stateof-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC*, France
- Su, N., Hsu, K. C., & Chai, H. W. (2001). A simple mix design method for self-compacting concrete. *Cement and concrete research*, 31(12), 1799-1807.
- Şimşek, O. (2003). *Agrega, Yapı Malzemesi II*, Beta Basım A.Ş., İstanbul,
- Tezel, O., vd., *Kendiliğinden yerleşen beton deney metodları ve uygulama örnekleri*, <https://docplayer.biz.tr/47928434-Kendiliginden-yerlesen-beton-deney-metodlari-ve-uygulama-ornekleri.html>
- Tetik, A. S. (2005). *Kendiliğinden Yerleşen Beton*, Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara
- Topcu, I. B., Bilir, T., & Uygunoğlu, T. (2009). Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete. *Construction and building Materials*, 23(5), 1947-1953.
- Topçu, İ. B., Bilir, T., Baylavlı, H. (2008). Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 1-22.
- TS EN 933-9, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler – İnce Tanelerin Tayini – Metilen Mavisi Deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler – Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS 3529, Beton Agregaların Birim Ağırlıklarının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 1097-2, Agregaların Mekanik Özellikleri İçin Deneyler – Parçalanma Direncinin Tayini için Metotlar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 1744-1, Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler – Kimyasal Analiz, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 933-8, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler – İnce Tanelerin Tayini – Kum Eş Değeri Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara

### KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- TS EN 12350-9, Beton – Taze Beton Deneyleri – Kendiliğinden Yerleşen Beton – V Hunisi Deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 12350-10, Beton – Taze Beton Deneyleri – Kendiliğinden Yerleşen Beton – L Kutusu Deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 12350-12, Beton – Taze Beton Deneyleri – Kendiliğinden Yerleşen Beton – J Halkası Deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 12390-2, Sertleşmiş Beton Deneyleri – Dayanım Deneylerinde Kullanılana Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabi Tutulması, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 12390-3, Sertleşmiş Beton Deneyleri – Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS EN 12504-4, Beton Deneyleri – Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS 12390-9, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Donma Çözülme Direnci – Yüzeysel Kabuk Atma (Yüzeysel Yıpranma), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- TS 2824 EN 1338, Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları – Gerekli Şartlar ve Deney Metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- Uygunoğlu, T. (2008). *Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta
- Yanar, T. M. (2007). *Effect of mineral admixtures on the properties of self compacting concrete*, MsC Thesis, Gaziantep University Graduate School of Natural & Applied Sciences, Gaziantep
- Xie, Y., Li, Y., and Long, G. (2005). Influence of Aggregate on Properties of Self-Consolidating Concrete, *First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-consolidating Concrete* May 26-28, 161-171, China
- Walraven, J. (1999). Structural concrete. *Journal of fib*, 1(1), 3-11.
- Wu, S. (2005). Application of Self-compacting Concrete in Frame-shear wall structure and road construction. In *First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-consolidating Concrete (May 26-28, 2005)*, Z. Yu, C. Shi, KH Khayat and Y. Xie (The editors), China (pp. 705-712).
- Walraven, J. (2002). Self-Compacting Concrete in the Netherlands, *Firs North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, pp.399-404,

## ÖZ GEÇMİŞ



### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : İhsan Talha ARIGÜL  
Doğum Yeri ve Tarihi : Adapazarı- 02.07.1989

### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : İnşaat Mühendisliği, Süleyman Demirel Üniversitesi

### İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Bilecik Valiliği, Bilecik İl Özel İdaresi, Yol ve Ulaşım Hizmetleri Müdürlüğü (2014 – Devam ediyor).

### İletişim

E-Posta Adresi : talhaarigul@gmail.com

### Akademik Çalışmaları

- :Arigül İ.T., “ Farklı Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri”, *IMCOFE Congress On Technical, Health And Natural Sciences*, Antalya 24-26 Nisan 2019
- :Arigül İ.T., “Kayısı Çekirdeği Kabuğu ve Zeytin Çekirdeği Prinasının Hafif Beton Üretiminde Değerlendirilmesi”, *IMCOFE Congress On Technical, Health And Natural Sciences*, Antalya 24-26 Nisan 2019
- :Arigül İ.T., “Polimer ve Çimentolu Harçların Donma Çözülme Direncinin İncelenmesi”, *IMCOFE Congress On Technical, Health And Natural Sciences*, Antalya 24-26 Nisan 2019

### Yabancı Dil Bilgisi

İngilizce (Orta düzey)

**Tarih: 26/08/2019**