



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON BARAJLARDA AGREGA NEM  
MİKTARININ MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

KADİR KOÇYİĞİT

Temmuz 2019



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON BARAJLARDA AGREGA NEM  
MİKTARININ MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

KADİR KOÇYİĞİT

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Prof. Dr. Ahmet BİLGİL

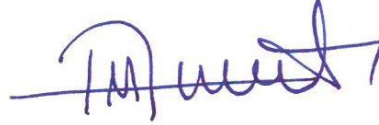
Temmuz 2019

**Kadir KOÇYİĞİT** tarafından **Prof. Dr. Ahmet BİLGİL** danışmanlığında hazırlanan “**Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajlarda Agreganın Nem Miktarının Mühendislik Özelliklerine Etkisi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ahmet BİLGİL Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Cemal ACAR (Kayseri Üniversitesi)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hasan Erhan YÜCEL (Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi)



**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ....../...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun ....../...../20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

**Doç. Dr. Murat BARUT**  
**MÜDÜR**

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Kadir KOÇYİĞİT



---

## ÖZET

### SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON BARAJLARDA AGREGA NEM MİKTARININ MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

KOÇYİĞİT, Kadir

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Ahmet BİLGİL

Temmuz 2019, 76 sayfa

Silindirle sıkıştırılmış Beton (SSB) üretiminde beton karışımındaki kıvam, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen en önemli parametredir. Kıvamı belirlemede, karışımındaki su miktarı değerinin dışında, Su/Çimento malzeme oranını değiştirecek en önemli etmen agreganın içerdiği serbest nem miktarıdır. Özellikle yağışlı havalarda agregaların bünyesel su miktarlarında önemli bir artış gözlenmektedir. Bu değişim baraj gövdesindeki betonun mühendislik özelliklerini doğrudan etkileyebilmektedir. Agregada nem oranındaki değişimin beton özelliklerine etkisini incelemek için %0-1-2-3-4 ve 6 farklı nem oranı içeren agregalar ile silindirik numuneler üretilmiştir. SSB karışımlarının Vebe testiyle kıvamları ölçülmüştür. Sonra numunelere 28, 60 ve 90 günlük kür işlemleri uygulanmıştır. Kür sonunda numunelerin birim hacim ağırlığı, su emme yüzdesi, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su işleme derinliği ve geçirimsizlik katsayısı değerleri tespit edilmiştir. %1 nem içeren gruptaki agregalardan oluşan SSB numuneleri diğer agregada grubundaki numunelere göre, mühendislik özelliklerinin optimum değerinde olduğu tespit edilmiştir.

*Anahtar Sözcükler:* Silindirle sıkıştırılmış beton, beton barajlar, agregada su emme yüzdesi

## SUMMARY

### THE EFFECT OF AGGREGATE HUMIDITY ON ENGINEERING PROPERTIES IN CYLINDER-COMPACTED CONCRETE DAMS

KOÇYİĞİT, Kadir

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Ahmet BİLGİL

July 2019, 76 pages

Consistency of concrete mixture in Roller Compacted Concrete (RCC) production is the most important parameter affecting the physical and mechanical properties of concrete. In determining the consistency, apart from the amount of water in the mixture, the most important factor that will change the water/cement material ratio is the amount of free moisture contained in the aggregate. Particularly in rainy weather, a significant increase is observed in the internal water content of aggregates. This change can directly affect the engineering properties of the concrete in the dam body. In order to investigate the effect of the change in the moisture content of aggregates on concrete properties, aggregates containing 0-1-2-3-4% and 6 different moisture ratios were used to produce cylindrical samples. The consistency of RCC mixtures was measured by Vebe test. The samples were then cured at 28, 60 and 90 days. At the end of curing, unit volume weight, water absorption percentage, compressive strength, splitting tensile strength, water processing depth and permeability coefficient values were determined. The RCC samples, which consist of aggregates in the group containing 1% moisture, were found to have optimum engineering properties compared to the samples produced with the other aggregate groups.

*Keywords:* Roller compacted concrete, concrete dams, water absorption of aggregate

## ÖN SÖZ

Bu çalışmada Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Barajlarda Agrega Nem Miktarının betonun mühendislik özellikleri üzerinde etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar, SSB baraj tipi olan İhsaniye Barajı laboratuvarında deneysel olarak yürütülmüştür. Deneysel faaliyetler olarak 6 farklı nem miktarına sahip agregalar ile 6 farklı Su/Çimento malzeme oranına sahip SSB karışımlar üretilmiştir. Üretilen numuneler 28, 60 ve 90 günlük kür işlemlerine tabi tutularak su emme yüzdesi, birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı, su işleme derinliği, geçirgenlik katsayısı değerleri elde edilerek en iyi mühendislik özelliğine sahip beton karışımı belirlenmeye çalışılmıştır.

Lisans eğitimi ve yüksek lisans eğitimim boyunca, birikimi ve bilgisiyle bana yardımcı olup desteğini esirgemeyen danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Ahmet BİLGİL hocama teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim boyunca bana yardımcı olan ve desteğini esirgemeyen tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Sekreteri olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Fuat Özcan ağabeyime teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarımı yürütebilmem için bana imkân sağlayan İhsaniye Barajı şantiye şefi İskender Güman'a, deney yapma sürecinde bana yardımcı olan DSİ 1. Bölge 15. Şube Müdürlüğünde sürveyan ve laboratuvar görevlisi olarak görev yapan Mahmut YEŞİLYURT'a, şantiye laboratuvar çalışanları Habip ENİŞ, İslam EVRENCİ ve Mert ER'e teşekkür ederim.

Sadece Yüksek Lisans eğitim sürecinde değil bütün eğitim hayatım boyunca bana inanan ve benden desteğini hiç esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
ÖN SÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ .....	xii
SİMGE VE KISALTMALAR .....	xiii
BÖLÜM I GİRİŞ .....	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	3
BÖLÜM II GENEL BİLGİLER .....	5
2.1 Baraj Yapım Amaçları .....	6
2.2 Baraj Yerinin Seçimi .....	7
2.3 Baraj Tipinin Seçimi .....	8
2.4 Barajların Sınıflandırılması.....	9
2.4.1 Barajların büyüklüklerine göre sınıflandırılması.....	9
2.4.2 Barajların yapılış amaçlarına göre sınıflandırılması.....	10
2.4.3 Barajların gövde tipine göre sınıflandırılması .....	10
2.5 Baraj Gövde Tipleri .....	10
2.5.1 Kil çekirdekli dolgu barajlar .....	10
2.5.1.1 Homojen gövdeli barajlar .....	11
2.5.1.2 Zonlu barajlar.....	11
2.5.2 Ön yüzü beton kaplı barajlar.....	12
2.5.3 Betonarme barajlar.....	12
2.5.4 Asfalt çekirdekli barajlar .....	14
BÖLÜM III SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON BARAJLAR.....	16
3.1 Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajların Avantajları .....	17
3.2 Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajların Dezavantajları .....	18
3.3 Silindirle Sıkıştırılmış Beton Karışımında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri ....	19
3.3.1 Agrega.....	20

3.3.2 Çimento.....	22
3.3.3 Puzolan .....	25
3.3.4 Su .....	25
3.3.5 Kimyasal katkılar.....	26
3.4 Literatür Çalışmaları .....	26
<b>BÖLÜM IV MATERYAL VE YÖNTEM .....</b>	<b>33</b>
4.1 Materyal .....	33
4.1.1 Agregası.....	33
4.1.2 Çimento.....	35
4.1.3 Uçucu kül.....	36
4.1.4 Kimyasal katkı .....	37
4.1.5 Su .....	38
4.1.6 SSB karışımında kullanılan malzeme miktarı .....	38
4.2 Yöntem.....	38
4.2.1 Hazırlık ve deney numunelerinin üretimi .....	39
4.2.2 Taze SSB'ye uygulanan deneyler .....	42
4.2.2.1 Beton sıcaklığının ve nem oranının belirlenmesi .....	42
4.2.2.2 Vebe değerinin belirlenmesi .....	42
4.2.3 Sertleşmiş SSB numunelere uygulanan deneyler .....	44
4.2.3.1 Su emme değerinin belirlenmesi .....	45
4.2.3.2 Birim hacim ağırlığı belirlenmesi .....	45
4.2.3.3 Eksenel basınç dayanımı değerinin belirlenmesi.....	46
4.2.3.4 Yarmada çekme dayanımı değerinin belirlenmesi .....	47
4.2.3.5 Su işleme derinliği değerinin belirlenmesi .....	48
4.2.3.6 Geçirgenlik katsayısı değerinin belirlenmesi.....	50
<b>BÖLÜM V BULGULAR VE TARTIŞMA.....</b>	<b>52</b>
5.1 Taze SSB'ye Uygulanan Deneylerin Sonuçları .....	52
5.1.1 Betonun sıcaklık ve nem oranı testi deneyi sonuçları .....	52
5.1.2 Vebe deneyi sonuçları.....	53
5.2 Sertleşmiş SSB Numunelere Uygulanan Deneylerin Sonuçları .....	54
5.2.1 Su emme yüzdesi ve BHA deneyi sonuçları.....	54
5.2.2 Eksenel basınç dayanımı deneyi sonuçları .....	56
5.2.3 Yarmada çekme dayanımı deneyi sonuçları .....	59
5.2.4 Su işleme derinliği deneyi sonuçları.....	62

5.2.5 Geçirgenlik katsayısı deneyi sonuçları .....	64
BÖLÜM VI SONUÇLAR .....	67
KAYNAKLAR .....	69
ÖZ GEÇMİŞ .....	76



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Dünyada en çok SSB baraja sahip olan 10 ülkenin sıralaması.....	17
Çizelge 3.2. SSB’de kullanılan malzemelerin ASTM standart ve şartnameleri.....	19
Çizelge 3.3. İri agrega gradasyon kabul sınırları.....	22
Çizelge 3.4. İnce agrega gradasyon kabul sınırları.....	22
Çizelge 3.5. Çimento çeşitleri ve bileşenleri.....	24
Çizelge 3.6. SSB’de kullanılacak uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	25
Çizelge 3.7. ASTM C494’e göre kimyasal katkı tipleri.....	26
Çizelge 4.1. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri.....	34
Çizelge 4.2. İnce agreganın (0-5 mm) elek analizi sonuçları.....	34
Çizelge 4.3. Kaba agreganın (5-19 mm) elek analizi sonuçları.....	34
Çizelge 4.4. Kaba agreganın (19-38 mm) elek analizi sonuçları.....	35
Çizelge 4.5. CEM I 42.5R çimento tipinin fiziksel özellikleri.....	35
Çizelge 4.6. CEM I 42.5R çimento tipinin kimyasal özellikleri.....	36
Çizelge 4.7. F sınıfı uçucu külün fiziksel özellikleri.....	36
Çizelge 4.8. F sınıfı uçucu külün kimyasal özellikleri.....	37
Çizelge 4.9. Kimyasal katkının özellikleri.....	37
Çizelge 4.10. 1 m <sup>3</sup> SSB üretiminde kullanılan malzeme miktarları.....	38
Çizelge 4.11. Üretilme amacına göre SSB numune grubu ve sayısı.....	41
Çizelge 5.1. Taze betonun içerdiği sıcaklık ve nem miktarı değerleri.....	52
Çizelge 5.2. Taze SSB’nin Vebe değerleri.....	53
Çizelge 5.3. SSB numunelerin BHA ve su emme yüzdesi değerleri.....	55
Çizelge 5.4. SSB numunelerin aksenal basınç dayanımı değerleri.....	57
Çizelge 5.5. SSB numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri.....	60
Çizelge 5.6. SSB numunelerin su işleme derinliği değerleri.....	62
Çizelge 5.7. SSB numunelerin geçirgenlik katsayısı değerleri.....	64

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 5.1. Taze SSB'nin agrega nem miktarı-Vebe değeri .....	53
Şekil 5.2. SSB numunenin agrega nem miktarı-su emme yüzdesi .....	55
Şekil 5.3. SSB numunenin agrega nem miktarı-ıslak ve etüv kurusu BHA .....	56
Şekil 5.4. 28 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-eksenel basınç dayanımı .....	57
Şekil 5.5. 90 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-eksenel basınç dayanımı .....	58
Şekil 5.6. 28 ve 90 günlük SSB numunenin eksenel basınç dayanımı .....	58
Şekil 5.7. 60 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-yarmada çekme dayanımı .....	60
Şekil 5.8. 90 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-yarmada çekme dayanımı .....	61
Şekil 5.9. 60 ve 90 günlük SSB numunenin yarmada çekme dayanımı .....	61
Şekil 5.10. 60 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-su işleme derinliği .....	62
Şekil 5.11. 90 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-su işleme derinliği .....	63
Şekil 5.12. 60 ve 90 günlük SSB numunenin su işleme derinliği ilişkisi .....	63
Şekil 5.13. 60 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-geçirgenlik katsayısı .....	65
Şekil 5.14. 90 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-geçirgenlik katsayısı .....	65
Şekil 5.15. 60 ve 90 günlük SSB numunenin geçirgenlik katsayısı .....	66

## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 2.1. ÖBKB baraj uygulaması örneği.....	12
Fotoğraf 2.2. SSB baraj uygulaması örneği.....	14
Fotoğraf 2.3. Asfalt çekirdekli baraj imalatı örneği.....	15
Fotoğraf 4.1. SSB'nin silindirik numune kaplarına sıkıştırılarak yerleştirilmesi.....	41
Fotoğraf 4.2. SSB'nin Vebe kalıbına yerleştirilmesi.....	44
Fotoğraf 4.3. SSB karışımına Vebe deneyinin uygulanışı.....	44
Fotoğraf 4.4. Silindirik numunenin aksenal basınç dayanımı testi.....	47
Fotoğraf 4.5. Silindirik numunenin yarmada çekme dayanımı testi.....	48
Fotoğraf 4.6. Su işleme derinliği ölçümü cihazı.....	49
Fotoğraf 4.7. SSB numunenin su işleme derinliği.....	50
Fotoğraf 4.8. SSB silindirik numunenin geçirgenlik deneyi testi.....	51

## SİMGE VE KISALTMALAR

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$t_s$	Zaman
P	Uygulanan su basıncı
L	Numunenin yüksekliği
A	Yüzey alanı
$K_y$	t günlük betonun geçirimsizlik katsayısı
$V_s$	$t_s$ saat aralıklarla ölçülen su miktarları farkı
$\sigma_b$	Eksenel basınç gerilmesi
$f_{ct}$	Yarmada çekme dayanımı değeri
$K_{60}$	60 günlük betonun geçirgenlik katsayısı
$N_k$	Su emme yüzdesi
$R_k$	Beton karışımının su/bağlayıcı malzeme oranı

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
M.Ö.	Milattan Önce
ICOLD	Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu
ÖBKB	Ön Yüzü Beton Kaplı Baraj
SSB	Silindirle Sıkıştırılmış Beton
DSİ	Devlet Su İşleri
A.Ş.	Anonim Şirket
MPa	Mega Pascal
TS EN	Türk Standartları Enstitüsü
BHA	Birim Hacim Ağırlık

# BÖLÜM I

## GİRİŞ

Tarih boyunca insan çevresi ile ilişkilerinde deneyim kazanmayı başarmış, hayatını sürdürebilmek için yeni yaşam alanları oluşturmuş, bitkiler yetiştirmiş ve bunları gereksinmelerine göre uyarlamıştır. Bitkisel üretimi artırmak amacı ile su gibi girdileri en etkili bir biçimde kullanabilmek için uygun yöntemler geliştirmiştir. Ancak insan doğayı yenmeyi başaramamış ve hidrolojik çevrime etki edememiştir. Kuraklık tehlikesi her zaman büyük bir sorun olmuştur. Çözüm arayışlarında, akarsuların yolunu keserek arkasında göl oluşturmak amacı ile günümüzde baraj olarak isimlendirilen su yapılarını geliştirmiştir. Baraj inşası ile su potansiyelini artırma çalışmaları çok eski tarihlere gitmesine rağmen, yeryüzündeki su potansiyelinin sınırlı olması, hızlı nüfus artışı ve yiyecek maddelerine olan gereksinimdeki artış nedeni ile su hala pek çok yerde en değerli doğal kaynak olma özelliğini sürdürmektedir.

Yer kürenin 2/3'ü suyla kaplıdır. Bu suyun %97,5'i okyanuslarda ki tuzlu sulardan oluşur. Geriye kalan %2,5'lik tatlı suyun büyük bir kısmı kutuplarda buzul olarak ve derin jeolojik katmanlarda yeraltı suyu olarak bulunur. İnsanlığın kullanabildiği tatlı su miktarları dünyadaki toplam tatlı su miktarının %0,1'i kadar olup bu sular göllerde, derelerde, nehirlerde ve rezervuarlarda bulunur (MGM, 2019).

Yapılan araştırmalar; 2050 yılında mevcut su rezervinin, 9 milyara yaklaşması beklenen nüfusun ihtiyaçlarını karşılamaya yetmeyeceğini göstermektedir. Nüfusun artışı dışında küresel sıcaklık artışının kontrol edilememesi, kuraklık, enerji üretimi vb. nedenlerden ötürü suyun kullanımının önümüzdeki 20 yılda yaklaşık iki kat artacağını göstermektedir. Birleşmiş Milletlerin verilerine göre Everest Tepesi'ndeki sıcaklığın küresel ısınma nedeniyle 1,8 derece arttığını, tepedeki buzulların %13 azaldığını ve bunlara bağlı olarak muson yağmurları ile kış aylarındaki yağış miktarının azaldığı görülmüştür. Ayrıca, mevcut veriler dünyada yaklaşık 1 milyar insanın yeterli içme suyuna sahip olmadığını, 2,3 milyar insanın sağlıklı suya ulaşamadığını, yılda 7 milyon insanın ise su ile ilgili hastalıklardan dolayı hayatını kaybettiğini göstermektedir (Yılmaz, 2015).



Bilindiği üzere dünyada ki tatlı su kaynakları sınırlıdır ve dünya coğrafyasına eşit şekilde dağılmamıştır. Gelişmiş ülkelerde teknik ve ekonomik etmenlerle, mevcut su kaynaklarını depolama ve geri dönüştürüp yeniden kullanma yolları yeterli olabilir. Fakat su kaynakları yetersiz birçok bölgede nüfusun da sürekli artmasıyla suya olan talebi karşılamak zorlaşır. Dolayısıyla bu bölgelerde su kaynaklarını tutmak için yapılan baraj, gölet vb. yapılara yapılan yatırım ve destek büyük önem taşır. Barajlar, dünyada eşit olarak dağılmayan su kaynaklarını toplamda 6000 km<sup>3</sup> lük depolama kapasitesiyle kontrol altına alınmak suretiyle etkin şekilde yönetmiş olur (ICOLD, 2019).

Dünyada refah seviyesinin gelişmesinde enerjinin kullanımı büyük önem taşımaktadır. Enerji kaynağının %20'lik kısmı suyun kullanımıyla elde edilen yenilenebilir özelliğe sahip olan hidroelektrik enerjidir. Hidrolojik doğal döngüyü bozmayıp ekosisteme zarar vermeyecek şekilde düzgün ve kullanışlı yapılan barajların, enerji üretiminin dışında; balıkçılık, tarımda sulama, insanların çeşitli ihtiyaçlarını (içme suyu, temizlik vb.) karşılamak amaçlı kullandığı suyun kalitesinin artması gibi birçok faydası vardır (ICOLD, 2019).

Su bilançosundaki açığın nedeni ne olursa olsun, gün geçtikçe artmakta olan ihtiyacı karşılayabilmek için üretilen çarelerden biride akarsulardaki tatlı su kaynaklarını depolamaktır. Bu konuda şimdiye kadar milyarlarca dolara mal olan projelerin geliştirildiği de görülmektedir. Ancak bu projelerde en önemli girdiyi depolama baraj gövdesinin inşası oluşturmaktadır. Eski medeniyetler tarafından yapılan su tesisleri yapıları dikkate alındığında, doğayı olağanüstü şekilde gözlemledikleri ve bu gözlemlerden sonuçlar çıkardıkları görülmektedir. Eski çağlarda hidrolik teknolojideki başarılar, çevrenin korunmasıyla ilgili kavramlarla ilgili değil, işgücü ve maliyetlerin düşürülmesine yönelik çabalarla ilişkilidir (Mays, 2008).

Tüm dünyada, insanların ihtiyaçları doğrultusunda teknolojideki gelişmeye paralel olarak hemen bütün konularda büyük bir ilerleme kaydedilmiştir. Yalnız birçok konuda ortaya çıkan maliyetin, teknolojik ilerleme ile birlikte arttığı bilinmektedir. İnsanoğlu bu durumda hem yapım maliyetinin düşük olduğu hem de teknolojik gelişmelere paralel olarak teknik anlamda daha gelişmiş ve uygun yapıların üretilmesini hedeflemektedir. Dünyada doğal su kaynaklarının kısıtlı olması, sudan en az kayıplarla ve en ekonomik biçimde yararlanmayı kaçınılmaz kılmaktadır. Bu durum göz önüne alınarak yapılan

barajlarda, ilk yapılmaya başlandığı zamanlardan başlayıp günümüze kadar gelen süreç içerisinde birçok teknolojik gelişme yaşanmış ve farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biride, son zamanlarda oldukça yaygınlaşan maliyet ve uygulama olarak uygun (hızlı ve seri şekilde üretim imkânı sağlayan) olan Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) barajlardır (Sürmeli, 2002).

Devlet Su İşleri (DSİ), Silindirle Sıkıştırılmış Beton Teknik Şartnamesinde (SSBTŞ) (2014), genel olarak açıklanan, SSB'nin imalatı, nakli, dökümü, sıkıştırılması ve küre tabi tutulması ile ilgili işlerin yöntemi anlatılmaktadır. SSB, sıfır slump (çökmeyen) özelliğinde olan, kum, çakıl, çimento, su ve gerek duyulması halinde diğer katkı maddelerinin de yer aldığı bir beton türü olarak tanımlanmaktadır. SSB karışımındaki çimento içeriği konvansiyonel betondakinden az olmakla birlikte, karışım içeriği genel olarak benzer malzemelerden meydana gelir. Bu karışımda çimento haricinde uçucu kül vb. farklı ek bağlayıcı maddelerde bulunabilir. Silindirle sıkıştırılmış beton çeşitli sınıflarda gruplandırılmış ince ve kaba agrega, uçucu kül, çimento ve bazı katkıların uygun miktarda su ile karıştırılıp iş makineleri vasıtasıyla serilmesi ve titreşimli silindirle uygun oranda sıkıştırılmasından oluşmaktadır. Teknikte, proje formülasyonuna bağlı olarak aynı tip agregalar kullanılmak şartıyla SSB ve konvansiyonel betonun uygulamada birlikte çalışması sağlanmalıdır.

SSB karışımlarının oranları bazı şartlar altında değişiklik gösterebilir. Bunlar günlük beton dökümlerinde rutubet, rüzgâr şiddeti, sıcaklık, bulut örtüsü, agrega stok sahasındaki nem miktarı gibi değişkenlerdir. İşlenebilirlik açısından gerekli kıvamın elde edilmesi için, SSB içinde segregasyonun önlenip istenilen sıkıştırmanın sağlanması, karışımdaki çimento, uçucu kül ve su miktarlarındaki düzeltmelerle sağlanabilir. Ancak üretimde en önemli parametrelerden biri de su/çimento oranının optimize edilmesidir. Bu oranı değiştiren en büyük dış etmen doğal ortamda agreganın bünyesinde bulunan serbest nem miktarındaki değişkenliktir.

### **1.1 Çalışmanın Amacı**

Günümüz baraj teknolojisinde gövde inşası oldukça önem taşımakta olup, performans olarak istenilen birçok özelliği hala çözülmesi gereken bir sorun olarak gündemini korumaktadır. Özellikle SSB baraj gövde imalatında taze beton kıvamı, betonun

mühendislik özelliklerine doğrudan etki etmektedir. Uygulamadaki karışım hesaplarında kullanılan su miktarı kontrol altına alınmasına rağmen, agregaların içerdiği serbest nem miktarı, Su/Çimento (S/Ç) oranını artırarak taze beton kıvamını değiştirebilmektedir. Bilindiği üzere S/Ç oranının artışı betonun mekanik performansını, özellikle de permeabiliteyi olumsuz yönde değiştirebilmektedir.

SSBTŞ (2014); beton karışımında ince agrega serbest nem oranının %6'yı, iri agreganın serbest nem oranının ise %4'ü geçmeyecek şekilde kontrol edilmesi gerektiği belirtmiştir. Ancak uygulamada iklim şartlarının çok hızlı değişmesi, agrega serbest nem miktarının da değişmesine neden olmakta ve betonun mühendislik özelliklerini de önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Bu çalışmada ise, SSB karışımında kullanılan agreganın iklim şartlarına göre değişen serbest nem miktarının betonun geçirimsizlik (permeabilite) ve dayanım gibi temel mühendislik özellikleri üzerindeki etkisinin ve en uygun agrega serbest nem miktarı değerinin tespiti amaçlanmıştır.

Bu amaç ile ilgili şartnamede belirtilen nem aralığı dikkate alınarak 6 farklı serbest nem miktarına sahip (%0, 1, 2, 3, 4 ve 6) agrega grubu oluşturulmuş ve SSB numuneleri üretilmiştir. Numunelerin 28 günlük kür işlemi sonunda basınç dayanım değerleri, 60 günlük kür işlemi sonunda yarmada çekme dayanımı, su işleme derinliği ve geçirimsizlik katsayısı değerleri, 90 günlük kür işlemleri sonunda da basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su işleme derinliği ve geçirimsizlik katsayısı değerleri tespit edilmiştir. Bulunan değerler kıyaslanarak agreganın optimum serbest nem aralığı değeri belirlenmiştir.

Bu çalışma 6 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; çalışmanın kapsamından ve öneminden bahsedilmiştir. İkinci bölümde; barajlar hakkında genel bilgiler verilerek baraj yapımının amacı, baraj yerinin seçimi, barajların sınıflandırılması ve baraj gövde tipleri hakkında bilgi sunulmuştur. Üçüncü bölümde; çalışma konusunu doğrudan ilgilendiren silindirle sıkıştırılmış beton baraj tipinin genel özelliklerine, SSB barajın avantaj ve dezavantajlarına, SSB karışımında kullanılan malzemelerin genel özelliklerine ve literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Dördüncü bölümde; çalışmada kullanılan materyaller tanımlanmış ve çalışmada kullanılacak yöntemlere yer verilmiştir. Beşinci bölümde; deneysel çalışmanın sonuçlarının irdelenmiştir. Altıncı bölümde; Sonuçlar ve faydalanılan kaynaklar yer almaktadır.

## BÖLÜM II

### GENEL BİLGİLER

Su kaynakları, kentleşmenin meydana gelmesi ve gelişmesinde büyük bir rol oynamaktadır. Ulaşım, tarımsal üretim, enerji üretimi ve sosyal yaşamı doğrudan etkileyen akarsular, hareketli ve değişken yapıda olması nedeniyle ekoloji üzerinde önemli bir etkiye de sahiptir. Bu doğal kaynakların kentleşme, nüfus artışı vb. nedenlerden ötürü hızlı tüketimi ve bilinçsiz kullanımı, akarsular üzerinde olumsuz bir etki yaratmıştır. İnsanoğlunun dışında doğada meydana gelen iklim değişikliğine bağlı olarak meydana gelen taşkın ve kuraklık riskleri de akarsuların doğal yapısını bozmuştur. Doğanın ve insanoğlunun akarsu üzerindeki bu olumsuz etkileri dünyada su krizi ve suyun doğru yönetiminin çözümünü gündeme getirmiştir (Yenil, 2010).

Su kaynaklarından faydalanıp doğru yönetimini sağlamak amacıyla çeşitli yapılar inşa edilmektedir. Bu yapılardan en önemlisi barajdır. Baraj, bir akarsu vadisini kapatarak taşkınlardan koruyan, arkasında su biriktiren ve biriken suyu içme suyu, tarımsal sulama, enerji üretimi vb. ihtiyaçları karşılamak amacıyla inşa edilen yapıdır. Baraj inşa edildikten sonra suyun set arkasında biriktirilmesiyle göl meydana gelir. Bu göle rezervuar veya baraj gölü denir.

Bir toplumun gelişebilmesi ve varlığını sürdürebilmesi için yaşadığı bölgenin coğrafi koşulları çok önemlidir. Toprağının verimli ve su kaynaklarının bol olduğu bölgelere yerleşen toplumların kurak bölgede yaşayan toplumlara göre daha kalıcı olduğu aşikârdır. Örneğin; Hitit Devleti Kızılırmak'ın bulunduğu bölgeye, Frigler Sakarya Havza'na, Urartular ise Van ve Urmiye gölleri arasındaki bölgeye yerleşmişlerdir. Su kaynaklarının etrafında yaşayan insanlar ile bozkırda yaşayan insanlarda oluşan toplumların yaşam biçimleri de birbirinden farklı olmaktadır (Ünsal, 2012). Barajların tarihi medeniyetlerin yükselişi ve düşüşüyle doğrudan ilgilidir (Jansen, 1980). Örneğin Mısır'ın yüzyıllarca huzur içinde yaşaması Temmuz-Eylül ayları dönemlerinde Nil Nehri'nin akışına ve sulama sistemlerinin yeterli ve güçlü olmasından kaynaklanmaktadır (Chanson, 2004).

Barajların, medeniyetin başlangıcı olarak kabul edilen Babil, Mısır, Hindistan, İran ve Uzak Doğu'da 5000 yıldan fazla bir süredir insanlığa hizmet ettiği bilinmektedir. Mısır'da ilk kral Menes tarafından sulama amacıyla Nil Nehri'nden su çekilmesi emri verilmiştir. Çin'de de Nil Nehri üzerinde taşkın kontrolü ve tarımsal alanları sulamak amacıyla barajlar yapılmıştır. Hindistan'ın kutsal kitabında kanal, baraj ve kuyuların işleyişinden söz edilmektedir. Persler, medeni yaşamda suyun önemini fark ederek yer altından su tünelleri kazmış ve çok sayıda baraj inşa etmişlerdir (Jansen, 1980).

Dünyada ilk inşa edilen barajın 110 m uzunluğu ve 12 m yüksekliğinde olup içme suyu ve sulama amacıyla M.Ö 4000 yıllarında Nil Nehri üzerinde yapıldığı ön görülmektedir. Çin'de M.Ö. 2000 yıllarında yapılan ve hala kullanılan Tu-Kiang barajı, 200 bin ha'lık pirinç tarlalarını sulamaktadır. Keşiş Gölü Barajı Türkiye'de inşa edilmiş 10 m yüksekliğinde olup ilk yapılan kargir barajdır (Gedik, 2012).

Dünya'da Uluslararası Büyük Barajlar Komitesi'nin verilerine göre üye ülkelerin sahip olduğu baraj sayısında; 23841 baraj ile Çin ilk sırada, 9265 baraj ile ABD ikinci sırada, 5100 baraj ile Hindistan üçüncü sıradadır. Türkiye 974 baraj ile 11. sırada yer almaktadır. En yüksek barajlarda; 335 m ile Tacikistan'da yapılmış Rogun Barajı birinci sırada, 315 m ile İran'da yapılmış Bakhtiyarı Barajı ikinci sırada, 305 m ile Çin'de yapılmış Jinping 1 Barajı üçüncü sırada yer almaktadır. Ülkemizde Artvin İl'inde inşa edilen iki barajdan; 270 m yüksekliğindeki Yusufeli Barajı 12. sırada, 249 m yüksekliğindeki Deriner Barajı ise 19. Sırada yer almaktadır (ICOLD, 2019).

## **2.1 Baraj Yapım Amaçları**

Barajların bir kısmı tek amaçla, bir kısmı ise birden fazla gereksinimi karşılamak amacıyla yapılmaktadır (Gedik, 2012). Barajların yapılma nedenleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Sulama suyu amacıyla: Dünyanın ekilebilir alanının %18'i sulanan topraklardan oluşmaktadır. Sulama ile mahsul üretimin %40'ı karşılanmakta ve kırsal alanlardaki nüfusun %30'una istihdam sağlanmaktadır. Nüfusun sürekli artmasıyla beraber tarımsal ürünlere ve istihdama olan ihtiyaç artacağından sulamaya olan gereksinimde artmaktadır (ICOLD, 2019).

- Hidroelektrik enerji üretimi: Su kaynaklarından ekonomik olarak faydalanmada hidroelektrik enerji üretiminin payı oldukça önemlidir. Dünyada ki elektriğin %24'ünü üreten hidroelektrik santrallerin her yıl 2,3 trilyon kilovat-saat elektrik üreten 675000 megawatt kapasitesi mevcuttur. Dünyanın en büyük yenilenebilir enerji kaynağı hidroelektrik santrallerdir. Dünyadaki yenilenebilir elektriğin tamamına yakını (%90'dan fazlası) barajlardaki hidroelektrik santrallerden üretilmektedir (ICOLD, 2019).
- Şehirlerdeki kullanma ve içme suyu ihtiyacı: İnsanların içme suyu ve başka doğal ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla (temizlik, yıkama vb.) kullandığı suyu temin etmeye sağlar.
- Endüstriyel yapıların su ihtiyacının temini: Çeşitli ihtiyaç malzemelerinin üretimini sağlayan sanayi yapılarının su ihtiyacının büyük bir kısmı baraj veya göletlerden elde edilir (Gedik, 2012).
- Su ürünlerinin üretimi: İmalatı tamamlanan barajların oluşturduğu su havzalarında balıkçılık yapılarak önemli bir gelir elde edilir (Gedik, 2012). Ziraat Mühendisleri Odası'nın raporuna göre (2018); ülkemizde su ürünleri üretiminde 200'e yakın doğal göl, 300'den fazla baraj gölü, 750'ye yakın gölet ve 33 adet büyük akarsu bulunmaktadır. Ülkemizde yaklaşık olarak 100 çeşit ekonomik açıdan değerli su ürünü bulunmaktadır (ZMO, 2018).
- Mesirelik kullanım: Barajlar inşa edildikleri bölgenin çevresini değiştirmekte, oraya canlılık kazandırmaktadır. Barajın çevresinde inşa edilen rekreasyon alanları, yeşil alanlar vb. burada yaşayan veya gezi amaçlı gelen insanlar tarafından mesirelik olarak kullanılmaktadır (Gedik, 2012).
- Erozyon ve birikintileri önleme: Barajların, sellerin yol açacağı erozyonu ve nehirlerdeki sediment, ağzılarda kil ve kum birikintileri oluşmasını önlemek gibi faydalı bir işlevi de vardır.

## 2.2 Baraj Yerinin Seçimi

Bir akarsu vadisine baraj yapılmaya karar verildiğinde gerekli ön çalışmalar yapılarak barajın yapılabileceği birkaç alternatif bölge belirlenir. Daha sonra bu bölgelerin yapısı bütün detaylarıyla incelenip avantaj ve dezavantajları karşılaştırılarak barajın yapılabileceği en uygun yer belirlenir (Gedik, 2012).

Barajın yapılacağı yerin belirlenmesinde etkili olan etmenler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Baraj yerinin özellikleri: Barajın yapılacağı yerinin topoğrafyası, yamaçların ve baraj temelinin jeolojik yapısı ile taşıma gücü, barajın yapıldığı yerden geçen muhtemel fay hattının özellikleri, alüvyon kalınlığı, derivasyon şartları, ulaşım durumu, baraj inşaatında dolgu malzemesi olarak kullanılacak malzemenin baraj yerine olan uzaklığı vb. etmenler etkindir.
- Göl bölgesinin özellikleri: Göl bölgesinin jeolojik yapısı, kayaların fiziksel ve kimyasal özellikleri, göl yamaçlarının heyelan ve stabilite durumu, göl bölgesinin özellikleri gibi kavramlar incelenir.
- Yağış havzasının özellikleri: Yağış havzasının hidrolik ve hidrolojik özelliklerinden yola çıkarak bitki örtüsü, sediment birikimi, suyun buharlaşması veya sızması, akarsuyun taşıdığı malzeme miktarı gibi etmenler incelenir.
- Çevre etkisi: Barajın yapılmasıyla birlikte bölgede; sosyal yaşamda oluşacak değişiklikler, tarihi değer taşıyan yerlerin durumu, doğal yapının bozulması, iklimde meydana gelebilecek değişme vb. etmenler incelenir.
- İskân, istimlak ve yenileme maliyetleri: Barajın yapılmasıyla birlikte su altında kalacak olan yerleşim yerleri, sanayi yapıları, ulaşım yolları, tarım arazileri gibi yerlerin iskân, istimlak ve yenileme maliyetleri gibi etmenler detaylı olarak incelenerek değerlendirme yapılır.

### **2.3 Baraj Tipinin Seçimi**

Bir baraj inşa edilirken baraj tipinin seçimi önemlidir. Baraj tipi seçilirken hem yapılış amacına uygun hem de ekonomik olması iki temel kriterdir. Bu iki temel etmen dışında etkili olan unsurlar maddeler halinde sıralanmıştır.

- Baraj yerinin topoğrafik durumu: Dar vadilerde kemer ve ağırlık barajlar, geniş vadiler de, dolgu baraj, dar ve derin vadiler de, vadinin yamaçları sağlam ise kemer, değil ise betonarme baraj uygundur (Gedik, 2012).
- Temel zemininin durumu: Sağlam kaya temeller, her türlü baraj tipi için uygundur. Çakıl temeller, geçirimsizlikleri yüksek olduğundan toprak dolgu, kaya

dolgu ve alçak beton ağırlık barajlar için uygundur. Silt veya ince kumlu temeller, alçak beton ve toprak dolgu barajlar için elverişlidir. Kil temeller, taşıma gücü çok düşük olduğu için sadece toprak dolgu barajlar için elverişlidir (Gedik, 2012).

- Uygun malzemenin yeri ve cinsi: Bölgede kum, çakıl ve agrega miktarı mevcutsa beton baraj, uygun toprak ve kaya miktarı mevcutsa dolgu baraj tercih edilir.
- Derivasyon (çevirme) koşulları: Akarsuyu çevirerek baraj inşasının sudan uzak ortamda yapımını sağlayan bu yapılar (batardo, derivasyon tüneli) baraj tipinin seçiminde önemli bir rol oynarlar (Gedik, 2012).
- Dolu savak yeri ve kapasitesi: Dolusavağın baraj üzerinde yer alabildiği durumlarda beton veya kemer baraj alamadığı durumlarda ise dolgu baraj tipi uygun olur.
- Ulaşım imkânları: Baraj yerinin mevcut yollara ve malzeme ocağı ulaşım yoluna yakın olması maliyeti ve yapım hızını olumlu etkileyeceğinden dolayı baraj tipi seçiminde önemli bir parametredir.
- Bölgenin iklim koşulları: İnşaat mevsiminin uzun veya kısa olması baraj tipi seçimini etkiler. Çok yağış alan ve don yaşanan yerlerde dolgu baraj yapımı elverişli olamayacağından beton baraj tipi seçilir (Canik, 1997).
- Heyelan ve deprem: Bölgenin heyelan ve sismik özellikleri de baraj tipi seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır.

## **2.4 Barajların Sınıflandırılması**

Barajlar, büyüklüklerine göre, yapılış amaçlarına göre ve gövde tiplerine göre olmak üzere 3 ana başlıkta sınıflandırılmaktadır.

### **2.4.1 Barajların büyüklüklerine göre sınıflandırılması**

Barajlar büyüklüklerine göre büyük baraj, küçük baraj olmak üzere iki grupta incelenir. Büyük baraj; yüksekliği 15 metreden fazla olan, hazne hacmi  $10^6$  m<sup>3</sup> ten büyük olan yapılardır. Küçük baraj; yüksekliği 10-15m arasında olan, hazne hacmi  $5 \cdot 10^4$ - $10^6$  m<sup>3</sup> arasında olan yapılardır. Ayrıca barajlara göre daha küçük olarak projelendirilip inşa



edilen, yüksekliği 10 metreden az olup hacmi  $5.10^4 \text{ m}^3$ 'ten küçük olarak yapılan yapılara ise gölet denir (Canik, 1997).

#### **2.4.2 Barajların yapılış amaçlarına göre sınıflandırılması**

Barajlar tek bir amacı veya birden fazla amacı karşılamak amacıyla tasarlanırlar. Barajlar; tarımda sulama, içme suyu, taşkın kontrolü, hidroelektrik enerji üretimi, sanayi suyu temini, sürüntü maddesinin (sediment) kontrolü, mesirelik alan oluşturma vb. ihtiyaçları sağlamak amacıyla yapılırlar (Taşdemir, 2014).

#### **2.4.3 Barajların gövde tipine göre sınıflandırılması**

Barajlar genel olarak 4 ayrı baraj gövde tipine göre inşa edilmektedir. Bu baraj tipleri aşağıda maddeler halinde sınıflandırılmıştır (DSİ DBTR, 2012).

- Kil çekirdekli dolgu barajlar
- Ön yüzü beton kaplı dolgu barajlar
- Beton barajlar
- Asfalt çekirdekli barajlar

### **2.5 Baraj Gövde Tipleri**

Barajlar yapılış amaçlarına ve en ekonomik şekilde projelendirilirler. Yapılacak baraj tipi seçilirken ekonomik ve hidrolojik özelliklerinin dışında baraj yerinin topoğrafyası, jeolojik özellikleri, iklim koşulları, sismik özellikleri, gövde de kullanılacak ana malzemenin temin durumu da dikkate alınması gereken önemli parametrelerdir (Orhon, 1997).

#### **2.5.1 Kil çekirdekli dolgu barajlar**

Gövdeleri kil, kaya ve kum-çakıl karışımından herhangi birinden meydana gelen barajlara dolgu barajlar denir. Geçirimsizliğin sağlanması için gövdede geçirimsiz kil dolgu zonu kullanıldığı barajlar “merkezi kil çekirdekli dolgu barajlar” olarak

tanımlandırılır. Bu tip barajlarda projelendirme yapılırken, filtre zonlarının tasarımı kullanılacak malzemenin özelliklerine göre yapılan, filtre tahkiklerinin ardından yapılmaktadır. Dolgudan sızan suların borulanma yapmamasını ve dolguya zarar vermeden uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla mansap kısmında düşey filtre ve tabanda ona bağlanan yatay filtre tasarlanır. Memba şevinde suyun olumsuz etkisini önlemek amacıyla riprap ve dolgudaki ince malzemenin yıkanmasını önlemek amacıyla filtre tuvenan malzeme tasarlanır. Mansap şevinde de yağmur sularının aşındırmasını önlemek için koruyucu örtü tabakası tasarlanır (DSİ DBTR, 2012).

Kil Çekirdekli Dolgu Barajlar, baraj yerinin özellikleri, dolguda kullanılacak malzemenin özellikleri, ekonomik durum, deprem vb. dikkate alınarak seçilen malzemeye göre: homojen gövdeli barajlar ve zonlu barajlar (kaya dolgu, kum-çakıl dolgu ve karışık zonlu dolgu) olmak üzere iki farklı şekilde sınıflandırılır (DSİ DBTR, 2012).

#### **2.5.1.1 Homojen gövdeli barajlar**

Aynı özellikte olan geçirimsizliği şev korumaları dışında bütün gövdenin sağladığı tek bir malzemedan oluşan baraj tipidir. Memba şevinde riprap, mansap şevinde koruyucu malzeme kullanılarak baraj şevleri korunur. Riprap ve kabuk dolgusu arasında filtre tuvenan malzeme kullanılır. Ayrıca borulanmayı önlemek amacıyla filtre zonları tasarlanır. Bu baraj tipleri genelde yüksekliği 30 metrenin altında tasarlanan barajlarda uygulanır (DSİ DBTR, 2012).

#### **2.5.1.2 Zonlu barajlar**

Baraj gövdesinin tek bir malzemedan oluşmadığı kaya dolgu, kum-çakıl dolgu ve karışık zonlu dolgu gibi malzemelerden oluşan baraj tipidir. Baraj gövdesinin geçirimsizliği kil dolgu ile sağlanır. Çekirdek kısmının memba ve mansap yüzeylerinde filtreler öngörülür. Memba ve mansap şevlerini korumak amacıyla kullanılan kabuk dolgu malzemesine göre zonlar tasarlanır. Bu tip barajlar; kaya dolgu, kum-çakıl dolgu ve karışık zonlu dolgu olmak üzere 3 sınıfa ayrılır (DSİ DBTR, 2012).

### 2.5.2 Ön yüzü beton kaplı barajlar

Bu baraj tipi, iklimsel koşulların elverişsiz olduğu geçirimsiz malzemenin bulunmadığı veya ekonomik olarak maliyetinin yüksek olduğu durumlarda geçirimsizliğin, ince malzeme yerine memba yüzeyindeki betonla sağlanması üzerine tasarlanmıştır. Ön yüzü beton kaplı (ÖBKB) barajlar, membadan mansaba doğru iyi derecelendirilmiş ve sıkıştırılmış boyut olarak inceden iriye kaya dolgu gövdeden, ön yüzde kalınlığı tabandan krete doğru azalan beton kaplama ve tabanı ile yamaçlarda beton kaplamanın yaslandığı sağlam zemine oturtulmuş topuk plağından oluşur. Yapımı esnasında önce kaya dolgu gövdesi sonra topuk plağı yapılır ve sonrasında ön yüz betonu tabandan krete doğru 12-15 m şeritler halinde dökülür. Dolguda kullanılan kaya malzemenin temiz ve aşırı oturmalara neden olmayacak sağlam kaya niteliğinde olması gerekir. Kaya dolgu barajların uygulanabildiği her yerde inşa edilebilirler (Orhon, 1997). ÖBKB imalatı örneği Fotoğraf 2.1’de gösterilmiştir.



**Fotoğraf 2.1.** ÖBKB baraj uygulaması örneği (Yenigün ve Yüzgül, 2013).

### 2.5.3 Betonarme barajlar

Gevşek zeminin yapılan kazıyla sıyrılıp alınarak sağlam kaya temeller üzerine inşa edilen baraj tipidir. Dip savak, dolu savak gibi yapıların baraj gövdesinin üzerinde

yapılabilmesi betonarme barajlarda önemli bir avantajdır. Bu baraj tipleri, beton ağırlık barajlar, payandalı barajlar, kemer barajlar ve silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) barajlar olmak üzere 4 çeşitte sınıflandırılır (Gedik, 2012).

- Beton ağırlık barajlar: Barajın stabilitesi bütünüyle gövdesine bağlıdır. Orta genişlikteki vadilerde yapımı uygundur. İnşa edilebilmeleri için sağlam ya da orta sağlamlıkta kaya temel gerekmektedir. Memba yüzeyleri genellikle düz olarak tasarlanır. Taban genişliği yüksekliğinin yaklaşık olarak 2/3'ü kadardır (Çiçek, 2007).
- Payandalı barajlar: Beton bir perde ve perdeye mesnet olan beton payandalardan meydana gelir. Geniş ve yatık yamaçlı vadilerde ve orta yükseklikteki barajların tasarımında uygundur. Derivasyonun inşaat sahasından geçirilmesi gereken durumda avantaj sağlar (Orhon, 1997). Beton ağırlık barajlara göre; daha az beton kullanılarak betondan tasarruf sağlanır, daha esnek oldukları için oturmalarından etkilenmezler (Gedik, 2012).
- Kemer barajlar: Bu baraj tipinde, su yükü kemer etkisiyle vadinin yamaçlarına aktarılır. Genellikle akarsu vadisinin dar olduğu ve temel zemininin taşıma gücünün yüksek olduğu yerlerde inşa edilirler. Kemer barajlar, beton ağırlık barajlara göre önemli bir beton tasarrufu sağladığından ekonomik açıdan uygundur. Kemer barajların statik analizleri karmaşıktır ve inşası esnasında özel yapım tekniklerine ihtiyaç duyulur. Yapım süreleri uzundur (Çarhoğlu, 2011).
- SSB barajlar: Yol, baraj, liman vb. büyük ölçekli yapılarda uygulanan, santralde üretildikten sonra inşa sahasına kamyonlarla taşınıp dozer veya greyderle serimi yapıldıktan sonra titreşimli silindirle sıkıştırılması yapılan, konvansiyonel betona göre beton karışımında düşük çimento içeriğine sahip çimento dışında bağlayıcı malzeme olarak uçucu kül gibi puzolan malzemelerinde kullanıldığı betondan oluşan baraj tipidir. Hızlı imalat özelliğine sahip olduğundan yapım süreleri kısadır ve dolayısıyla daha ekonomiktir (Demirci, 1995). SSB baraj imalatı örneği İhsaniye Barajı şantiyesinden çekilmekte olup Fotoğraf 2.2'de gösterilmiştir.



**Fotoğraf 2.2.** SSB baraj uygulaması örneği

#### **2.5.4 Asfalt çekirdekli barajlar**

Geçirimsizliği sağlayacak malzemenin özelliklerinin uygun olmadığı veya taşıma maliyetinin oldukça yüksek olduğu durumlarda seçilen; geçirimsizliğin merkezdeki asfalt çekirdek ile sağlandığı baraj tipidir. Uygulanma aşamasında olumsuz hava koşullarından fazla etkilenmezler. Asfalt çekirdek genellikle 20 cm'lik tabakalar halinde sıkıştırılarak inşa edilirler. Asfalt çekirdekteki bitüm oranı, toplam ağırlığın yaklaşık% 6'sına denk gelecek kadar tasarlanıp uygulanmaktadır. Asfalt çekirdekteki boşluk oranı toplam hacmin %3'ünü geçmemelidir. Asfalt çekirdek sıkıştırılma esnasında 140-155 °C sıcaklığa sahip olmalıdır. Pratik olarak asfalt çekirdeğin baraj temelindeki maksimum kalınlığı, baraj yüksekliğinin %1'i kadar alınır (Selvi, 2012).

Ülkemizde asfalt çekirdekli kaya dolgu baraj tipinde inşa edilecek ilk baraj, 124 m yüksekliğinde ve gövde hacmi yaklaşık 6 milyon m<sup>3</sup> olan Kars Karakurt Barajı'dır (DSİ, 2018 )

Asfalt çekirdekli baraj imalatı örneği Fotoğraf 2.3'de gösterilmiştir (Selvi, 2012).



**Fotoğraf 2.3.** Asfalt çekirdekli baraj imalatı örneği

## BÖLÜM III

### SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON BARAJLAR

Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB): Farklı cinsten ince ve kaba agrega ile çimento, uçucu kül, su ve katkı maddelerinden oluşan beton karışımının iş makinalarıyla serilip titreşimli silindirlerle sıkıştırılmasıyla oluşan beton tipidir. SSB'nin slump değeri (çökme değeri) sıfırdır. SSB karışımında kullanılan malzemeler konvansiyonel beton karışımındakine benzemekle birlikte, içerik olarak SSB karışımında çimento miktarı daha azdır. SSB'de konvansiyonel betondan farklı olarak çimentonun dışında uçucu kül vb. bağlayıcı maddeler kullanılır. Beton döküm esnasında hava sıcaklığı cıvalı termometre ile kontrol edilmeli ve 0°C'nin üzerinde olmalıdır. Sıcak havalarda döküm yapılırken gerekli önlemler (Serilen SSB üzerine soğuk su püskürtülmesi, betonun gece dökümü, beton yüzeyini izolasyon malzemesiyle kaplama, beton karışımında katkı maddesi kullanımı vb.) alınmalıdır. SSB serimi yapılmadan önce yüzey yabancı maddelerin tamamından arınacak şekilde yüksek basınçlı su püskürten arazöz veya taşınabilir yüksek basınçlı yıkayıcılar tarafından temizlenir. Daha sonra farklı zamanlarda dökülen SSB tabakalarının birbiri ile kaynaşmasını sağlamak, SSB ile konvansiyonel betonun etkileşimini sağlamak ve şartnamede belirtilen diğer bölgelere uygulamak amacıyla yüksek dozlu bağlayıcı madde içeren tesviye harcı uygulanır. SSB serimi genelde 30 cm'lik katmanlar halinde olup santralde beton üretimi yapıldıktan sonra 45 dakika içerisinde serilip sıkıştırılmalıdır. SSB dökümü ve serimi iş makinalarıyla yapıldıktan sonra titreşimli silindirle 10 pasta (silindir in aynı yüzeyde gidip gelmesi 2 pas olarak kabul edilir) sıkıştırılır. SSB'nin arazideki işlenebilirlik özelliğine göre idarenin onayı alınarak bu pas sayısı arttırılabilir veya azaltılabilir. SSB serimi yapıldıktan sonra nükleer ölçüm cihazı ile sıkışma değeri ölçümü yapılır (DSİ SSBTŞ, 2014).

Aynı zamanda karışımın uygulanabilir olup olmadığını kontrol etmek için tipik olarak bir Vebe cihazı kullanılır (USACE, 2000). İdarece yapılan çalışmalar sonucu SSB'nin Vebe değeri 12–25 saniye aralığında olduğunda işlenebilirliği yüksek ve ideal aralıkta olduğu belirlenmiştir. Döküm yerinde alınan 15 cm çapında ve 30 cm yüksekliğinde silindirik beton numuneleri üzerinde çeşitli laboratuvar deneyleri (dayanım, geçirimsizlik vb.) yapılarak betonun kalitesi tespit edilir ve ilgili idarenin kontrolü ve onayıyla

imalata devam edilir. Dökülen her 2000 m<sup>3</sup> için 1 takım (12 adet) silindirik numune alınır. SSB imalatı uygulama esnasında segregasyon oluşması veya yapılan laboratuvar deneyleri ile arazide yerinde yapılan ölçüme dayalı tespitler sonucunda elde edilen sonuçların uygun olmaması durumunda idarenin de onayıyla SSB karışım dizaynı yeniden düzenlenebilir. SSB baraj inşasında en önemli hususlardan biri projelendirilip sahada uygulanan SSB ve konvansiyonel betonun kaynaşmasının sağlanmasıdır. Beton dökümü yapıldıktan sonra beton yüzeyi 21 gün nemli tutulmalıdır (DSİ SSBTŞ, 2014).

Dünyada SSB baraj uygulaması olarak 1973–1974 yılları arasında ABD’de Jackson Barajı ve Lost Creek Barajı imalatlarında SSB’ye ait ilk arazi denemeleri yapılmış olup 1975 yılında Pakistan’da ki Tarbela Barajı imalatında 44 günde 344000 m<sup>3</sup> SSB dökümü yapılarak dünyada ilk kütleli SSB dökümü uygulanmıştır. Ülkemizde ise ilk defa 1982-1983 yılları arasında Karakaya Barajı’nda mansap batardosunun çekirdek dolgusunda uygulanmıştır (Öztürk ve Yıldız, 1998).

Dünyada şu an imalatı tamamlanmış veya yapım aşamasında olan toplam 858 adet SSB baraj mevcuttur. SSB baraj tipinin dünyada en çok inşa edildiği ilk 10 ülke sırasıyla Çizelge 3.1’de gösterilmiştir (Dunstan, 2019).

**Çizelge 3.1.** Dünyada en çok SSB baraja sahip olan 10 ülkenin sıralaması

Ülke adı	SSB baraj sayısı
Çin	209
Brezilya	144
Türkiye	71
Japonya	61
ABD	57
Fas	39
İspanya	25
Vietnam	25
Meksika	20
Güney Afrika	17

### 3.1 Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajların Avantajları

SSB barajların diğer baraj tiplerine göre avantajları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır (Özçifçi, 2017; Çiçek, 2007; Taşdemir 2014).



- Kaya dolgu barajlar ve diğer beton tipi barajlara göre daha ekonomiktir.
- İmalat hızı diğer barajlara göre daha hızlıdır ve dolayısıyla daha kısa sürede inşa edilirler.
- Çok geniş alanlarda büyük miktarda beton dökümüne olanak verir.
- Aşınma ve erozyona karşı daha dayanıklıdır.
- Diğer barajlara göre taban genişlikleri kısa olduğundan yapılacak tünel ve dolu savağın uzunluğu da kısa olur. Böylece maliyetli ve büyük bir tünel yapımına gerek kalmaz.
- Diğer beton türlerine göre, SSB karışımında daha büyük dane çaplı agregalar kullanılır.
- SSB'de bulunan hava içeriği (%1-3) klasik betonun hava içeriğine göre (%3-6) daha azdır. Dolayısıyla bu durum betonun başta dayanım, geçirgenlik vb. birçok özelliğini olumlu yönde etkilemektedir.
- Betonun döküm, serme ve sıkıştırma işlemleri iş makinalarıyla yapıldığından malzeme gereksinimi ve çalışan işçi sayısı bakımından avantajlıdır.
- Beton karışımında kullanılan su miktarı diğer betonlara göre daha düşük olduğundan, birim ağırlığın daha yüksek olduğu bir beton elde edilir.
- Beton karışımında kullanılan su miktarının düşük olmasından dolayı daha az miktarda çimento (su/çimento oranından dolayı) kullanılır. Böylece hem ekonomik olarak çimento üzerinden tasarruf edilmiş olacak hem de ortaya çıkacak hidrasyon ısı da daha düşük olacaktır.
- Doğadaki bazı atık maddeleri (uçucu kül vb.) beton karışımında kullanarak değerlendirme imkânı sağlar. Uçucu külün kullanılmasıyla karışımında kullanılan çimento miktarında da önemli oranda azalma görülür.

### **3.2 Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajların Dezavantajları**

SSB barajların avantajları olduğu gibi birtakım dezavantajları da vardır. Bunlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır (Taşdemir, 2014).

- Barajın yapılacağı yerin temelinin sağlam olmaması durumunda yapılacak zemin iyileştirme masrafları ortaya çıkmaktadır.

- Tabakalar halinde üretilen SSB’de soğuk derz vb. sorunlar oluşmaması için üretimde devamlılık zorunludur.
- Uygun bağlayıcı madde temini (uçucu kül vb.) ve taşınmasında ortaya çıkacak zorluklar.

### 3.3 Silindirle Sıkıştırılmış Beton Karışımında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

SSB, slump (çökme) değeri sıfır olan agrega, çimento, su, uçucu kül ve gerekli görüldüğü takdirde bazı katkı maddelerinin de içinde bulunduğu ve bu malzemelerin belirli oranlarla karıştırılmasından elde edilen beton çeşididir. SSB karışımında kullanılan malzeme oranları, barajın dayanım ve mukavemet özelliklerine, malzeme temini, nakliyatı vb. durumlara, karışımın işlenmesinden dolayı yükleniciye çıkacak ekstra maliyet (özel sıkıştırma araçları temini vb.) oluşumu gibi faktörlere bağlıdır.

SSB karışım hesapları, hedef su/çimento oranı, minimum çimento ( $\text{kg/m}^3$ ), hedef Vebe süresi (saniye), maksimum agrega büyüklüğü (mm), minimum kum/agrega oranı gibi parametreler göz önünde bulundurularak hazırlanmalıdır (DSİ SSBTŞ, 2014).

SSB imalatı yapılırken kullanılan malzemeler ile ilgili Amerikan Test ve Malzeme Kurumu Standartlarına (ASTM) uyulmalıdır. SSB imalatı ile ilgili gerekli ASTM standart ve şartnameleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir (DSİ SSBTŞ, 2014).

**Çizelge 3.2.** SSB’de kullanılan malzemelerin ASTM standart ve şartnameleri

ASTM Kodu	Tanımı
C33-99	Beton agrega standartları şartnamesi
C125-98	Beton ve beton agregaları terminoloji standardı
C150-97a	Portland çimentosu standart şartnamesi
C311-98b	Uçucu kül ve portland çimentolu betonlarda mineral katkı olarak doğal puzolan numunelerinin deney metotları standardı
C1170-91(1998)	Titreşimli tabla üzerinde silindirle sıkıştırılmış betonun kıvamı ve yoğunluğunu belirlemek için deney metotları standartları
C1176-92(1998)	Titreşimli tabla üzerinde silindir kalıp numunelerindeki silindirle sıkıştırılmış beton uygulama standardı
D5759-95	Muhtemel kullanımlarda kömür uçucu külü ve yanık Kömür uçucu külünün özellikleri için standart
C618-96	Uçucu kül (sınıf F) ve doğal puzolan standart şartnamesi

### 3.3.1 Agregas

SSB'nin ekonomik olmasının ve kalitesinin belirlenmesinde, uygun agrega kaynağının seçimi diğer beton tiplerinde de olduğu gibi önemli bir parametredir (Üte, 2008). Agregas temini, baraj kazılarından veya taş ocaklarından elde edilebilir. Agregaların kalitesi ve derecelemesi, SSB'nin mühendislik özellikleri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Derecelendirme, karışımın işlenebilirliğini, toplam boşluk oranını ve SSB'yi verimli bir şekilde birleştirme veya sıkılaştırma kabiliyetini etkiler (USBR, 2017). Sert ve yoğun agregaların dayanımı yüksektir. Agregas tane boyutu seçilirken segregasyon oluşma ihtimali de göz önünde bulundurulmalıdır. Agregalar iklim şartları da göz önünde bulundurularak mümkün olduğunca beton santraline en yakın, su ve diğer zararlı maddelerin girmeyeceği yerlerde depolanmalı, stok yerlerinin yüzeyi nemli tutulmalıdır. Beton karışımındaki agregaların içerisindeki zararlı madde oranı ağırlığının %2'sini geçmemelidir. Agregas nem miktarı ASTM C 566'da verilen şartlara uygun olmalıdır (DSİ SSBTŞ, 2014).

SSB karışım hacmi %70-80 oranında agregadan oluştuğundan dolayı hem betonun özelliklerini hem de ekonomikliğı belirleyen en temel bileşen agregadır. Bundan dolayı uygun agrega seçimi karışım tasarımlarında ilk unsurdur. SSB yüzeylerinin düzgün olması isteniyorsa ince agrega miktarı fazla olmalıdır (Üte, 2008).

Kütlesinin en az %95'i 4.75 mm elekten geçemeyen agregalar iri agrega, kütlesinin %90'undan fazlası 4.75 mm elekten geçen agrega ince agrega olarak nitelendirilir. İri agregalar, doğal çakıl veya kırmataş veya her ikisinin karışımından elde edilir. İri agregaların boşluk yüzdesi %48'den az olmalı, kırılma değeri en az 110 kN olmalı ve SSB'nin işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilememek için gereğinden fazla yassı veya uzun olmamalıdır. İnce agregalar ise kırmataş malzemelerden, temiz dere ve ocaklardan veya her ikisinin karışımından oluşmalıdır. İnce agregalarda boşluk yüzdesi %48'den az olmalı, kumla yapılan harcın mukavemeti yıkanmış kum ile yapılan harcın mukavemetinin en az %85'i kadar olmalıdır. İnce ve iri agregaların zarar verici maddelerden arınmış olmasına özellikle dikkat edilmelidir. İri ve ince agregalar ASTM C33-99' da belirtilen koşullara uygun olmalıdır (DSİ SSBTŞ, 2014).

Agreganın tane boyutu betonun birçok özelliğinde belirleyici bir faktördür. En büyük tane çapı büyüdükçe işlenebilirlik zorlaşır ama agreganın hazırlanma işlemi kolaylaşır. Agreganın tane boyutu küçüldükçe beton karışım harcının suya olan gereksinimi artar (Çiçek, 2007).

SSB karışımlarında ince agreganın gradasyonu ve şekli; geçirimsizliğini, dayanımını ve işlenebilirliğini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Segregasyon olmaması için karışımdaki ince malzeme oranının fazla olmasında yarar vardır. İnce malzemenin fazla olmasıyla sıkışma oranı artar dolayısıyla boşluk oranı azalarak suya olan gereksinim de azalmış olur (Horzum, 2009).

SSB yüzeyinde düzgünlük elde etmek için ise ince agreganın ayarlanmasına ve miktarına özen gösterilmesi ve ince agrega miktarının normal betona göre bir miktar fazla olması gerekir (Atış, 2001; Üte, 2008). Bu ise iki türlü sağlanabilmektedir, birincisi geleneksel olarak kum yüzdesinin arttırması, ikincisi ise ince ve iri agreganın ya da çimentonun bir kısmının uçucu kül ya da benzeri mineral katkı ile yer değiştirmesidir. İnce agreganın fazlalığı, ikinci yol ile elde edildiğinde puzolanik özelliği olan bir malzemenin karışım içinde yer alması sağlanmış olur. Bu katkı hem işlenebilirlik açısından faydalı olmakta hem de karışımın daha ekonomik olmasını sağlamaktadır. Beton karışımı uygun tasarlandığında standartlara uymayan mineral katkıları karışımda kısmen agrega yerine kullanılabilir gibi standartlara uygun mineral katkıları kısmen çimento yerine de kullanılabilir (Üte, 2008).

Baraj inşaatında kullanılacak iri ve ince agregaların dane dağılımı aralıkları, DSİ SSB İnşaat Teknik Şartnamesine göre çizelge 3.3 ve 3.4 te verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** İri agrega gradasyon kabul sınırları

Elek çapı (mm)	Elekten geçen (%)	Elekten geçen (%)	Elekten geçen (%)
	4,75- 75 mm.	4,75-50 mm.	4,75-19 mm.
75 (3 inç.)	100		
63 (2 1/2 inç.)	88		
50 (2 inç.)	76	100	
37,5 (1 1/2 inç.)	61	81	
25 (1 inç.)	44	58	
19 (3/4 inç.)	33	44	100
12,5 (1/2 inç.)	21	28	63
9,5 (3/8 inç.)	14	18	41
4.75 (No.4)	-	-	-

**Çizelge 3.4.** İnce agrega gradasyon kabul sınırları

Elek çapı (mm)	Geçen (%)
9,5 (3/8 inç.)	100
4,75 (No 4.)	95-100
2,36 (No.8)	75-95
1,18 (No.16)	55-80
600 µm (No.30)	35-60
300 µm (No.50)	24-40
150 µm (No.100)	12-28
75 µm (No.200)	6-18
İncelik modülü	2,10 - 2,75

### 3.3.2 Çimento

Çimentonun ana işlevi; suyla tepkimeye girerek bağlayıcı özelliği ile malzemelerin birbirine tutunmasını sağlayıp beton malzemesini oluşturmaktır. Temel bağlayıcı malzemedir. SSB karışımında kullanılacak olan bütün çimento tipleri TS EN 197-1 ve ASTM C150-97A standartlarına uygun olmak zorundadır. Ayrıca çimentonun 7 günlük hidrasyon ısı 300 KJ/kg (75 kalori/gr)'yi geçmemeli ve içerisindeki toplam alkali miktarı %0,6'yı aşmamalıdır. Beton karışımının çimento muhtevası mukavemet değerini belirleyen temel etkidir. Çimentolar beton karışımlarında puzolanla birlikte kullanılabilirler. Puzolan; kendi başına bağlayıcı özelliği olmayan sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleştiğinde bağlayıcılık özelliği kazanan maddedir. Yapılan araştırmalar ve laboratuvar çalışmaları sonucundan puzolanlı çimento ile üretilen karışımın, puzolansız çimento ile üretilen karışıma göre mukavemetinin daha yüksek

olduğunu göstermiştir. Çimento kuru, hava geçirmez, güneş ışığından korunan yerlerde korunmalıdır. Sürekli beton dökümü halinde 8 günlük ihtiyacı karşılayacak bağlayıcı malzeme depolanmalıdır (DSİ SSBTŞ, 2014).

Bağlayıcı malzemenin seçimi ve dozajı, hedeflenen dayanıma, mekanik özelliklerin gelişme hızına ve durabilite kriterlerine bağlıdır. Genel olarak, endüstriyel ya da şehir içi kaplamalar için dizayn edilen ve üretilen SSB karışımlarında çimento içeriği 250-350 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Bu da karışımdaki toplam kuru malzemenin ağırlıkça %12 ile %16'sı oranlarına denk gelmektedir. Çimento dozajının fazla olması büzülme çatlaklarının ve üretim maliyetinin artmasına sebep olacaktır (Gauthier ve Marchand, 2005).

Betonda çimento olarak normal katkısız portland çimentosu CEM I tipi dışında mineral katkılı diğer çimento tipleri de (CEM II, CEM III, CEM IV ve CEM V) kullanılmaktadır. Çimento içerisindeki katkı miktarı arttıkça CEM I çimentoya göre maliyeti azalmakta ve teknik özellikleri de değişmektedir. Çimento tipinin seçimi TS EN 206/ TS 13515'e göre yapılır. Bunun dışında çimento seçiminde kür koşulları, hidrasyon ısı, alkaliler ile agreganın etkileşimi, çevre koşulları vb. unsurlar da dikkate alınmalıdır. Betonda kullanılan çimento miktarı büzülme ve çatlama minimuma indirmek amacıyla sınırlandırılmıştır. Uluslararası standartlarda portland çimentosu ve portland cürüflü çimento için 400 kg/m<sup>3</sup>, portland-uçucu kül çimentosu için 450 kg/m<sup>3</sup> miktarların aşılması önerilmektedir (DSİ BİTŞ, 2018).

Beton karışımında açığa çıkan hidrasyon ısını düşürmek için düşük ısıli portland çimentosu kullanılmalıdır. Böylece çatlak oluşması riski azalmış olur. Karışımında düşük çimento içeriğinin kullanılması hidrasyon ısını düşürmenin yanı sıra daha geçirimsiz bir yapı oluşmasını ve ekonomik olarak avantaj elde etmeyi sağlar (Horzum, 2009)

TSE EN 197-1 e göre Çimento çeşitleri Çizelge 3.5' de detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 3.5. Çimento çeşitleri ve bileşenleri**

Ana Tipler	Genel Çimento Tipleri ve İşaretleri		Bileşim ( kütlece % olarak )										Minör İlave Bileşenler	
			Ana Bileşenler											
			K	S	D	P	Q	V	W	T	L	LL		
CEM I	Portland Çimento	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II	Portland-Cürüflü Çimento	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-
CEM II/B-S	65-79			21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
Portland-Silis Dumanlı Çimento	CEM II/A-D		90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
Portland-Puzolanlı Çimento	CEM II/A-P		80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5	
	CEM II/B-P		65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5	
	CEM II/A-Q		80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5	
	CEM II/B-Q		65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5	
Portland-Uçucu Küllü Çimento	CEM II/A-V		80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5	
	CEM II/B-V		65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5	
	CEM II/A-W		80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5	
	CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5		
Portland-Pişmiş Şistli Çimento	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5		
	CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5		
Portland-Kalkerli Çimento	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5		
	CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5		
	CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5		
	CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5		
Portland-Kompoze Çimento	CEM II/A-M	80-94	6-20									0-5		
	CEM II/B-M	65-79	21-35									0-5		
CEM III	Yüksek Fırın Cürüflü Çimento	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5	
CEM IV	Puzolanik Çimento	CEM IV/A	65-89	-	11-35					-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	36-55					-	-	-	0-5	
CEM V	Puzolanik Çimento	CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30			-	-	-	-	0-5	
		CEM V/B	20-38	31-50	-	31-50			-	-	-	-	0-5	

1) Çizelgedeki değerler ana ve minör ilave bileşenlerin toplamı ile ilgilidir.

2) Silis dumanının oranı %10'la sınırlandırılmıştır.

3) Portland kompoze çimento CEM II/A-M ve CEM II/B-M'de, Puzolanik Çimento CEM IV/A ve CEM IV/B'de, Kompoze Çimento CEM V/A ve CEM V/B'de klinkerlerin yanındaki diğer ana bileşenler çimentoya ait işaretler çimentoya ait işaretle beyan edilmelidir.

K: Klinker, S: Yüksek Fırın cürufu, D: Silis dumanı, P: Doğal puzolan, Q: Doğal kalsine edilmiş puzolan, V: Silisli uçucu kul, W: Kalkerli uçucu kul, T: Pişmiş Şist, L: Toplam organik karbon içeriği kütlece %0.50 aşmayan kalker, LL: Toplam organik karbon içeriği kütlece %0.20 aşmayan kalker.

### 3.3.3 Puzolan

SSB karışımında bağlayıcı malzeme olarak çimento ile birlikte puzolan kullanımı yaygındır. Puzolanlar bağlayıcı özelliği dışında beton karışımındaki boşlukları doldurarak mukavemeti de arttırabilir. Puzolanlar; doğal puzolan (volkanik tüf, camı yapıda yüksek silikat içeren bazaltlar ile volkanik kayaçlar, pişirilmiş bazı killer vb.) ve yapay puzolan (endüstri yan ürünü olan silis dumanı, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, uçucu kül vb.) olmak üzere ikiye ayrılır. SSB’de puzolan olarak en çok kullanılan malzeme uçucu küldür. Uçucu kül SSB’nin işlenebilirliğini arttırarak hidrasyon ısısının düşmesini sağlar (Çiçek, 2007). DSİ SSBTŞ, (2014)’e göre uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.

**Çizelge 3.6.** SSB’de kullanılacak uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri

<b>Kimyasal şartlar</b>	<b>İzin verilen limitler</b>
Silika+alümina+demir oksit ( $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	min % 70
Kükürt trioksit ( $\text{SO}_3$ )	max % 5
Nem içeriği	max % 3
Ateşleme kaybı	max % 6
Alkali ( $\text{Na}_2\text{O}$ muadili)	min % 1,5
<b>Fiziki şartlar</b>	
İncelik: Islak elendiğinde 45 mikronluk elek üstünde kalan	max % 34
7 günde normal Portland çimentosu ile (minimum kontrol %)	min % 75
28 günde normal Portland çimentosu ile (minimum kontrol	min % 75
Su içeriği (maksimum kontrol %)	max % 10,5
Otoklav genişlemesi veya daralması	max % 0,8
Yoğunluk	max % 5

### 3.3.4 Su

Silindirle sıkıştırılabilen betonlarda kullanılan karışım suyunun kalitesi geleneksel beton karışımlarında kullanılan içme ve kullanma suyu standardını sağlayan sudur (Üte, 2008). SSB karışımında kullanılacak su CRD-C 400 şartlarına uygun olmalıdır. Ayrıca SSB’de kullanılacak agreganın yıkanması ve soğutulmasında ve betonun kür işlemlerinde kullanılacak su; asit, tuz, yağ, organik ve zararlı maddelerden arınmış olup taze olmalıdır (DSİ SSBTŞ, 2014).



### 3.3.5 Kimyasal katkıları

Kimyasal katkıları; istenilen taşıma ve sıkıştırma süresini sağlamak, hedeflenen dayanım ve geçirimsizlik özelliklerini elde edebilmek için günümüzde SSB karışımlarının vazgeçilmez bir maddesi olarak kullanılmaktadır (Çiçek, 2007). SSB karışımlarında yaygın olarak kullanılan, su azaltıcı katkıları ve hava sürükleyici katkıları olmak üzere iki tip katkı vardır. ASTM C494'e (2018) göre, kimyasal katkı, SSB karışımının istenen özelliklerine bağlı olarak, Tablo 3.7'de açıklanan sekiz tipe ayrılmıştır.

**Çizelge 3.7.** ASTM C494'e göre kimyasal katkı tipleri

Katkı tipi	Özellikleri
A	Su azaltıcı katkı
B	Geciktirici katkı
C	Hızlandırıcı katkı
D	Su azaltıcı ve geciktirici katkı
E	Su azaltıcı ve hızlandırıcı katkı
F	Su azaltıcı ve yüksek oranda karışım
G	Su azaltıcı, yüksek menzilli ve geciktirici karışım
S	Özel performans katkısı

### 3.4 Literatür Çalışmaları

SSB uygulaması, hızlı ve seri imalat özelliğinden dolayı baraj, liman ve yol vb. büyük ölçekli projelerde kullanımı son zamanlarda oldukça yaygınlaşmıştır. İmalat süresini kısaltıp maliyeti düşürmesinden dolayı SSB'ye olan ilgiyi arttırmış ve başlıca tercih sebebi olmuştur. SSB şeklinde inşa edilen yapı sayısı arttıkça SSB hakkında yapılan ileri düzeyde çalışmaların sayısı da artmıştır.

Demirci (1995), nin yapmış olduğu çalışmada, SSB'nin tarihçesi, Dünya ve Türkiye'de ki uygulamaları, beton karışımındaki malzemelerin özellikleri, beton karışım hesabı, mekanik özellikleri, yapılan laboratuvar çalışmaları ve tasarım ilkelerini ele almış ve uygulamadaki olumlu ve olumsuz yönlerini açıklamıştır.

Topçu ve Canbaz (2001), uçucu kül kullanımının betondaki etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada, 300,350 ve 400 kg/m<sup>3</sup> dozaj ve bu dozajların her biri için çimento yerine %20 ve %40 oranında uçucu kül katılan beton numuneler üretilmiştir. Taze betonlarda,

birim hacim ağırlık, yayılma, çökme ve Vebe deneyleri; sertleşmiş betonlarda ise 7,28 ve 90 günlük kür işlemleri sonunda ultrases hızı ve basınç dayanımı deneyleri uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, çimento dozajı arttıkça betonun basınç dayanımı da artmıştır. Çimento yerine kullanılan uçucu kül miktarı arttıkça basınç dayanımı değeri azalmıştır. Çimento dozajı arttıkça betonun ultrases geçiş hızı da artmıştır. Çimento yerine kullanılan uçucu kül miktarı arttıkça 60 günlük ultrases geçiş hızı değeri azalmıştır.

Üte (2008), tarafından yol kaplamalarında uçucu kül ve polipropilen lif kullanımının silindirle sıkıştırılmış betonun özelliklerine etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu araştırmada; bağlayıcı madde miktarının ağırlıkça %0, 20, 40 ve 60'ı oranlarında uçucu kül betonun hacimce %0, 25, 50 ve 75'i oranlarında polipropilen lif kullanılarak ve bunların birbiriyle kombinasyonu sonucu oluşturulan 16 farklı SSB oluşturulmuştur. Bu karışımlardan alınan numuneler 7, 28 ve 90 gün kür edilmiştir. Daha sonra bu numuneler üzerinde yarmada çekme, eğilme, darbe testleri ve tek eksenli basınç testleri gerçekleştirilerek betonun özellikleri tespit edilmiş olup ayrıca gerilme-birim şekil değiştirme davranışları üzerinden elastisite modülleri hesaplanmıştır. Bu saptamalar sonucunda uçucu kül ve polipropilen lif eklenmesinin beton karışımlarının su muhtevalarını yükselttiği, birim ağırlıklarını düşürdüğü tespit edilmiştir. Ayrıca SSB'de %40 ve %60 oranlarında uçucu kül kullanımının olumsuz etki yarattığı, polipropilen lifin kullanımının ise olumlu bir etkisinin olmadığı sadece kırılma davranışına olumlu katkı sağladığını belirtmiştir.

Horzum (2009), tarafından yapılan araştırmada, SSB barajlarda ki beton karışımlarının 180 günlük basınç dayanımları ile hızlandırılmış kür yöntemleriyle bulunan basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Beton karışımlarında çimento miktarı sabit olmak koşuluyla 6 farklı uçucu kül miktarı kullanılarak uçucu külün SSB basınç dayanımına etkisi de incelenmiştir ve beton karışımındaki kül miktarının artmasıyla basınç dayanımında da artış olduğu tespit edilmiştir. Hızlandırılmış kür yöntemlerinden elde edilen basınç dayanımının büyüklüğü sırasıyla; otoklav yöntemi, kaynar su, ılık su ve otojen kür yöntemi olduğunu gözlemlemiştir.

Aghabaglou (2011), tarafından uçucu küllü SSB'de; maksimum agregası çapı 25 mm olan, portland çimentosu kullanılan ve agregası ile çimento yerine uçucu kül içeren farklı

beton karışımları hazırlanmıştır. Kontrol karışımının çimento miktarı  $250 \text{ kg/m}^3$ dir. Bir grup karışımda çimento yerine %20, 40ve 60 oranlarında uçucu kül, başka bir grup karışımda agrega yerine çimento ağırlığınca %20, 40 ve 60 oranlarında uçucu kül kullanılmıştır. Toplamda 25 farklı karışım değişik su/bağlayıcı oranları (0.30, 0.35, 0.40 ve 0.45) ile hazırlanmıştır. Çalışmasının ilk aşamasında mekanik özelliklerin (basınç, eğilme) belirlendiği deneyler yapılmış olup ikinci aşamasında dayanıklılık özelliklerinin (su emme, donma-çözünme) belirlendiği deneyler yapılmıştır. Sonuç olarak; çimento yerine uçucu külün kullanıldığı beton karışımlarında uçucu kül miktarı arttıkça dayanım düşmüş ve durabilite olumsuz etkilenmiştir. Uçucu külün ek bağlayıcı olarak kullanıldığı beton karışımlarında ise betonun özellikleri olumlu yönde artış gösterdiğini belirtmiştir.

Mehmannavaz vd. (2012), SSB'nin geçirgenliği hakkında bir çalışma yapmış ve konuya örnek olarak İran Zirdan barajını seçmişlerdir. Yapılan çalışmada Zirdan barajında kullanılan SSB karışımının geçirgenliği incelenmiştir. Beton karışımındaki su/çimento oranı, puzolan tiplerinin geçirgenlik üzerindeki etkileri ele alınmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonunda, SSB'nin eşdeğer bir sıradan betona oranla eşit veya daha düşük geçirgen özellik gösterdiği görülmüştür. Geçirgenlik katsayısının düşmesiyle betonun mekanik dayanım özelliklerinin arttığı tespit edilmiştir. Su içeriğinin optimum sınırın altına düşmesinin geçirgenlik katsayısını aşırı derecede arttırdığı, silis dumanının betonun özelliklerini olumlu yönde etkilediği, çimentoda cüruf kullanımının geçirgenlik katsayısını düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

Yaman ve Ceylan (2013), SSB yollar üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada SSB kaplama yolların bitümlü kaplamalara göre daha seri ve ekonomik olduğu vurgulanmış olup SSB kaplamaların özelliklerinden bahsedilip tasarım metotları ve yapım aşamaları hakkında bilgi verilmiş, beton karışım tasarımı örneklerinden bahsedilmiş, SSB yollar ile geleneksel beton yollar mukayese edilmiş ve Türkiye'de yapılan uygulamalar örneklendirilmiştir.

Karakurt ve Pektaş (2015), yapmış oldukları çalışmada; SSB karışımında farklı oranda uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılarak SSB'nin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim gözlemlenmiştir. Yapılan farklı beton karışımlarında çimento yerine %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılarak

mekanik ve fiziksel deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanımı betonun özellikle 90 günden sonra çekme dayanımına olumlu katkı sağladığı tespit etmişlerdir.

Arslan (2016), yaptığı çalışmada: iki farklı çeşitte çimento ve doğal puzolan ile su azaltıcı özelliğinde kimyasal katkı maddesi ve farklı boyutlardaki agrega grupları kullanılarak SSB üretmiştir. Üretilen SSB'nin uzun süredeki basınç dayanımını erken tespit edebilmek için numunelerin bir kısmına buhar kürü uygulanmıştır. Buhar kürü uygulanan ve uygulanmayan numunelerin erken yaştaki basınç dayanımları arasındaki fark gözlemlenmiştir. Araştırmanın sonucunda su azaltıcı katkı maddesinin dayanım üzerinde olumlu bir etkisi olduğu görülmüştür ve CEM I Portland çimentosu ile oluşturulan betonda buhar kürü uygulaması beklenen sonucu vermiştir fakat CEM IV çimentosu ile oluşturulan betonda aynı sonucu vermediğini gözlemiştir.

Şengün vd. (2017), tarafından yapılan çalışmada; SSB'nin sahada ve laboratuvar ortamında farklı mekanik özellikler göstermesinden dolayı Bursa Beton A. Ş.'nin santrali tarafından saha içi SSB yol yapımı için iki farklı en büyük agrega boyutu (12 mm ve 22 mm) ve iki farklı silindir tonajı (2 ve 10 ton) ile SSB oluşturulmuştur. Sahadan alınan numune ve karotların üzerinde ilgili testler yapılmıştır. Sonuç olarak laboratuvar ortamındaki numunelerin sahadan alınan numunelere göre eğilme dayanımının %20 oranında fazla olduğu ve maksimum agrega boyutu küçük olan (12 mm) numune ve karotların basınç dayanım değerlerinin daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Polat'ın (2018), çalışmasında; iki farklı çimento tipinin (CEM I 42,5 R ve CEM II B-M (V-L) 42,5 R) farklı dozajlarda kullanılmasıyla elde edilen SSB'nin basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Üretilen silindirik numunelerin, birim hacim ağırlık değerleri belirlenerek Vebe deneyi ile 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak her iki çimento türünde de çimento miktarının artmasıyla basıncın arttığı, CEM I 42,5 R tipi çimentonun basınç dayanımı değerinin diğerinden daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Şengün, vd., (2019), yaptıkları çalışmada priz geciktirici ve akışkanlaştırıcı katkıların taze ve sertleşmiş silindirle sıkıştırılmış beton özelliklerine etkisini incelemişlerdir.

SSB'nin üretildikten sonra, hem geç dökülmesi sonucu oluşan taze ve sertleşmiş beton arasında oluşacak farkların hem de oluşabilecek mekanik özellikteki ve işlenebilirlikteki değişmelerin tespit edilebilmesi için farklı çimento dozajlarında, priz geciktirici kimyasal katkı ve akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanarak SSB karışımları oluşturulmuştur. Daha sonra her karışımın Vebe süreleri, sıkışma değerleri ve 28 günlük basınç dayanımları tespit edilmiştir. Sonuç olarak bağlayıcı miktarının %0,4'ü oranında kullanılan priz geciktirici kimyasal katkı SSB karışımının en iyi sonuçları verdiğini tespit etmişlerdir.

Pavan ve Rao (2014), uçucu külün SSB kaplamaların dayanım özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada betondaki karışımın çimento içeriği, %20-40 ve 60 oranında uçucu kül ile değiştirilmiştir. Üretilen betonların 3, 7 ve 28 günlük kür işlemleri sonunda dayanım özellikleri test edilmiştir. Elde edilen verilere göre uçucu kül miktarı arttıkça çekme dayanımı, basınç ve eğilme dayanımı değerleri azalmıştır. Bütün karışımlarda kür süresi arttıkça dayanım değerleri de artış göstermiştir.

Abed ve Salih (2017), hafif agrega kullanımının SSB özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Bu araştırmada, çeşitli kürlenme yöntemlerinin (7 günlük su kürü, hava kürü, kalıcı su kürü, emülsifiye asfalt kürü) ve porselanitin (hafif agrega) tesirini araştırmışlardır. SSB üretiminde %0-5-8-12-16 ve 20 oranlarında porselanitin kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre %5 porselanit kullanılan SSB'nin hava kürlenmeli ve kalıcı su kürlenmeli SSB'ye göre kütle yoğunluğu ve eğilme dayanımı değerleri daha yüksek çıkmıştır.

Hazaree vd., (2011), SSB'de ki çeşitli su taşıma parametrelerini değerlendirmişler ve bunların donma-çözülme performansı ile ilişkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmada beton karışımında ki çimento içeriği 100 ile 450 kg/m<sup>3</sup>, S/Ç oranı ise 0,27 ile 1,27 arasında alınmıştır. Üretilen SSB'lerin; yüzey akış hızı, basınç dayanımı değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre numunenin yaşının arttıkça emilim oranının azaldığı, S/Ç oranındaki artışın değerini arttırdığı, dayanım değerini ise düşürdüğü tespit edilmiştir.

Banthia vd., (1992), SSB'nin geçirgenliği incelemişlerdir. Yapılan çalışmada S/Ç oranı, silis dumanı eklenmesi, daha ince bir çimento kullanılması, kürlenme tekniği vb.

parametrelerin geçirgenlik katsayıları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, SSB'nin geleneksel betona göre daha geçirgen olduğu tespit edilmiştir. Silis dumanı ve ince çimento kullanımı geçirgenlik katsayısı değerini düşürmüş, kürleme yönteminde ise kayda değer bir fark gözlemlenmemiştir.

Raja vd., (2019), SSB'nin endüstriyel atıklarla üretilerek oluşturduğu etkiyi incelemiştir. Bu çalışmada, ince agreganın yerine kısmen çeşitli oranlarda ocak atığı tozu ve cam tozu gibi endüstriyel atıklar kullanılarak SSB üretilmiştir. Üretilen numunelere 7, 28 ve 90 günlük kür işlemleri sonunda eğilme ve basınç dayanımı testleri uygulanmıştır. SSB'lerin basınç dayanımı değerleri, taş ocağı atığı tozunun %30'a kadar kullanımında yükselmiş, %30'dan sonra kayda değer bir artış gözlemlenmemiştir. Cam tozunun ince agregayla değiştirildiği durumlarda ise normal SSB'ye göre eğilme dayanımında çok az bir artış olduğu tespit edilmiştir.

Shafigh vd., (2019), SSB'nin optimum nem içeriğini saptayarak mühendislik özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada, nem oranı %4,5-5-5,5-6-6,5-7 ve 12 olan beton kaplamanın mühendislik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre nem içeriğinin %4,5'ten %7'ye yükselmesi Vebe süresini 45'ten 22'ye düşürmüştür. %5,5 nem içeriğindeki SSB'nin maksimum kuru yoğunluğa sahip olduğu, %5 nem içeriğine sahip SSB'nin ise en iyi mekanik performansı gösterdiği, en düşük gözeneklilik ve su emme değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Aghabaglou ve Ramyar (2013) tarafından yüksek hacimli uçucu külün SSB'nin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, uçucu kül içermeyen kontrol karışımına ek olarak çimento ile agreganın kısmen uçucu kül ile değiştirildiği iki farklı karışım serisi üretilmiştir. Tüm karışımlarda maksimum agrega boyutu 25 mm'dir. Kontrol karışımının çimento içeriği  $250 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Karışım serilerinin ilkinde çimento yerine çimentonun ağırlıkça %20, 40 ve 60'ı oranlarında uçucu kül, ikincisinde ise agrega yerine agreganın ağırlıkça %20, 40 ve 60'ı oranlarında uçucu kül kullanılmıştır. Dört farklı S/Ç oranına (0,30, 0,35, 0,40 ve 0,45) sahip toplam 28 karışım hazırlanmıştır. Çimentonun uçucu kül ile yer değiştirdiği karışımlarda, uçucu kül miktarının artmasıyla sıkıştırma, ayrılma ve eğilme dayanımı değerleri düşmüştür. Agreganın uçucu kül ile yer değiştirdiği karışımlarda ise uçucu kül miktarının

artmasıyla karışımın her yaştaki yüksek hacimli kontrol numunesine kıyasla mukavemet değerleri artmıştır.

Yerramala ve Babu (2011), yaptıkları çalışmada, yüksek hacimli uçucu külün, SSB performans özelliklerini incelemiştir. Karışımlar, 50-260 kg / m<sup>3</sup> çimento ve toplam çimento bağlayıcı malzeme kütlelerinin % 40 ila % 85 arasında değişen oranlarda uçucu kül ile yer değiştirerek numuneler üretmiştir. Üretilen numuneler üzerinde geçirgenlik, su emme, klor difüzyonu gibi mühendislik özelliklerini incelemiştir. Çalışma, ortalama çimento ve ortalama uçucu kül içeriğinin oluşturduğu numunelerin geçirgenlik, su emme ve klorür difüzyonu değerlerinin düşük olduğunu göstermiştir.

Li vd., (2017), Silindirle sıkıştırılmış beton barajlarının sızıntı problemini çözmek için, harç bakımından zenginleştirilmiş vibrasyonlu SSB ve daldırma vibrasyonlu SSB birincil geçirimsiz malzemeler olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu malzemeler için gereken titreşim işlemi, barajlarının hızlı bir şekilde yapılmasını engellemektedir. SSB geçirimsiz yapılardaki inşaat olumsuzluklarını azaltmak için, yeni bir tür kendiliğinden yerleşen beton, yani yüksek akışkanlıklı, geçirimsiz ve çatlama önleyici beton geliştirmişlerdir. Bu beton, çimentoyu eşit miktarda genişleme maddesi ile kısmen değiştirerek ve karışım oranlarını ayarlayarak oluşturulmaktadır. Bu betonun kapsamlı performansı, basınç dayanımı, elastik modülü, geçirgenliği ve özellikle SSB arasındaki ara yüzün mekanik özellikleri üzerinde, büyük bir silindirle sıkıştırılmış örnek kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar betonun temel gereksinimlerini karşıladığını göstermiştir. Sıkıştırma kuvveti, tasarım kuvvetinin 1.52 katına ulaşmış ve betonun geçirgenlik derecesini iyileştirmiştir. Buna ilaveten, SSB arasındaki ara yüz özelliklerini de iyileştirmiştir. Bu nedenle, geçirimsiz malzeme olarak yeni betonun kullanılması, daha basit, daha hızlı ve daha kaliteli inşaat yapılmasını kolaylaştıracağını belirtmişlerdir.

## BÖLÜM IV

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 4.1 Materyal

Bu çalışmada SSB'nin mühendislik özelliklerini belirlemek için numune üretiminde kullanılan malzemeler; Kocaeli' de bulunan Devlet Su İşleri 1. Bölge 15. Şube Müdürlüğü'nün denetimi altında SSB baraj tipinde inşa edilen İhsaniye Barajı şantiyesinden temin edilmiştir. Temin edilen malzemeler, halen inşaatı devam etmekte olan barajın imalatında kullanılmaktadır.

##### 4.1.1 Agregalar

Çalışmada kullanılan agregalar, SSB teknolojisi ile inşa edilen İhsaniye barajında kullanılan kırma taş tipinde agregadır. Kullanılan agregalar, Kocaeli ilinde bulunan As Elmaslar Nakliyat Hafriyat İnşaat Hayvancılık Taahhüt Ticaret ve Sanayi firmasından temin edilmektedir. Şantiyede bulunan agregalar 0-5 mm, 5-19 mm ve 19-38 mm olmak üzere üç boyutta ve farklı depolarda bulunmaktadır. Agregalar, atmosfer şartlarından etkilenebilecek şekilde açık olarak depolanmıştır. Depolarda bulunan agregalar şantiye ortamına yıkandıktan sonra getirilmektedir. Üretimde kullanılan agregalar, DSİ SSB İnşaat Teknik Şartnamesi, standartlarına uygun olduğu bilinmesine rağmen, çalışma için alınan malzemelerin fiziksel özellikleri (özgül ağırlıkları, su emme yüzdeleri, sıkışık ve gevşek durumdaki birim hacim ağırlıkları, organik kökenli madde miktarı) laboratuvar ortamında hava kurusu durumuna getirildikten sonra yeniden belirlenmiş ve Çizelge 4.1'de açıklanmıştır.

Aynı zamanda agregalar laboratuvar ortamında etüv kurusu durumuna getirildikten sonra herbir yığının granülometrik dağılımının belirlenmesi için elek analizi yapılmış ve elek analizi sonuçları Çizelge 4.2, - 4.4'te verilmiştir.



**Çizelge 4.1.** Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

Fiziksel özellik	Kaba agrega		İnce agrega
	19-38 mm	5-19 mm	0-5 mm
Özgül ağırlık (DKY)	2,68	2,66	2,62
Su emme yüzdesi (%)	0,7	1,1	2
Sıkışık BHA (kg/dm <sup>3</sup> )	1,632	1,665	1,939
Gevşek BHA (kg/dm <sup>3</sup> )	1,426	1,496	1,677
Organik madde miktarı	--	--	--

**Çizelge 4.2.** İnce agreganın (0-5 mm) elek analizi sonuçları

Elek no (mm)	Elekten geçen toplam (g)	Elekten geçen toplam (%)	Elekte kalan toplam (%)
32	1836,1	100	0
31,5	1836,1	100	0
25	1836,1	100	0
16	1836,1	100	0
8	1836,1	100	0
4,75	1785,6	97,25	2,75
2,36	1205,1	65,63	34,37
1,18	738,3	40,21	59,79
0,59	505,1	27,51	72,49
0,29	361,9	19,71	80,29
0,15	188,1	10,24	89,76

**Çizelge 4.3.** Kaba agreganın (5-19 mm) elek analizi sonuçları

Elek no (mm)	Elekten geçen toplam (g)	Elekten geçen toplam (%)	Elekte kalan toplam (%)
25	1487,7	100	0
19	1487,7	100	0
16	1324,5	89,03	10,97
12,7	702,2	47,2	52,8
9,5	162	10,89	89,11
4,75	0	0	100
2,36	0	0	100

**Çizelge 4.4.** Kaba agreganın (19-38 mm) elek analizi sonuçları

Elek no (mm)	Elekten geçen toplam (g)	Elekten geçen toplam (%)	Elekte kalan toplam (%)
50	2468	100	0
37,5	2468	100	0
31	2352	95,3	4,7
25	1343	54,42	45,58
19	313	12,68	87,32
16	54	2,19	97,81
12,7	0	0	100
9,5	0	0	100

#### 4.1.2 Çimento

Deneysel çalışmamızda üretilen SSB karışımlarında Nuh Çimento San. A. Ş' den dökme olarak gelen CEM I 42.5R tipinde çimento kullanılmıştır. Çimentonun özellikleri TS EN 197-1 standardına uygundur. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için herhangi bir çalışma yapılmamış olup, şantiyeye getirilen çimentonun sahip olduğu özellikler aynen kabul edilmiştir. Şantiye yetkililerinden temin edilen çimentonun fiziksel özellikleri Çizelge 4.5'de, kimyasal özellikleri ise Çizelge 4.6'da belirtilmiştir.

**Çizelge 4.5.** CEM I 42.5R çimento tipinin fiziksel özellikleri

Fiziksel özellikler	Çimento	Standart	Birim
Priz başlangıcı	135-180	min. 60	dakika
Priz sonu	190-230	-	dakika
Özgül ağırlık	3,16-3,21	-	g/cm <sup>3</sup>
Hacim genişlemesi	0-2	maks. 10	mm
Özgül yüzey (Blaine)	3500-4000	-	cm <sup>2</sup> /g
Litre ağırlığı	980-1030	-	g/l
2 günlük dayanımı	26-35	min. 20	MPa
28 günlük dayanımı	56-61	42,5 – 62,5	MPa

**Çizelge 4.6.** CEM I 42.5R çimento tipinin kimyasal özellikleri

<b>Kimyasal özellikler</b>	<b>Çimento</b>	<b>Standart</b>	<b>Birim</b>
SO <sub>3</sub>	2,4-3,2	maks. 4	%
MgO	1,4-2	-	%
Kızdırma kaybı	2-2,8	maks. 5	%
Çözünmeyen kalıntı	0,2-0,8	maks. 5	%
Cl	<0,01	maks. 0,1	%
Toplam alkali	0,4-0,8	-	%
Serbest kireç	1-1,8	-	%

#### 4.1.3 Uçucu kül

Deneysel çalışmada üretilen SSB karışımlarında bağlayıcı malzeme çimentoya ek olarak kullanılan uçucu kül, Çatalağzı Termik Santralinden temin edilmiştir. Uçucu kül, taş kömürünün yakılmasıyla elde edilen düşük kireç içerikli F sınıfı uçucu küldür. Uçucu kül TS EN 450 ve ASTM C 618 şartlarına uygun olmalıdır. F sınıfı uçucu kül tipi bitümlü kömürden üretilmektedir. CaO oranı %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da isimlendirilirler. Puzolanik özelliğe sahiptirler (Türker vd., 2009). Uçucu kül üzerinde herhangi bir çalışma yapılmamış olup, şantiye yetkililerinden temin edilen uçucu külün sahip olduğu özellikler aynen kabul edilmiştir. Uçucu külün fiziksel özellikleri Çizelge 4.7'de, fiziksel özellikleri de Çizelge 4.8'de belirtilmiştir (Niş, 2019).

**Çizelge 4.7.** F sınıfı uçucu külün fiziksel özellikleri

<b>Fiziksel özellikler</b>	<b>Çatalağzı Termik Santrali</b>	<b>Birim</b>
Kızdırma kaybı	3,3	%
Özgül ağırlık	2,13	g/cm <sup>3</sup>
Özgül yüzey	3870	g/cm <sup>2</sup>
Dayanım aktivite indeksi	83 (28) – 97 (90)	(%) (gün)

**Çizelge 4.8.** F sınıfı uçucu külün kimyasal özellikleri

Oksitler (%)	Uçucu Kül (%)
CaO	2,10
SiO <sub>2</sub>	54,76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,28
MgO	2,08
SO <sub>3</sub>	0,2
Na <sub>2</sub> O	0,38
K <sub>2</sub> O	4,04

#### 4.1.4 Kimyasal katkı

Beton karışımında kullanılan kimyasal katkı; TS EN 934-2'ye uygun, CENTRO 330-W adında su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkı malzemesi olup Fosroc İdea Kimyasalları San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilmektedir. Kimyasal katkı üzerinde herhangi bir çalışma yapılmamış olup, kimyasal katkının sahip olduğu veriler şantiyeden temin edilmiştir. Kimyasal katkının özellikleri Fosroc İdea Kimyasalları San. ve Tic. A.Ş.'den alınan veriler olup Çizelge 4.9'de belirtilmiştir.

**Çizelge 4.9.** Kimyasal katkının özellikleri

Özellikler	Ölçülen değerler	Standart değerler	Analiz yöntemi	İdeal deney metodu
Homojenlik	Homojen	Homojen	Gözlem	Gözlem
Renk	Kahverengi	Kahverengi	Gözlem	Gözlem
Bağlı Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1,08	1,06 – 1,10	ISO 758	T 45
pH	5	4,5 – 6,5	ISO 4316	T 02
Katı Madde Miktarı (%)	16,09	14,87- 18,18	EN 480 - 8	T 51
Suda Çözünebilen Klorür (%)	0,07	<0,1	EN 480 - 10	T 47
Alkali Miktarı (%)	Uygun	<5	EN 480 - 12	DIŞ LAB.
FT-IR Spectrum/ Etkin Bileşen	Uygun	Referans IR Spect.	EN 480 - 6	T 50

#### 4.1.5 Su

Silindirle Sıkıştırılmış Beton karışımında kullanılan karışım suyu olarak, baraj inşasında üretilen SSB için kullanılan şantiyedeki mevcut su kullanılmıştır.

#### 4.1.6 SSB karışımında kullanılan malzeme miktarı

Bu çalışma Kocaeli' de bulunan Devlet Su İşleri 1. Bölge 15. Şube Müdürlüğü'nün denetimi altında SSB baraj tipinde inşa edilen İhsaniye Barajı şantiyesinde laboratuvar koşullarında yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda agrega nem miktarına göre betonun fiziksel özelliklerinin değişimi takip edileceği için şantiyede kullanılan SSB karışımında; 1m<sup>3</sup> beton üretmek için tespit edilen aynı parametreler kullanılmıştır. Karışım parametreleri üzerinde değişim yapılmamış olup üretim oranları İlgili idarenin onayından alınmıştır. Ağırlık esasına göre belirlenen karışım parametreleri Çizelge 4.10'da detaylı olarak verilmiştir.

**Çizelge 4.10.** 1 m<sup>3</sup> SSB üretiminde kullanılan malzeme miktarları

Kullanılan malzeme		Kullanılan miktar
Agrega (Kırmataş)	0 - 5 mm	938 kg/m <sup>3</sup>
	5 - 19 mm	672 kg/m <sup>3</sup>
	19 - 38 mm	635 kg/m <sup>3</sup>
Çimento		80 kg/m <sup>3</sup>
Uçucu kül		60 kg/m <sup>3</sup>
Su		107 litre/m <sup>3</sup>
Kimyasal katkı		1,20 litre/m <sup>3</sup>

#### 4.2 Yöntem

Standart bir betonarme betonu üretiminde genel olarak izlenen yöntem, SSB üretimi için de geçerli olup temel farklılık betonun yerleştirilmesinde görülmektedir. Ancak elde edilecek olan sertleşmiş betonun hedeflenen özelliklere sahip olabilmesi için bir dizi işlemin eksiksiz olarak yerine getirilmesi gerekmektedir.

#### 4.2.1 Hazırlık ve deney numunelerinin üretimi

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında standart betonarme betonu üretim şekline benzer iş akışı takip edilerek numuneler üretilmiştir. Numune üretimi için kullanılan agregalar şantiye sahasından açık şekilde depolanmaktadır. Şubat ayında yağışın bol olduğu bir dönemde temin edilen ve laboratuvara getirilen agregaların ivedilikle maksimum nem oranları hesaplanmış, sırasıyla 0-5, 4-19 ve 19-38 mm tane aralığına sahip agregaların nem oranı %8,9 - %5,9 ve %4,3, aritmetik ortalama olarak ise %6,74 bulunmuştur. Diğer fiziksel özellikleri ise laboratuvar ortamında hava kurusu durumuna getirildikten sonra tespit edilmiştir.

Numune üretimi için gerekli olan bağlayıcı, akışkanlaştırıcı ve uçucu kül yine aynı şantiyeden temin edilmiştir. Ancak çalışmada sadece agrega nem oranının etkisi incelendiği için çimento hava kurusunda iken ve uçucu kül, etüv kurusuna getirildikten sonra numune üretimine dâhil edilmiştir.

Çalışmada farklı nem oranlarına sahip agregalar ile üretilen betonların bazı fiziksel özellikleri inceleneceği için beton karışımında kullanılacak olan %0-1-2-3-4-6 serbest nem oranlarına sahip 6 farklı agrega grubu yığınları oluşturulmuştur. Agregalar yağışlı ortamda dahi maksimum ortalama %6'dan daha fazla nem içermediği için yeter görülmüştür. Bu yığınlar oluşturulmadan önce; DSİ tarafından onaylanan ve baraj inşaatında kullanılan ve Çizelge 4.10'da ağırlık esasına göre verilen karışım oranı değerlerine göre 2 m<sup>3</sup> beton için gerekli agrega yığını hazırlanmıştır. Bu değerlere göre alınan ve homojen hale gelene kadar karıştırılan agrega yığından yeter miktarda alınıp değişmez ağırlığa ulaşarak etüv kurusu durumuna getirilip %0 nem miktarı belirlenmiştir. %1 ve 2 serbest nem miktarı içeren yığınların oluşturulmasında, agregalar etüvde (105 ±2 °C) 12 saat bekletildikten sonra her saat başı ölçülerek ayarlanmıştır. %3 ve 4 serbest nem miktarı içeren yığınların oluşturulmasında, agregalar etüvde (105±2 °C) 2 saat bekletildikten sonra her saat başı ölçülerek ayarlanmıştır. % 6 serbest nem miktarı içeren yığınların oluşturulmasında ise etüvde işlem yapılmamış, nem oranı ortam şartlarında ayarlanmıştır. Agrega serbest nem oranları yaklaşık %1 hassasiyetinde ayarlanmıştır.

SSB karışımlarında S/Ç oranı Çizelge 4.10'da verilen beton karışım hesabına göre (su/bağlayıcı malzeme oranı) karışımdaki su miktarının çimento ve uçucu kül miktarı toplamına bölünmesi ile elde edilmekte ve değeri 0,764 (107/80+60) olarak hesaplanmaktadır. Bu hesap yapılırken karışımdaki agreganın içerdiği serbest nem miktarı dikkate alınmamış yani sıfır kabul edilmiştir. Oysa farklı iklim dilimlerinde dökülen beton agregasında önemli miktarda serbest nem bulunabilmektedir. Bu çalışmada üretilen numune karışımlarında ise, S/Ç oranı hesaplanırken karışımdaki agreganın içerdiği serbest nem miktarı da hesaba katılmış ve S/Ç oranındaki değişimin mühendislik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Agreganın serbest nem miktarının değişimi ile S/Ç oranı aşağıdaki bağıntı yardımı ile tespit edilmiştir.

$$R_k = \frac{A_n + W_k}{W_\zeta + W_u} 100 \quad (\%) \quad (4.1)$$

$R_k$ : Karışımın su/bağlayıcı malzeme oranı

$A_n$ : Karışımdaki agreganın ağırlıkça içerdiği nem miktarı (kg)

$W_k$ : Beton karışım hesabındaki su miktarı (107 litre/m<sup>3</sup>)

$W_\zeta$ : Beton karışım hesabındaki çimento miktarı (80 kg/m<sup>3</sup>)

$W_u$ : Beton karışım hesabındaki uçucu kül miktarını (60 kg/m<sup>3</sup>) ifade etmektedir.

Numune döküm işlemleri, agreganın serbest nem miktarları belirlendikten sonra karışıma giren malzemeler ivedilikle pan tipi mikserde homojen hale gelene kadar karıştırılmıştır. Daha sonra standart silindir kalıbına (15 cm çapında, 30 cm yüksekliğinde) 3 aşamada şişleme çubuğu ile ve son tabakası ise Fotoğraf 4.1'de görüldüğü gibi, el tipi vibrasyonla sıkıştırılmak suretiyle yerleştirilmiştir. Dökülen numuneler 24 saat laboratuvar ortamında üzerlerine nemli bir bez örtülerek bekletildikten sonra, yine laboratuvarında bulunan ve otomatik olarak su sıcaklığı kontrol edilebilen kür tankına yerleştirilmiştir. Ancak bu aşamada taze betonun slampına bakılmamış, üzerinde Vebe testi uygulanarak kıvamı belirlenmiştir. Agreganın nem miktarına göre üretilen numune grupları ve sayıları çizelge 4.11'de verilmiştir.

**Çizelge 4.11.** Üretim amacına göre SSB numune grubu ve sayısı

Grup adı	Agrega nem oranı (%)	SSB numunelerin üretim amacı			
		Basınç dayanımı deneyi		Yarmada çekme, su işleme derinliği ve geçirimsizlik katsayısı tayini deneyleri	
		28 gün	90 gün	60 gün	90 gün
G <sub>0</sub>	0	4	4	4	4
G <sub>1</sub>	1	4	4	4	4
G <sub>2</sub>	2	4	4	4	4
G <sub>3</sub>	3	4	4	4	4
G <sub>4</sub>	4	4	4	4	4
G <sub>6</sub>	6	4	4	4	4
Toplam		24	24	24	24
Not: G <sub>1</sub> grubu, alt indis agregası % nem oranını ifade etmektedir.					



**Fotoğraf 4.1.** SSB'nin silindirik numune kaplarına sıkıştırılarak yerleştirilmesi



## 4.2.2 Taze SSB'ye uygulanan deneyler

Taze beton, henüz katılaşmaya başlamamış, taşınarak kalıplardaki yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi gibi işlemlerin yapılabilir durumda olan betondur. Bu durumda iken %0-1-2-3-4 ve 6 olmak üzere, 6 farklı serbest nem miktarına sahip SSB betonun sıcaklık değeri, nem oranı ve kıvamı için Vebe değerleri tespit edilmiştir.

### 4.2.2.1 Beton sıcaklığının ve nem oranının belirlenmesi

Altı farklı agrega nem oranına sahip SSB karışım üretildikten sonra, önce sıcaklık ölçer aparatı ile sıcaklığı ölçülmüştür. Sonra taze betondan belirli bir miktar alınarak bir kaba konmuş ve 0,1gram hassasiyetle tartılarak net kütlesi ( $G_d$ ) belirlenmiştir. Daha sonra etüvde ( $105 \pm 2$  °C) 24 saat bekletildikten sonra tekrar tartılmış ve sabit etüv kurusu kütlesi bulunmuştur ( $G_s$ ). Aradaki kütle kaybına göre hesap yapılarak betonun içerdiği nem miktarı ( $S_k$ ) aşağıdaki bağıntı yardımı ile tespit edilmiştir. Bu işlem 6 farklı taze SSB'ye ayrı ayrı uygulanarak her birinin nem oranı belirlenmiştir.

$$S_k = \frac{G_d - G_s}{G_s} 100 (\%) \quad (4.2)$$

$S_k$ : Ağırlıkça nem yüzdesi (%),

$G_d$ : taze SSB numune kütlesi,

$G_s$ : Etüv kurusu SSB numune kütlesi, ifade edilmektedir.

### 4.2.2.2 Vebe değerinin belirlenmesi

Betonda kıvam, betonun akışkanlığını gösteren bir ölçüdür. Betonda artan su miktarı kıvamı, diğer bir deyişle, betonun akışkanlığının artmasına neden olur. Çünkü artan su miktarı, betonun akmaya, yerleşmeye ve sıkışmaya karşı direncinin temel sebebi olan katı taneler arasındaki sürtünme katsayısını düşürür. Ancak, su miktarı çok yüksek olan beton işlenebilir beton anlamına da gelmemelidir. Taze betonun işlenebilirliğinde ayrışma olmaması gereklidir. Ayrışma, taze betonda iri agrega tanelerinin harçtan ayrılarak kalıpların alt kısmına çökmesidir. Bu suretle beton homojenliğini kaybeder ve beton elemanın alt ve üst bölgelerindeki özellikler farklılaşır. İlgili şartname, kıvamın

Vebe testi ile belirlenmesini istemektedir. Bu çalışmada da SSB akışkanlığı, malzemeler karıştırıldıktan sonra ve kalıplanmadan önce Vebe testine tabi tutulmuş ve beton karışımlarının kıvamları belirlenmiştir. Vebe testi; TS EN 12350-3 standardına uygun olarak yapılmıştır. 6 farklı grup oluşturulan agrega serbest nem miktarına (%0-1-2-3-4 ve 6) sahip SSB karışımların kıvamı ölçülmüştür.

Vebe testi; silindir şeklinde, 24 cm çapında, 19 cm yüksekliğinde, 5755,2 kg ağırlığında, kaba kullanma durumunda bile şeklini muhafaza edebilecek dayanıma sahip, su sızdırmaz özellikte, iç yüzeyinde çukurluk, delik veya pürüz olmayan çimento hamurundan kısa sürede olumsuz etkilenmeyen özellikte metal temiz bir kalıp ile yapılmıştır. Taze beton deney kalıbı (çökme hunisi) içerisine sıkıştırılarak doldurulmuştur. Sıkışma işlemi üç aşamada yapılmıştır. Fotoğraf 4.2’de görüldüğü gibi, önce taze beton karışımı silindirik kalıbın üçte birine denk gelecek şekilde doldurulmuştur. Daha sonra 25 defa şişlenerek sıkıştırılmıştır. Aralarda boşluk kalmaması ve betonun iyi yerleşmesi için çelik kalıba tokmakla vurulmuştur. Sonra aynı işlem ikinci ve üçüncü tabakaya da uygulanmıştır. Sonra kabın üstündeki beton yüzeyinin malayla tesviyesi yapılmıştır. Böylece taze beton, çelik kalıp içerisinde tokmaklanıp şişlenerek üç tabaka halinde sıkıştırılmış ve Vebe testi yapılmak üzere hazır hale getirilmiştir. SSB’nin sıkıştırılarak yerleştirildiği silindirik kalıp, Vebe değerini belirlemek üzere titreşim masasına alt ve yan kısımlarından sağlam bir şekilde tutturularak yerleştirilmiş ve sabitlenmiştir. Sonra kabın üzerine; ortasında metal bir kol, bu metal kolun yerleştirildiği belirli bir ağırlığa sahip olan çelik bir kütle ve bu kütle altına yani betonla temas eden kısmına gelecek şekilde konulan ve metal çubuk ile çelik kütleyle sabitlenmiş saydam bir diskten oluşan 17,45 kg ağırlığında aparat yerleştirilmiştir (Fotoğraf 4.3). Daha sonra titreşim masası çalıştırılıp aynı anda kronometre başlatılmıştır. Bu işlem esnasında taze betonun sıkışma işlemi saydam diskten gözlemlenmiştir. Diskin alt yüzeyi betonun çimento hamuru ile tamamen kaplandığında kronometre durdurulmuştur ve titreşim masası kapatılmıştır. Geçen süre kaydedilerek Vebe değeri tespit edilmiştir. Bu işlemler 6 farklı SSB karışımına da uygulanarak taze betonların kıvamları bulunmuştur.



**Fotoğraf 4.2.** SSB'nin Vebe kalıbına yerleştirilmesi



**Fotoğraf 4.3.** SSB karışımına Vebe deneyinin uygulanışı

#### **4.2.3 Sertleşmiş SSB numunelere uygulanan deneyler**

6 farklı serbest nem oranına sahip agregalardan oluşan SSB silindirik numunelere, üretildikten sonra  $20 \pm 2$  °C sıcaklığa sahip kür havuzunda 28, 60 ve 90 günlük kür işlemleri uygulanmıştır. Kür işlemleri sonunda 28 günlük numunelerin su emme yüzdesi, birim hacim ağırlıkları tespit edilmiş ve basınç dayanımı testi ile dayanım değerleri belirlenmiştir. 60 günlük numunelerin yarmada çekme dayanımı, su işleme

derinliği ve geirirnilik katsayısı değerleri belirlenmiştir. 90 günlük numunelerin ise basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su işleme derinliği ve geirirnilik katsayısı değerleri tespit edilmiştir.

#### 4.2.3.1 Su emme değerinin belirlenmesi

Altı farklı agrega nem oranına sahip SSB numuneler, üretildikten sonra  $20\pm 2$  °C kr havuzunda 28 günlük kür işlemleri sonunda havuzdan çıkartılarak ıslaklığı kuru bir bezle alınmış ve 0,1gram hassasiyetle tartılarak net kütlesi ( $M_d$ ) belirlenmiştir. Daha sonra etüvde betonun fiziksel özelliklerine zarar vermeyecek şekilde 60°C’de 24 saat bekletildikten sonra tekrar tartılmış ve değişmez ağırlığa ulaşılarak sabit etüv kurusu kütlesi bulunmuştur ( $M_s$ ). Aradaki kütle kaybına göre hesap yapılarak beton numunesinin içerdiği su emme yüzdesi ( $N_k$ ) aşağıdaki bağıntı yardımı ile tespit edilmiştir. Bu işlem 6 farklı SSB grubuna sahip numunelere ayrı ayrı uygulanarak her birinin su emme oranı belirlenmiştir.

$$N_k = \frac{M_d - M_s}{M_s} 100 (\%) \quad (4.3)$$

$N_k$ : Su emme yüzdesi (%),

$M_d$ : Suyu doğgun hale getirilmiş numunenin kütlesi,

$M_s$ : Etüv kurusu durumuna getirilmiş numune kütlesini, ifade edilmektedir.

#### 4.2.3.2 Birim hacim ağırlığı belirlenmesi

28 günlük kür süresi sonunda numunelerin etüv kurusu ve ıslak durumuna birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır. Numunelerin birim hacim ağırlıklarının belirlenmesinde TS 699 standardı esas alınmıştır. Çalışmada bütün numunelerin birim hacim ağırlığının aritmetik ortalaması alınarak o gruba ait birim hacim ağırlığı elde edilmiştir. Birim hacim ağırlığı hesaplanmasında ise aşağıdaki 4.4 eşitliğinden yararlanılmıştır.

$$\gamma_k = \frac{G_k}{V_k} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (4.4)$$

Bağıntıda;

$\gamma_k$ : Numune birim hacim ağırlığı ( $\text{g/cm}^3$ )

$G_k$ : Numune hava kurusu ağırlığı

$V_k$ : Numunelerin brüt hacmini ifade etmektedir.

#### 4.2.3.3 Eksenel basınç dayanımı değerinin belirlenmesi

6 farklı SSB karışımından elde edilen silindirik numunelere 28 gün ve 90 gün kür işlemi uygulandıktan, sonra her bir karışımdan 3'er adet numune, eksenel basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur ve bu üç numunenin dayanım değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak SSB karışımının basınç dayanımı değeri belirlenmiştir. Basınç dayanım testi, TS EN 12390-3 standardına uygun olarak laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri basınç dayanımına tabi tutulmadan bir gün önce laboratuvar ortamında oda sıcaklığında bekletilerek kurutulmuştur. Numunelerin basınç presine gelen yüzeyleri düzgün olduğu için başlıklama yapılmamıştır. Standartlarda verilen yöntemler doğrultusunda, istenen yükleme hızı limitlerinde yükleme yapılarak (başlangıç yükü 0,6 MPa) Fotoğraf 4.4'te görülen tek eksenli basınç presi yardımı ile teste tabi tutulmuştur. Silindirik numuneler deney presi çeneleri merkezine dik olarak yerleştirilmiştir. Numunelerin eksenel basınç gerilmesi değerlerini bulmak için aynı şartlarda üretilen ve eksenel basınç gerilmeleri değerleri birbirinden % 20 farkı olmayan 3 numunedan elde edilen değerlerinin aritmetik ortalaması alınmak suretiyle ilgili grubun eksenel basınç gerilmesi değerleri aşağıdaki bağıntı yardımı ile bulunmuştur.

$$\sigma_b = \frac{P}{A} \text{MPa} \quad (4.5)$$

Bağıntıda;

$\sigma_b$ : Basınç (MPa)

P: kırılma yükü

A: kuvvet uygulanan yüzey alanını ifade etmektedir.



**Fotoğraf 4.4.** Silindirik numunenin aksel basınç dayanımı testi

#### **4.2.3.4 Yarmada çekme dayanımı değerinin belirlenmesi**

6 farklı SSB karışımından elde edilen silindirik numunelere, ilgili teknik şartnamede belirtilen 60 ve 90 gün kür işlemi uygulandıktan sonra her bir karışımdan 3'er adet numune yarmada çekme dayanımı testine tabi tutulmuştur ve bu üç numunenin dayanım değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak SSB karışımının yarmada çekme dayanımı değeri belirlenmiştir. Yarmada çekme dayanım testi, TS EN 12390-6 standardına uygun olarak laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri yarmada çekme dayanımına tabi tutulmadan önce su işleme derinliği deneyine tabi tutulmuş ve su işleme derinliği cihazından çıkarılan numunelere yarmada çekme dayanımı deneyi uygulanmıştır. Deney presi, deney numunesi yerleştirilmeden önce temizlenmiştir. Fotoğraf 4.5'te de görüldüğü gibi silindirik numuneler deney presinin merkezine, alttan ve üstten metal çubuklar yardımıyla sabitlenerek yatay olarak yerleştirilmiştir. Deney presi çalıştırılarak numuneye başlangıç yükü (0,2 MPa) uygulanmış ve bu yük sabit bir şekilde 0,1 MPa'lık aralıklarla artırılarak numune kırılana kadar işlem devam etmiştir. Göstergeden okunan yük kaydedilerek yarmada çekme dayanımı değeri belirlenmiştir. Numunelerin yarmada çekme dayanımı değerlerini bulmak için aynı şartlarda üretilen ve yarmada çekme dayanımı değerleri birbirinden % 20 farkı olmayan 3 numuneden

elde edilen değerlerinin aritmetik ortalaması alınmak suretiyle ilgili grubun yarmada çekme dayanımı değerleri aşağıdaki bağıntı yardımı ile bulunmuştur.

$$f_{ct} = \frac{2xF}{\pi xLxd} \text{ MPa} \quad (4.6)$$

Bağıntıda;

$f_{ct}$ : Yarmada çekme dayanımı (MPa)

F: En büyük yük (N)

L: Numunenin yükleme parçasına temas çizgisinin uzunluğu (mm)

d: Numunenin seçilen en kesit ölçüsü (mm) ifade etmektedir.



**Fotoğraf 4.5.** Silindirik numunenin yarmada çekme dayanımı testi

#### 4.2.3.5 Su işleme derinliği değerinin belirlenmesi

6 farklı SSB karışımından elde edilen silindirik numunelere 60 gün ve 90 gün kür işlemleri uygulandıktan, sonra her bir karışımdan 3'er adet numune su işleme derinliği testine tabi tutulmuştur ve bu üç numunenin derinlik değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak SSB karışımının su işleme derinliği değeri belirlenmiştir. Su işleme derinliği testi, TS

EN 12390-8 standardına uygun olarak laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri su işleme derinliği testine tabi tutulmadan bir gün önce laboratuvar ortamında oda sıcaklığında bekletilerek kurutulmuştur. Deney numunesi deney cihazına yerleştirilmeden önce, basınçlı suyun uygulanacağı yüzeyi tel fırça ile pürüzlendirilmiştir. Silindir numune, deney cihazına numuneye su basıncı uygulanabilecek ve sızdırmazlık sağlanacak şekilde yerleştirilmiştir. Fotoğraf 4.6'da görüldüğü gibi sızdırmazlığın sağlanabilmesi için numunenin cihaza yerleştirildiği kısımda halka şeklinde lastik contalar kullanılmıştır. 72 saat boyunca 5 bar değerinde basınçlı su, deney numunesinin pürüzlendirilmiş tabanından uygulanmıştır. Deney tamamlandıktan sonra, numune cihazdan çıkartılarak basınçlı su uygulanan yüzeydeki su silinerek temizlenmiştir. Numune dik bir şekilde ortadan ikiye bölünmüştür (Fotoğraf 4.7). Basınçlı su uygulanan yüzey alt tarafa getirilmiştir. Numunenin bölünmesiyle ortaya çıkan numune yüzeyi, su işleyen kısmı net olarak belirinceye kadar kurutulmuş ve sonra suyun işlediği en büyük derinlik değeri ölçülerek kaydedilmiştir.



**Fotoğraf 4.6.** Su işleme derinliği ölçümü cihazı





**Fotoğraf 4.7.** SSB numunenin su işleme derinliği

#### 4.2.3.6 Geçirgenlik katsayısı değerinin belirlenmesi

6 farklı SSB karışımından elde edilen silindirik numunelere 60 gün ve 90 gün kür işlemi uygulandıktan, sonra her bir karışımdan 3'er adet numune su işleme derinliği testine tabi tutulduktan sonra geçirgenlik katsayısı değerleri hesaplanmıştır. Geçirgenlik katsayısı hesabı, karışımdaki her üç numune için ayrı ayrı hesaplanmış ve daha sonra üç numuneden elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak SSB karışımının geçirgenlik katsayısı değeri tespit edilmiştir. TS 3455'e göre geçirgenlik katsayısı hesabı genelde 60 günlük numunelere uygulanmaktadır. Ancak herhangi bir nedenle 60 günlük numunelere yapılmadığı durumlarda beton yaşı ile ilgili yaklaşık bir çevirme katsayısı kullanılarak geçirgenlik katsayısı hesabı 39 ile 240 gün arasında olan numunelerde de yapılabilir. Geçirgenlik katsayısı (K) hesabı TS 3455'e uygun olarak aşağıdaki formülde belirtilmiştir. Fotoğraf 4.8 de ise geçirgenlik katsayısını hesaplamak için yapılan su işleme derinliği cihazının genel görüntüsü verilmiştir.

$$K_{60} = (V_S \times L) / (t_s \times P \times A) \quad K_{60} = (100 \times K_y) / F_y \quad (4.7)$$

$K_{60}$  = 60 günlük betonun geçirgenlik katsayısı (cm/sn)

$V_S$  =  $t_s$  saat aralıklarla ölçülen toplam su miktarları farkı ( $V_2 - V_1$  cm<sup>3</sup>)

$L$  = Numune yüksekliği (cm)

$t_s$  =  $V_1$  ve  $V_2$  toplam su miktarları ölçümleri arasında geçen zaman (sn)

$P$  = Uygulanan su basıncı (cm su sütunu)

$A$  = Su basıncının uygulandığı deney numunesinin yüzey alanı (cm<sup>2</sup>)

$K_y$  =  $t$  günlük betonun geçirimlilik katsayısı (cm/sn)

$F_y$  = 60 günden farklı yaşlarda yapılan geçirimlilik deneyi sonuçlarından  $K_{60}$  geçirgenlik katsayısını hesaplamak için kullanılan yaşa bağlı çevirme katsayısı



**Fotoğraf 4.8.** SSB silindirik numunenin geçirgenlik deneyi testi

## BÖLÜM V

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada taze ve sertleşmiş SSB numuneleri üzerine uygulanan deneyler ve elde edilen bulgular neticesinde agrega serbest nem miktarının SSB üzerine fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi belirlenmiştir.

#### 5.1 Taze SSB'ye Uygulanan Deneylerin Sonuçları

%0-1-2-3-4 ve 6 olmak üzere, 6 farklı agrega gruplarında serbest nem miktarına sahip SSB karışımlar hazırlandıktan sonra taze betonun sıcaklık değeri, nem oranı ve kıvamını belirlemek için Vebe değeri tespit edilmiştir. Çalışmada Slump çökme değerleri sıfır olduğu için Slump değerlerine bakılmamıştır. Elde edilen sonuçlar bu bölümde irdelenmiştir.

##### 5.1.1 Betonun sıcaklık ve nem oranı testi deneyi sonuçları

6 farklı serbest nem miktarına sahip SSB karışımların sıcaklık ve içerdikleri nem miktarı değerleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1'de verilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Taze betonun içerdığı sıcaklık ve nem miktarı değerleri

Deney grubu	Agrega nem oranı (%)	S/Ç oranı	Karışımın sıcaklığı (°C)	Karışımın nem miktarı (%)
G <sub>0</sub>	0	0,764	15,4	3,6
G <sub>1</sub>	1	0,925	13,6	3,94
G <sub>2</sub>	2	1,085	16,7	4,1
G <sub>3</sub>	3	1,245	16,3	6,5
G <sub>4</sub>	4	1,406	16,6	7,8
G <sub>6</sub>	6	1,726	13,7	8,7

SSB üretiminde kullanılan agreganın serbest nem oranı değeri arttıkça beton karışımının nem oranında da, S/Ç oranı artışına paralel olarak %3,6~8,7 aralığında artış gözlenmiştir. Nem artışı betonun taze haldeyken kolay işlenebilmesini sağlamasına rağmen Çimentonun hidrasyon (kimyasal) reaksiyonundan artan su ise özellikle

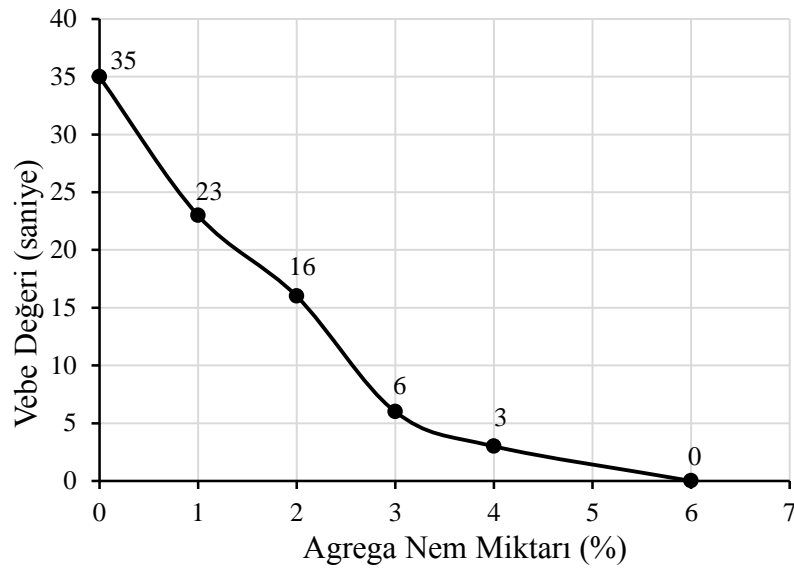
basınç mukavemetini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Sıcaklık değerleri ise değişken bir özellik göstermiş ve ortam sıcaklığına yakın beton sıcaklığı ölçüldüğü için sertleşme esnasında önemli bir sorun oluşturmayacağı sonucuna varılmıştır.

### 5.1.2 Vebe deney sonuçları

6 farklı agrega grubu serbest nem miktarına (%0-1-2-3-4 ve 6) sahip SSB karışımların Vebe değerleri belirlenmiştir. Betonun işlenebilirlik özelliğinin tespitinde önemli bir data oluşturan bu değerler, betonun mühendislik özelliklerinin tahmininde de en önemli parametreyi oluşturmaktadır. Bu çalışmada, taze betondan 0-35 saniye aralığında elde edilen Vebe değerleri Çizelge 5.2 ve Şekil 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Taze SSB’nin Vebe değerleri

Deney grubu	Agreganın nem oranı (%)	S/Ç malzeme oranı	Vebe süresi (saniye)
G <sub>0</sub>	0	0,764	35
G <sub>1</sub>	1	0,925	23
G <sub>2</sub>	2	1,085	16
G <sub>3</sub>	3	1,245	6
G <sub>4</sub>	4	1,406	3
G <sub>6</sub>	6	1,726	0



Şekil 5.1. Taze SSB’nin agrega nem miktarı-Vebe değeri

DSİ, SSBTŞ (2014)'de SSB'nin Vebe kıvamlarının 12-25 sn. arasında çalışabilirliğinin yüksek, işlenebilirliğinin optimum değer aralığında olduğunu belirtmiştir. Vebe süresinin 30 saniyeyi geçtiği durumların ise bağlayıcı malzemenin fazla ve etkin kullanımı nedeniyle ekonomik olarak dezavantaj sağladığını belirtmiştir. Dolayısıyla Vebe deneyinde 12-25 saniye, hedeflenen işlenebilirlik aralığıdır. Aynı zamanda, SSB'de kolay sıkıştırma, homojen yoğunluk, önceden yerleştirilmiş katmanla yapıştırma ve sıkıştırma ekipmanının desteklenmesi için yeterli işlenebilirlik gereklidir. SSB'nin işlenebilirliği en çok SSB karışımının katman birleştirme kısmında etkilenmektedir (ACI, 1999).

Elde edilen sonuçlara göre agrega serbest nem miktarının %1 ve %2 olduğu karışımlarda hedeflenen Vebe değeri aralığına ulaşıldığı tespit edilmiştir. Bu optimum değerlerde agrega serbest nem oranı, inşaat sezonu süresince hava kurusu durumundaki agrega nem oranına eşittir. Agreganın nem oranının %3 ten fazla olduğu durumlarda ise betonun mühendislik özellikleri olumsuz yönde etkilenebileceği kanaatine varılmıştır.

## **5.2 Sertleşmiş SSB Numunelere Uygulanan Deneylerin Sonuçları**

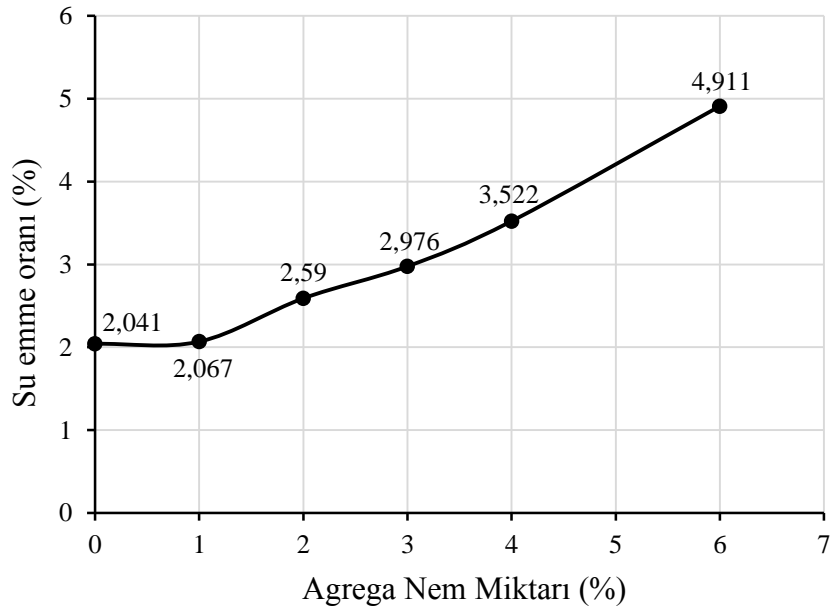
6 farklı agrega serbest nem miktarına (%0-1-2-3-4 ve 6) sahip sertleşmiş SSB numunelerin; su muhtevası, birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su işleme derinliği ve geçirimsizlik katsayısı değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tablo ve grafiklerle gösterilerek aralarındaki ilişki yorumlanmıştır.

### **5.2.1 Su emme yüzdesi ve BHA deneyi sonuçları**

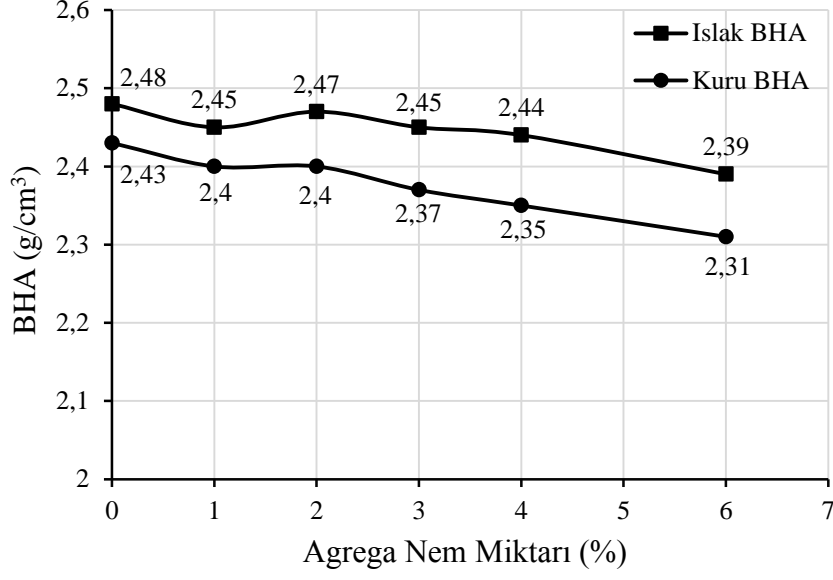
6 farklı serbest nem miktarına (%0-1-2-3-4 ve 6) sahip SSB numunelerin su muhtevası değerleri 28 günlük kür işlemi sonunda belirlenmiştir. Sertleşmiş numunelerin su muhtevası ve BHA değerleri Çizelge 5.3'de ve Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. SSB numunelerin BHA ve su emme yüzdesi değerleri

Deney grubu	Agreganın nem oranı (%)	S/Ç oranı	28 günlük kür şartı		Su emme yüzdesi (%)
			Islak BHA (g/cm <sup>3</sup> )	Etüv kurusu BHA (g/cm <sup>3</sup> )	
G <sub>0</sub>	0	0,764	2,48	2,43	2,04
G <sub>1</sub>	1	0,925	2,45	2,40	2,07
G <sub>2</sub>	2	1,085	2,47	2,40	2,59
G <sub>3</sub>	3	1,245	2,45	2,37	2,98
G <sub>4</sub>	4	1,406	2,44	2,35	3,52
G <sub>6</sub>	6	1,726	2,39	2,31	4,91



Şekil 5.2. SSB numunenin agrega nem miktarı-su emme yüzdesi



**Şekil 5.3.** SSB numunenin agregat nem miktarı-ıslak ve etüv kurusu BHA

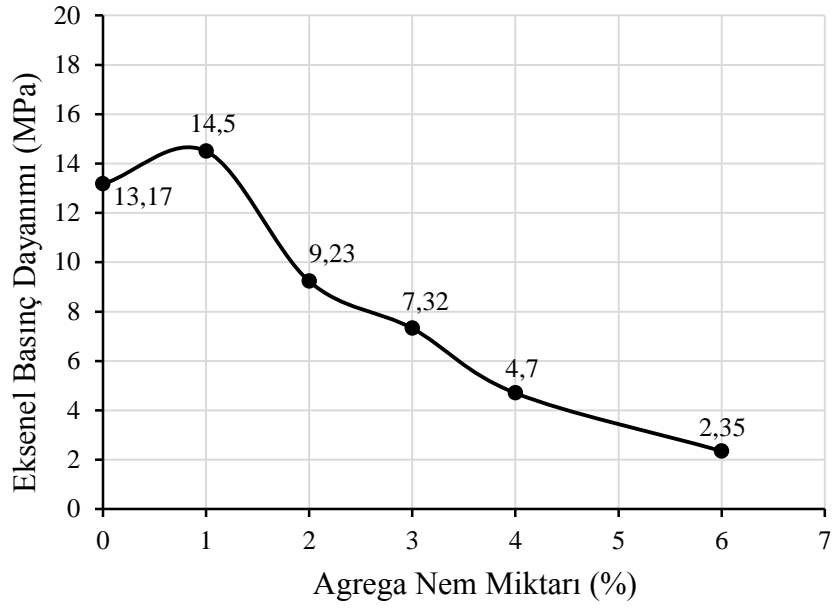
Elde edilen verilere göre, agreganın içerdiği serbest nem miktarının artmasıyla silindirik numunelerin içerdikleri su muhtevası değeri artmış, BHA değerleri ise azalmıştır. BHA'larındaki azalma, serbest karışım suyunun kaybolması ile oluşan büzülmeden kaynaklanabilmektedir.

### 5.2.2 Eksenel basınç dayanımı deneyi sonuçları

6 farklı agregat serbest nem miktarına (%0-1-2-3-4 ve 6) sahip SSB numunelerin 28 günlük ve 90 günlük kür işlemleri sonunda eksenel basınç dayanımı değerleri belirlenmiş ve Çizelge 5.4, Şekil 5.4 - 5.6'da gösterilmiştir.

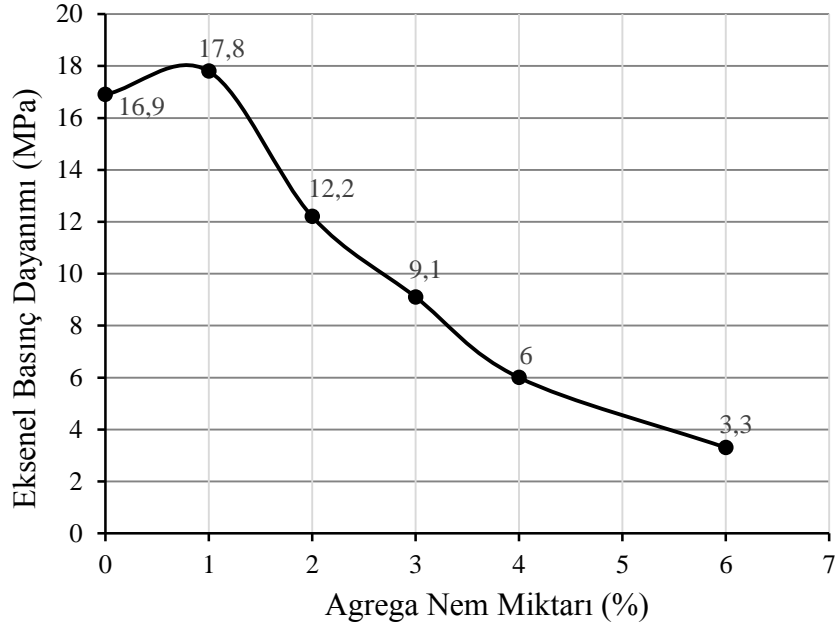
**Çizelge 5.4.** SSB numunelerin eksenel basınç dayanımı değerleri

Deney grubu	Agreganın nem oranı (%)	S/Ç malzeme oranı	28 günlük numunenin eksenel basınç dayanımı (MPa)	90 günlük numunenin eksenel basınç dayanımı (MPa)
G <sub>0</sub>	0	0,764	13,17	16,9
G <sub>1</sub>	1	0,925	14,5	17,8
G <sub>2</sub>	2	1,085	9,23	12,2
G <sub>3</sub>	3	1,245	7,32	9,1
G <sub>4</sub>	4	1,406	4,7	6
G <sub>6</sub>	6	1,726	2,35	3,3

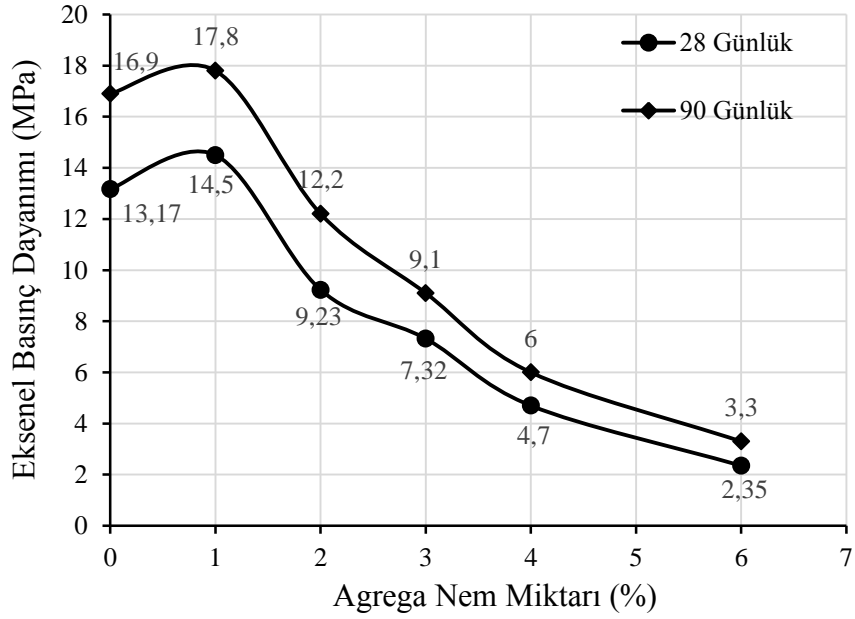


**Şekil 5.4.** 28 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-eksenel basınç dayanımı





Şekil 5.5. 90 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-eksenel basınç dayanımı



Şekil 5.6. 28 ve 90 günlük SSB numunenin eksenel basınç dayanımı

Adı geçen baraj inşaatında DSİ tarafından onaylanan ve Çizelge 4.10'da belirtilen verilere göre hazırlanan beton karışımı dizaynında, betonun hedeflenen 270 günlük basınç mukavemet değeri 15 MPa olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada ise, karışım hesabına göre üretilen SSB numunelerinde, beklenen hedef değerine agrega nem

miktarının %0 ve %1 olduğu karışımlarda 90 günde ulaşılmış ve hedeflenen değerin üzerinde bulunmuştur. Ancak uygulamada agrega nem miktarının etüv kurusu durumunda olma ihtimali oldukça zordur.

Agrega nem miktarının %2 olduğu SSB numunesinde ise 90 gün sonunda 12,2 MPa değerinde dayanım elde edilerek hedeflenen değere yaklaşık bir sonuç bulunmuştur. %3, 4 ve 6 nem oranına sahip agregalardan oluşan karışımlarda ise basınç dayanımı değeri nem miktarının artmasıyla azalmıştır. Beton teknolojisinde bu beklenen bir durumdur. Karışımdaki serbest su miktarının ortamdan uzaklaşması, kompasitenin düşmesine, dolayısıyla yük taşıma kabiliyetinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca agrega serbest nem miktarının %1 olduğu SSB numuneler en yüksek eksenel basınç dayanımı değerini vermiştir.

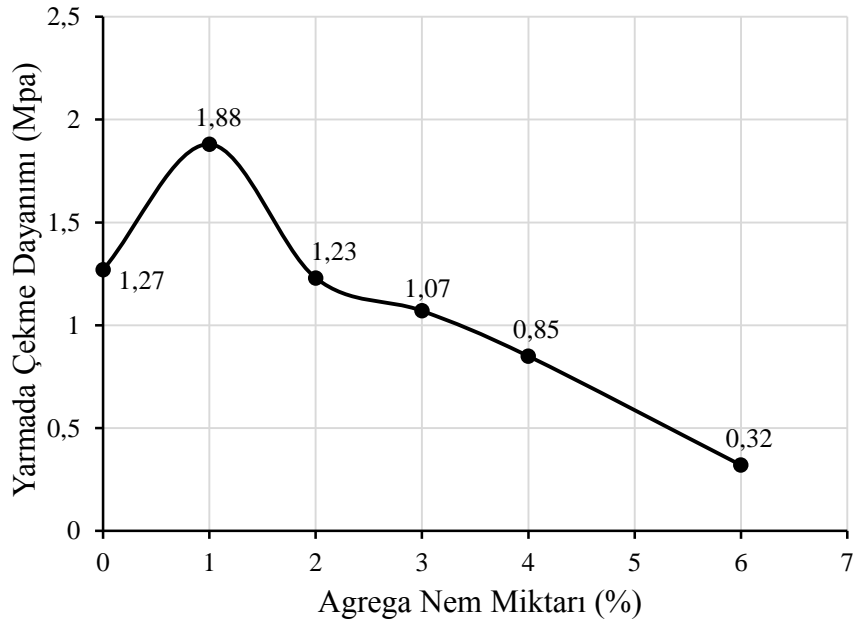
### **5.2.3 Yarmada çekme dayanımı deneyi sonuçları**

6 farklı agrega serbest nem miktarına (%0-1-2-3-4 ve 6) sahip SSB numunelerin 60 ve 90 günlük kür işlemleri sonunda yarmada çekme dayanımı değerleri belirlenmiştir. Yarmada çekme gerilme mukavemeti SSB karışımlarında kritik bir performans indeksi olarak bilinir. Elde edilen verilere göre, agrega serbest nem miktarının %1 olduğu numunelerin 60 ve 90 günlük kür işlemleri sonunda en yüksek yarmada çekme dayanımı değerini verdiği görülmüştür. Diğer karışımlardan elde edilen dayanım değeri sonuçları karşılaştırıldığında ise, agrega serbest nem miktarının artmasıyla yarmada çekme dayanımı değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca %2-3 ve 4 nem oranına sahip agregalardan oluşan SSB numunelerin, 60 ve 90 günlük yarmada çekme deneyi sonuçları birbirine yakın değerler çıkmış hatta %3 ve 4 nem oranına sahip SSB numunelerin 60 günlük yarmada çekme dayanımı değerleri 90 günlük değerlerden yüksek çıkmıştır.

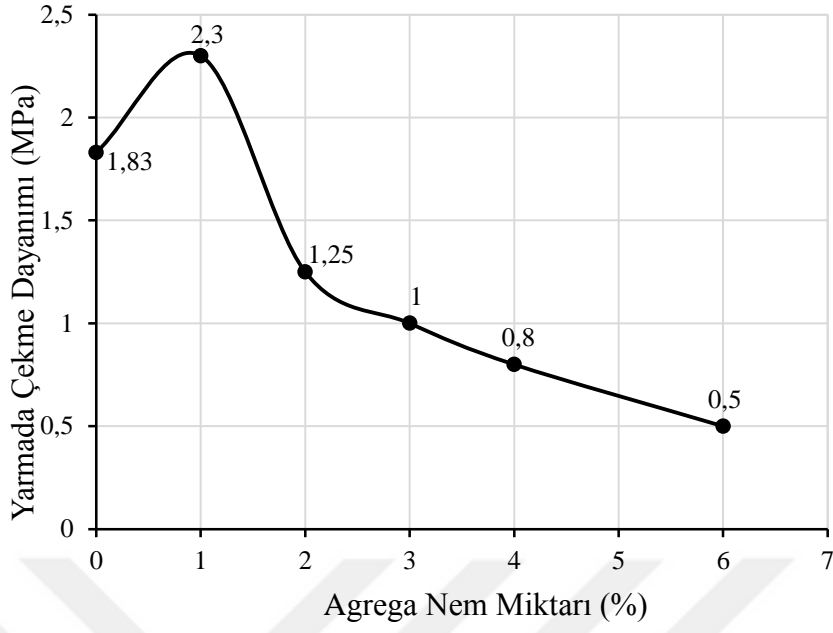
Yarmada çekme değerleri ile diğer mekanik ve fiziksel özellikleri arasında bir ilişki söz konusudur. Genelde basınç gerilmesinin %10 civarında olması beklenmektedir. Bu çalışmada da S/Ç oranına göre değişen fiziksel özellikleri ile paralel değişkenlik göstermiştir. Çalışmadan elde edilen yarmada çekme dayanımı değerleri Çizelge 5.5, Şekil 5.7-5.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. SSB numunelerin yarmada çekme dayanımı değerleri

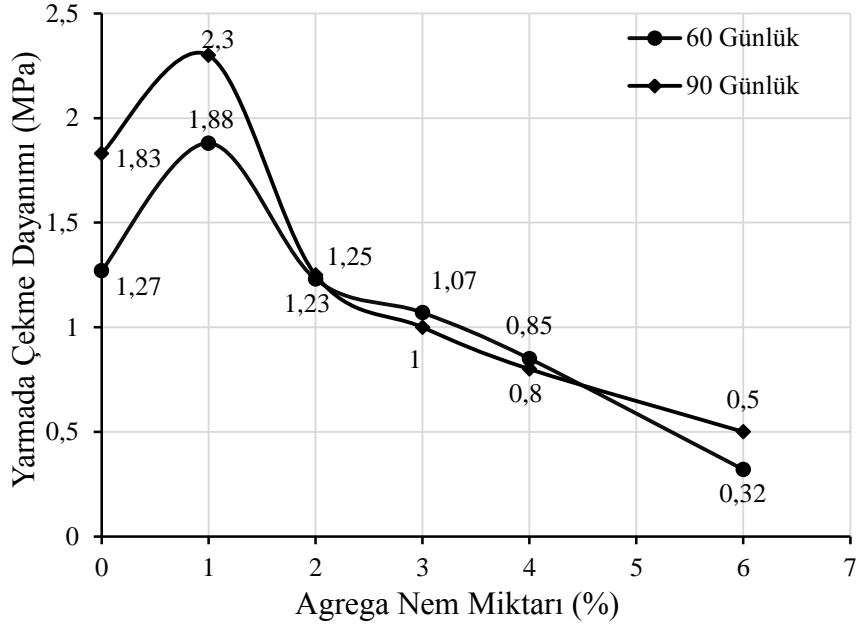
Deney grubu	Agreganın nem oranı (%)	S/Ç oranı	60 günlük numunenin yarmada çekme dayanımı (Mpa)	90 günlük numunenin yarmada çekme dayanımı (Mpa)
G <sub>0</sub>	0	0,764	1,27	1,83
G <sub>1</sub>	1	0,925	1,88	2,3
G <sub>2</sub>	2	1,085	1,23	1,25
G <sub>3</sub>	3	1,245	1,07	1
G <sub>4</sub>	4	1,406	0,85	0,8
G <sub>6</sub>	6	1,726	0,32	0,5



Şekil 5.7. 60 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-yarmada çekme dayanımı



Şekil 5.8. 90 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-yarmada çekme dayanımı



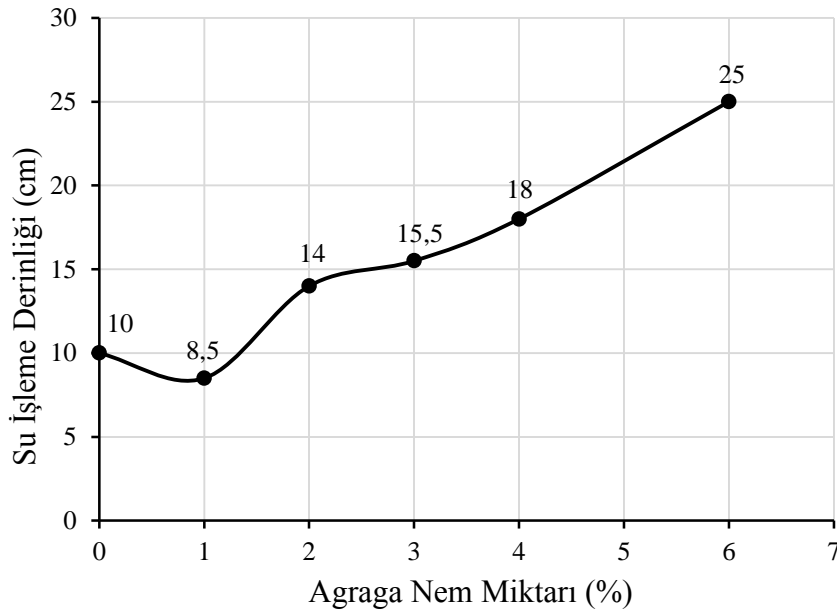
Şekil 5.9. 60 ve 90 günlük SSB numunenin yarmada çekme dayanımı

#### 5.2.4 Su işleme derinliği deneyi sonuçları

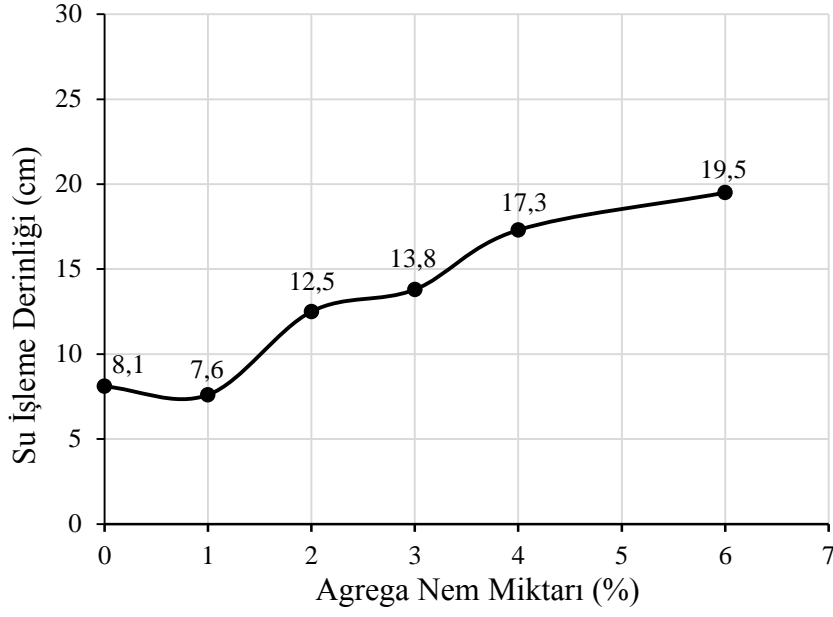
SSB numunelerin 60 ve 90 günlük kür işlemleri sonunda su işleme derinliği değerlerinin ölçülmüş ve elde edilen değerleri Çizelge 5.6, Şekil 5.10-5.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. SSB numunelerin su işleme derinliği değerleri

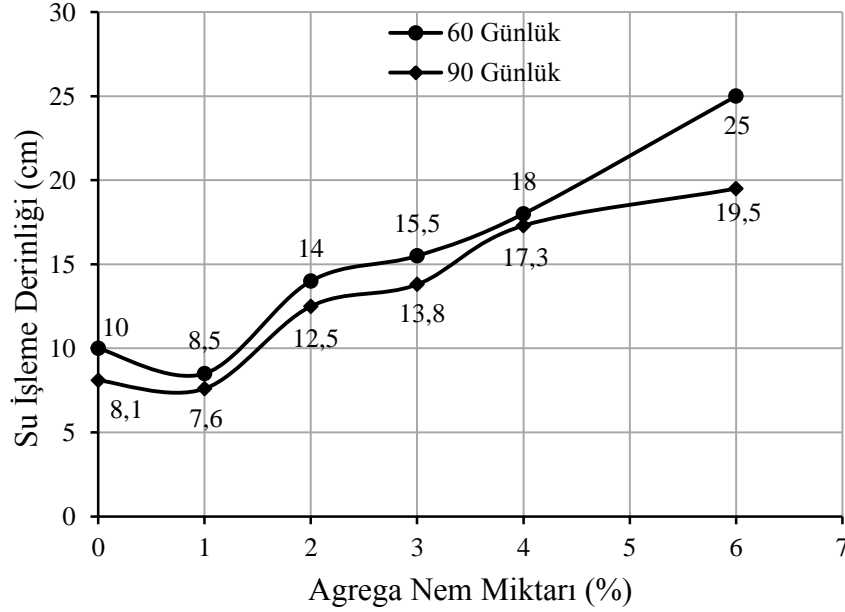
Deney grubu	Agreganın nem oranı (%)	S/Ç oranı	60 günlük numunenin su işleme derinliği (cm)	90 günlük numunenin su işleme derinliği (cm)
G <sub>0</sub>	0	0,764	10	8,1
G <sub>1</sub>	1	0,925	8,5	7,6
G <sub>2</sub>	2	1,085	14	12,5
G <sub>3</sub>	3	1,245	15,5	13,8
G <sub>4</sub>	4	1,406	18	17,3
G <sub>6</sub>	6	1,726	25	19,5



Şekil 5.10. 60 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-su işleme derinliği



Şekil 5.11. 90 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-su işleme derinliği



Şekil 5.12. 60 ve 90 günlük SSB numunenin su işleme derinliği ilişkisi

Elde edilen verilere göre, agrega serbest nem miktarının %1 olduğu karışımli numunelerin 60 ve 90 günlük kür işlemleri sonunda en düşük su işleme derinliği değerini verdiği görülmüştür. Diğer karışımlardan elde edilen dayanım değeri sonuçları karşılaştırıldığında ise, agrega serbest nem miktarının artmasıyla su işleme derinliği

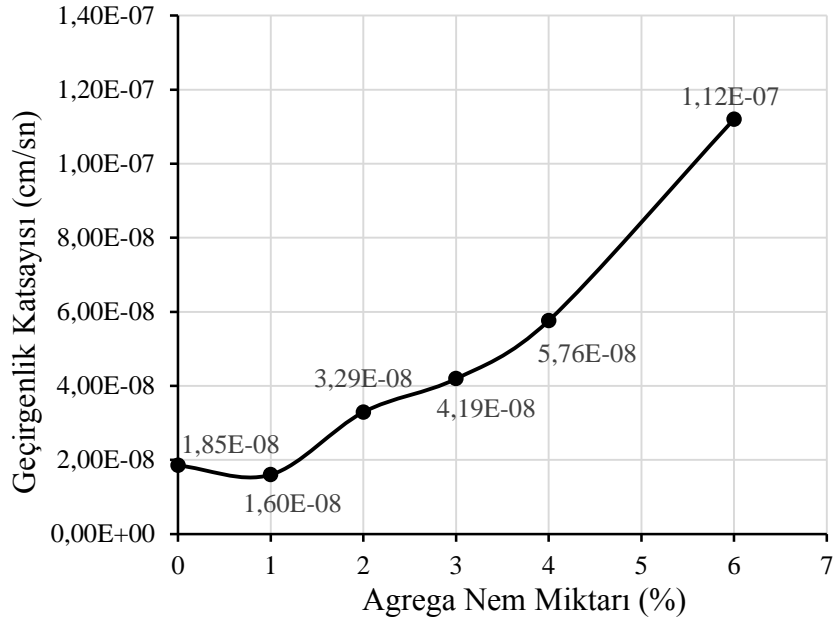
değerinin de arttığı tespit edilmiştir. Aslında bu beklenen sonuçtur. Yüksek kompasiteye sahip betonların boşluk oranı veya porozitesi minimum değerde kaldığı için su işleme derinliğinin de daha düşük olması gerekmektedir. S/Ç oranı arttıkça serbest su kaynaklı boşlukların fazlalaşması su işleme derinliğinin de artmasına neden olmaktadır. Beklenen su işleme derinliği için şartnamede henüz limit değerler belirtilmiş olmamasına rağmen uygulamada numune yüksekliğinin 1/3 ten küçük olması gerektiği tavsiye edilmektedir.

### 5.2.5 Geçirgenlik katsayısı deneyi sonuçları

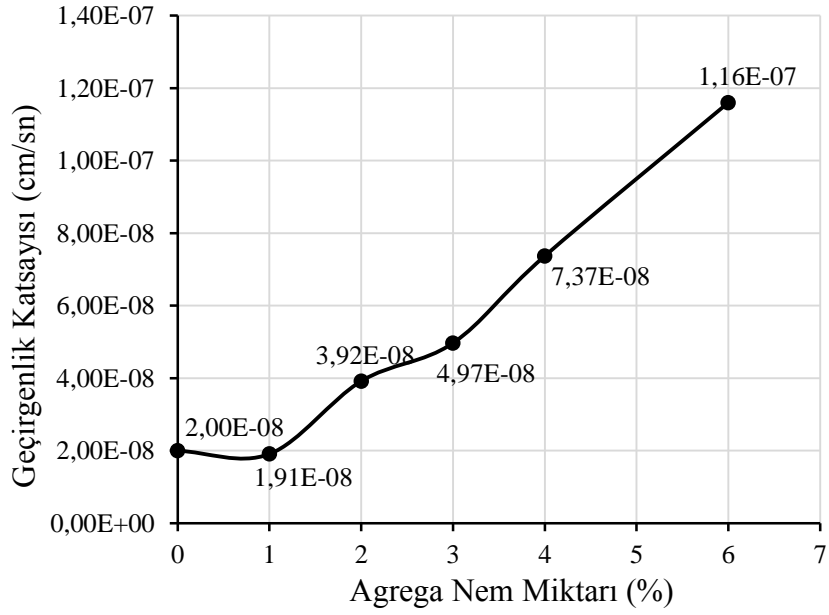
6 farklı agrega serbest nem miktarına (%0-1-2-3-4 ve 6) sahip SSB numunelerin 60 ve 90 günlük kür işlemleri sonunda, betonların geçirgenliğini değerlendirmek için zamanla nüfuz eden suyun hacmi ölçülmüştür. Önce su işleme derinliği değerleri belirlenmiştir ve daha sonra aynı numunelerin geçirimsizlik katsayısı değerleri hesaplanmış ve Çizelge 5.7 ve Şekil 5.13-5.15'te gösterilmiştir.

**Çizelge 5.7.** SSB numunelerin geçirgenlik katsayısı değerleri

Deney grubu	Agreganın nem oranı (%)	S/Ç malzeme oranı	60 günlük numunenin geçirgenlik katsayısı( $K_{60}$ ) değeri (cm/sn)	90 günlük numunenin geçirgenlik katsayısı( $K_{60}$ ) değeri (cm/sn)
G <sub>0</sub>	0	0,764	$1,85 \times 10^{-8}$	$2 \times 10^{-8}$
G <sub>1</sub>	1	0,925	$1,6 \times 10^{-8}$	$1,91 \times 10^{-8}$
G <sub>2</sub>	2	1,085	$3,29 \times 10^{-8}$	$3,92 \times 10^{-8}$
G <sub>3</sub>	3	1,245	$4,19 \times 10^{-8}$	$4,97 \times 10^{-8}$
G <sub>4</sub>	4	1,406	$5,76 \times 10^{-8}$	$7,37 \times 10^{-8}$
G <sub>6</sub>	6	1,726	$1,12 \times 10^{-7}$	$1,16 \times 10^{-7}$

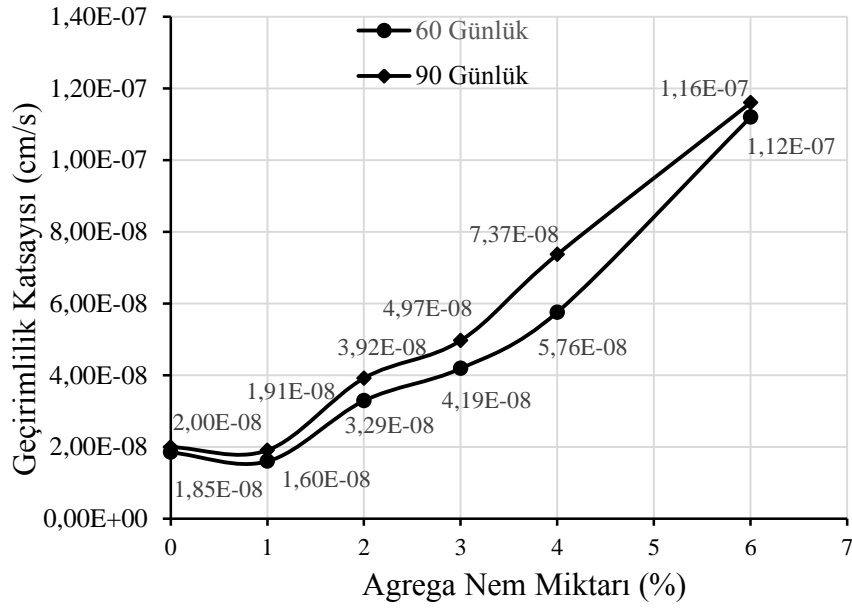


Şekil 5.13. 60 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-geçirgenlik katsayısı



Şekil 5.14. 90 günlük SSB numunenin agrega nem miktarı-geçirgenlik katsayısı





Şekil 5.15. 60 ve 90 günlük SSB numunenin geçirgenlik katsayısı

60 günlük kür işleminin sonunda elde edilen verilere göre, agrega serbest nem miktarının farklı oranlarında, betonların geçirgenlik katsayısı  $1,6 \times 10^{-8} \sim 1,12 \times 10^{-7}$  cm/s arasında olduğu hesaplanmıştır. 60 günlük numunelerin geçirgenlik katsayısı değerleri yeter görülmesine rağmen, bu çalışmada 90 gün kürlenmiş numuneler üzerinde de ölçümler yapılmıştır. %1 agrega serbest neminde olan ve maksimum gerilme değerlerine sahip numunede geçirgenlik katsayısının en düşük olduğu görülmüştür. Diğer karışımlardan elde edilen dayanım ve su emme değerleri sonuçları ile mukayese edildiğinde ise, bu değerlere paralel olarak geçirgenlik katsayısı değerinin de arttığı ve azaldığı tespit edilmiştir.

Literatürde belirtilen geçirgenlik katsayı değerleri  $1,5 \times 10^{-9} \sim 150 \times 10^{-9}$  cm/s aralığında olduğu görülmektedir. (ACI,1999; Yerralama ve Babu,2011). Bu çalışmada elde edilen geçirgenlik katsayıları ile literatür sınır aralıkları karşılaştırılmasında, %6 agrega nem oranına sahip numunelerin geçirgenlik katsayısının büyük çıkarak sınır değerlerini aştığı görülmüştür.

## BÖLÜM VI

### SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında SSB üretiminde kullanılan agregaların farklı iklim durumunda bünyesinde bulundurduğu serbest nem miktarlarının betonun mühendislik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bunun için suni olarak altı farklı nem miktarına göre (%0-1-2-3-4 ve 6) oluşturulan agrega yığınlarından numuneler üretilmiştir. Karışıma giren agrega, çimento, uçucu kül ve akışkanlaştırıcı miktarı sabit tutularak S/Ç oranı değiştirilmiştir. Aynı zamanda kül etüv kurusu durumuna getirilerek agregaların nem miktarları değiştirilmiştir. 6 farklı agrega nem miktarına göre üretilen numunelerin taze ve sertleşmiş beton özellikleri belirlenerek mühendislik performansları irdelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- 1- SSB karışımları üretildikten sonra her bir grup Vebe testine tabi tutulmuş ve beton kıvamı ölçülmüştür. Vebe testi sonuçları DSI, SSBTS'ye göre nem oranı %1 ve %2 olan agrega gruplarından üretilen taze beton kıvamının uygun, diğer oranlarda üretilen numunelerin kıvamının uygun olmadığı tespit edilmiştir.
- 2- 28 günlük kür işlemleri sonunda her bir numune grubunun su emme yüzdesi değerleri hesaplanmıştır ve %2,04 ile 4,9 aralığında olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre agrega serbest nem miktarının artmasıyla su emme yüzdesi değerlerinde de artış gözlemlenmiştir.
- 3- 28 günlük kür işlemleri sonunda her bir numune grubunun ıslak ve etüv kurusu durumunda BHA değerleri hesaplanmıştır. Islak BHA değerleri 2,48 ile 2,39 g/cm<sup>3</sup> arasında, etüv kurusu BHA değerleri ise 2,43 ile 2,31 g/cm<sup>3</sup> arasında bulunmuştur. Tüm SSB karışımlarında BHA değerleri normal beton sınıfı aralığında olduğu görülmüştür.
- 4- Numuneler 28 ve 90 günlük kür işlemleri sonunda eksenel basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Şantiyede hedeflenen 270 günlük basınç gerilme değerine, agrega nem miktarının %1 olduğu grupta 90 günde erişilmiştir. %3-6 aralığında agrega serbest nem miktarına sahip numuneler ise hedeflenen basınç gerilmesinden uzak değerler elde edilmiştir. Ayrıca serbest nem miktarı artışına paralel olarak basınç gerilmesinde azalma olduğu gözlenmiştir.

- 5- 60 ve 90 günlük kür şartları sonunda SSB numuneler yarmada çekme deneyine tabi tutulmuştur. Basınç gerilme değerlerine göre aynı eğilim göstermiş ve maksimum değer her iki kür süresinde de %1 nem içeren agrega grubu karışımlarda bulunmuştur.
- 6- 60 ve 90 günlük kür şartları sonunda SSB numunelerin su işleme derinliği ölçülmüştür. Basınç ve yarmada çekme gerilme değerlerine göre minimum ve maksimum su işleme derinliği arasında ters bir ilişki olduğu görülmüştür. En az su işleme derinliği %1 nem içeren agrega grubu karışımlarda bulunmuştur.
- 7- 60 günlük kür işleminin sonunda elde edilen verilere göre, SSB'lerin geçirgenlik katsayısı  $1,6 \times 10^{-8} \sim 1,12 \times 10^{-7}$  cm/s arasında hesaplanmıştır. 60 günlük numunelerin geçirgenlik katsayısı değerleri yeter görülmesine rağmen, 90 günlük numuneler üzerinde de hesaplanmıştır. Su işleme derinliğine paralel sonuçlar elde edilmiştir. %1 agrega serbest neminde olan numunede geçirgenlik katsayısının en düşük değerinde olduğu görülmüştür.

Bütün deneyler sonucunda elde edilen verilere göre betonun basınç dayanımı değerinin arttıkça geçirimsizlik değerinin azaldığı görülmüştür. Bu çalışmanın sonunda, agrega serbest nem miktarının %1 olduğu SSB karışımının mühendislik verilerine göre optimum değerinde olduğu gözlenmiştir.

Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda; SSB karışım hesabı yapılırken kıvamı etkileyen en önemli parametre olan S/Ç oranı sabit tutularak, beton karışımındaki agreganın serbest nem miktarının betonun mühendislik özelliklerine etkisi yanında akışkanlaştırıcı, çimento ve puzolanik aktivite gösteren malzeme oranları yer değiştirerek incelenebilir. Özellikle permeabiliteye etkileri araştırılmalıdır.

## KAYNAKLAR

Abed, Z. M. and Salih, A. A., “Effect of using light weight aggregate on properties of roller-compacted concrete”, *ACI Materials Journal Technical Paper*, Title No. 114-M45, 2018.

ACI, “Roller compacted mass concrete”, *American Concrete Institute*, Committee report 207.5R, Detroit: ACI 207.5R-99, 1999.

Aghabaglou, A. M., Uçucu küllü silindirle sıkıştırılmış betonlarda dayanıklılık, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 49-131, 2011.

Aghabaglou, A. M. and Ramyar, K., “Mechanical properties of high-volume fly ash roller compacted concrete designed by maximum density method”, *Construction and Building Materials*, 38, 356–364, 2013.

ASTM C494, “Standard specification for chemical admixtures for concrete”, *American Society for Testing and Materials*, 2018.

Atış, C. D., “Uçucu kül içeren silindirle sıkıştırılabilen betonların özellikleri”, *Türk J Engin EnvironSci*. Tubitak, 503-515, 2000.

Arslan, Ö., Doğal puzolan içeren silindirle sıkıştırılmış betonun buhar kuru uygulanarak uzun vadedeki dayanımının tahmin edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 40-71, 2006.

Banthia, N., Pigeon, M., Marchand, J. and Boisverd, J., “Permeability of roller compacted concrete”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Volume 4 Issue 1, February 1992.

Canik, B., “Mühendislik jeolojisi ders notları”, *A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları*, No:43, Ankara, 63-73, 1997.

Chanson, H., “A study of the Moeris Reservoir, the Ha-Uar dam and the canal connecting the Nile River and Lake Moeris around 2900 to BC 230, The hydraulics of open channel flow: an introduction – basic principles, sediment, motion”, *Hydraulic Modelling, Design of Hydraulic Structures*, 2004.

Çarhoğlu, A. I., Türkiye’deki mevcut kemer barajların deprem etkisindeki davranışlarının değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 2-3, 2011.

Çiçek, M., Zayıf temeller üzerine inşa edilen SSB barajların statik analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 3-21, 2007.

Demirci, İ., Silindirele sıkıştırılmış beton (SSB) barajlar, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-86, 1995.

DSİ BİTŞ, DSİ *Beton İşleri Teknik Şartnamesi*, Ankara, 2018.

DSİ DBTR, *DSİ Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi 1. Barajlar Kongresi*, Ankara, 1-105, Ekim 2012.

DSİ SSBTŞ, DSİ *Silindirele Sıkıştırılmış Beton ( SSB ) İnşaat Teknik Şartnamesi*, Ankara, 2014.

DSİ, DSİ Haberler, “DSİ Kars Karakurt Barajı ve HES İnşaatı”, <http://www.dsi.gov.tr/haberler/2018/10/17/kars-karakurt-baraj%C4%B1-ve-hes-in-n%C5%9Faat%C4%B1nda-i-ncelemede-bulunuldu>, 17 Ekim 2018.

Dunstan, M. and associates, “Specialists in roller compacted concrete dams”, <http://www.rccdams.co.uk>, Mayıs 2019.

Gauthier, P. and Marchand, J., “Design and construction of roller compacted concrete in Quebec”, *The Cement Association of Canada (CAC)*, Canada, 111p., 2005.

Gedik, N., “Barajlar”, Su yapıları ders notu, <http://insaat.balikesir.edu.tr/dokumanlar/suyapilari/barajlar.pdf>, Balıkesir, 1-31, 2012.

Hazaree, C., Wang, K., Ceylan, H., and Gopalakrishnan, K., “Capillary transport in RCC: water-to-cement ratio, strength, and freeze-thaw resistance”, *Journal Of Materials In Civil Engineering ASCE*, 1181, 2011.

Horzum, U. S., Silindirle sıkıştırılmış betonun basınç dayanımının hızlandırılmış deney yöntemleri kullanılarak belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 15-122, 2009.

ICOLD, International comission on large dam, [https://www.icold-cigb.org/GB/dams/role\\_of\\_dams.asp](https://www.icold-cigb.org/GB/dams/role_of_dams.asp), 17 Mayıs 2019.

Jansen R. B., “Dams from the beginning, dam sand public safety”, *U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation*, 1-57, 1980.

Karakurt, C. ve Pektaş, M. R., ”Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkılı silindirle sıkıştırılmış betonların özellikleri”, *Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt: 2, Sayı:2, ISSN: 2458-7575,1-6, 2015.

Li, M., Zhang, M., Hu, Y. and Zhang, J., “Mechanical properties investigation of high-fluidity impermeable and anti-cracking concrete in high roller-compacted concrete dams”, *Construction and Building Materials*, 156, 861–870, 2017.

Mays L.W., “A very brief history of hydraulic technology during antiquity”, *Environ Fluid Mech*, 8: 471-484, 2008.

Mehmannavaz, T., Sumadi, S.R., Bhutta, M. A. R., Khorrom, V. K. and Sajjadi, S. M., “Permeability of the roller compacted concrete: A aase study of Zirdan Dam of Iran, *Conference APSEC-ICCER* , At Surabaya, Indonesia, 474-480, 2012.

MGM, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, “Dünyada su”, <https://www.mgm.gov.tr/genel/hidrometeoroloji.aspx?s=3>, 1 Temmuz 2019.

Niş, A., “Mineral katkılı betonların kimyasal durabilitesinin toplam bağlayıcı miktarı ve eşdeğer su/çimento parametreleriyle beraber incelenmesi”, *BAUN Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 459-473, 2019.

Orhon, M., “Baraj tipleri ve yapım kriterleri”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 391, 12-16, Ekim 1997.

Özçifçi, Z. M., “Silindirle sıkıştırılmış beton barajlar”, <https://www.zulfumehmet.com/silindirle-sikistirilmis-beton-barajlar/>, 2017.

Öztürk, A. ve Yıldız, D., “Silindirle sıkıştırılmış beton baraj teknolojisi ve Türkiye’deki uygulamaları”, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye Mühendislik Haberleri*, No. 393, p. 39-46, 1998.

Pavan, S. and Rao S. K., “Effect of flyash on strength characteristics of roller compacted concrete pavement”, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, e-ISSN: 2278-1684,p-ISSN: 2320-334X, Volume 11, Issue 6 Ver. II, PP 04-08, 2014.

Polat, H., “Farklı çimento tipinin silindirle sıkıştırılmış betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılması”, *BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 75-81, 2018.

Raja, K. H., Sajja, S. and Prakash, K. S., “Experimental investigation of roller compacted concrete within dustrial wastes”, *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, ISSN: 2277-3878, Volume-7, Issue-6C2, April 2019.

Selvi, M., “Dolgu barajlarda tasarıma yönelik analizler, kil çekirdekli barajlar, asfalt çekirdekli barajlar”, *DSİ Dolgu Barajlar Tasarım İlkeleri Rehberi 1. Barajlar Kongresi*, Ankara, 1-55, 2012.

Shafigh, P., Haşimi, M., Nam, B. H. and Koting, S. H., “Optimum moisture content in roller-compacted concrete pavement”, *International Journal of Pavement Engineering*, ISSN: 1029-843631, 1-11, Jan 2019.

Sürmeli, A. S., Silindirle sıkıştırılmış beton ağırlık barajlar ve bunların ağırlık beton barajlarla karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-3, 2002.

Şengün, E., Alam, B., Sevin, H. L., Aytaç, A. H. ve Yaman, İ. O., “Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) yolların saha ve laboratuvar mekanik performansının karşılaştırılması”, *Hazır Beton Kongresi*, İstanbul, 1-11 2017.

Şengün, E., Shabani, R., Alam, B. ve Yaman, İ. Ö., “Priz geciktirici ve akışkanlaştırıcı katkıların taze ve sertleşmiş silindirle sıkıştırılmış beton özelliklerine etkisi”, *Uluslararası 10. Beton Kongresi*, Bursa, 437-445, 2019.

Taşdemir, M. M., Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) baraj gövdeleri içerisinde geçen kondüvi sistemlerinin tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-9, 2014.

Topçu, İ. B. ve Canbaz, M., “Uçucu kül kullanımının betondaki etkileri”, *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, C.XIV, S.2, 12-20, 2001.

TS 3455, Betonda Geçirgenlik Katsayısı Tayin Yöntemi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2013.

TS EN 12350-3, Taze Beton Deneyleri – Bölüm 3: Vebe deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010.

TS EN 12390-3, Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010.

TS EN 12390-6, Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010.

TS EN 12390-8, Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 8: Basınç altında su işleme derinliğinin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010.



TS EN 197-1, Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2012.

Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F. ve Yeğınobalı, A., “Türkiye’deki uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri”, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, 10-16, 2009.

USBR, “Design and Construction Considerations for Hydraulic structures–Roller compacted concrete, Second edition, *US Department of the Interior Bureau of Reclamation*, 10-14, 2017.

USACE, “Roller compacted concrete”, EM 1110-2-2006. *US Army Corps Engineers*, 1-5, 2000.

Ünsal, V., “Eskiçağda Anadolu su kaynakları (Orta ve Doğu Anadolu)”, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 28, 210-224, 2012.

Üte, A. A., Uçucu kül ve polipropilen lif kullanımının silindirle sıkıştırılmış betonun özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 7-183, 2008.

Yaman, İ. Ö. ve Ceylan, H., “Silindirle sıkıştırılmış beton yollar” , *Hazır Beton Kongresi*, 69-82, 2013.

Yenil, H. Ü., Zir deresi ekolojik iyileştirme ve peyzaj yönetim modeli, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-2, 2010.

Yenigün, K. ve Yüzgöl, F., “Baraj güvenliği açısından tip seçimi: ÖYBK barajlarda etken faktörler ve Ilısu barajı örneği”, *3. Bursa Uluslar Arası Su Kongresi ve Sergisi*, Bursa, 555-574, 2013.

Yerramala, A. and Babu, K. G., “Transport properties of high volume fly ash roller compacted concrete”, *Cement & Concrete Composites*, 33, 1057–1062, 2011.

Yılmaz, A., “Küresel ısınmanın dünya su rezervleri üzerindeki etkileri”, ***Kent Kültürü ve Yönetimi Hakemli Elektronik Dergi***, Cilt:8 Sayı:2, 63-72, 2015.

ZMO, Ziraat Mühendisleri Odası, “Su ürünleri raporu”, [http://www.zmo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=27302&tipi=17&sube=0](http://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=27302&tipi=17&sube=0), 1 Şubat 2018.



## ÖZ GEÇMİŞ

Kadir KOÇYİĞİT 10.06.1989 tarihinde Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Ankara’da tamamladı. 2008–2012 yılları arasında Niğde Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini tamamladı. 2014 yılında Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2013 yılından itibaren yapı denetim firmasında kontrol mühendisi, üst yapı şantiyesinde saha mühendisi, baraj şantiyesinde saha mühendisi ve TOKİ şantiyesinde müşavir firma bünyesinde kontrol mühendisi olmak üzere çeşitli yerlerde çalışmıştır.



