

**ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILABİLEN YOL BETONLARININ  
KALICILIK ÖZELLİKLERİ**

**Mustafa Resul PEKTAŞ  
Yüksek Lisans**

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

**BİLECİK, 2015**

**Ref.No: 10091275**



**ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**

**BİLECİK ŞEYH  
EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimler Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILABİLEN YOL BETONLARININ  
KALICILIK ÖZELLİKLERİ**

**Mustafa Resul PEKTAŞ  
Yüksek Lisans Tezi**

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

**BİLECİK, 2015  
Ref. No: 10091275**



**ANADOLU UNIVERSITY**

**BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
UNIVERSITY**

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

**DURABILITY PROPERTIES OF ROLLER COMPACTED  
CONCRETE PAVEMENT**

**Mustafa Resul PEKTAŞ  
Master's Thesis**

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

**BİLECİK, 2015**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS**

**JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 25.6.2015 tarih ve 23 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 7.10.2015 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mustafa Resul PEKTAŞ'ın "Silindirle Sıkıştırılabilen Yol Betonlarının Kalıcılık Özellikleri" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

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

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Mehmet CANBAZ

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Kıvanç TAŞKIN

ANABİLİM DALI BAŞKANI: Yrd. Doç. Dr. Cenk KARAKURT

**ONAY**

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

İMZA/ MÜHÜR

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca her türlü konuda ve en zor durumlarda da desteğini, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Cenk KARAKURT'a,

Çalışma süresi boyunca bilgi ve tecrübe paylaşımlarından dolayı değerli hocam Doç. Dr. Altan ÇETİN'e,

Laboratuvar çalışmalarında her türlü konuda yardımcı olan Uzman Turgut Kaya ve Uzman Hüseyin Temel'e,

Gerek deneylerde, gerek deney öncesi ve sonrası çalışmalarında bana yardım eden çok değerli arkadaşlarım Fazıl GÖKALP, Abdullah KIRILMAZ, Uğur DOğRU Mustafa YILMAZ, Said Can YILMAZ, Ayhan YILMAZ, Ramazan ÇELİK, Serhat KOÇ ve İbrahim SARIOğLU'na,

Bu çalışmanın malzeme temininde desteklerini esirgemeyen SANÇİM Çimento Fabrikası, Bilecik Çimsa Beton santrali ve DAĞ-İŞ Madencilik yetkililerine,

Gerek yüksek lisans eğitimi içerisine gerek hayatın her safhasında tecrübe, manevi ve fikri en güzel ve istikametli yardımlarından dolayı Biyolog Battal KEÇELİ ve Maliye Uzmanı Saim GÖKDAĞ'a,

Hayatım boyunca her türlü maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen, her zaman yanımda olup yardım eden ve şefkatlerini her daim gördüğüm Ailem'in her bir ferdine en samimi duygu, hissiyat ve dileklerle teşekkür ederim.

**Mustafa Resul PEKTAŞ**

**Ekim, 2015**

## ÖZET

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB), kuru kıvamlı bir beton olup ismini uygulama sırasında titreşimli silindirlerle sıkıştırılmasından almaktadır. SSB'deki çimento hamurunun azlığı daha az büzülme ve buna bağlı gerilmelerin de azalmasına sebep olmaktadır. SSB, Rijit yol üstyapıları ve barajlar başta olmak üzere birçok alanda uygulanmaktadır. SSB yol ömrü boyunca bakım ve onarım masrafları bakımından ekonomik olması, sürüş güvenliği sağlaması, bitümlü kaplamaya göre daha az tekerlek yuvarlanma direnci olması ve geleneksel beton kaplamalara göre daha hızlı trafiğe açılması gibi birçok üstünlükleri vardır.

Yapılan çalışmada endüstriyel birer atık olan uçucu kül (UK) ve yüksek fırın cürufu (YFC), SSB'de mineral katkı olarak kullanılmaktadır. Böylece atık ürün olan bu malzemelerin SSB'de kullanılmasıyla doğanın kirletilmesi azaltılabilecektir. UK ve YFC kullanımı SSB'nin özelliklerini iyileştirmekle beraber, ekonomik olarak da olumlu etkisi olmaktadır. Üretilen SSB'lerde taze ve sertleşmiş beton deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca kalıcılık özellikleri aşınma direnci, donma-çözülme direnci ve buz çözücü tuz etkisi deneyleri ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan UK ve YFC kullanımının SSB özellikleri üzerinde olumlu etkileri olduğu görülmüştür. Böylece UK ve YFC'nin SSB üretiminde kullanılabileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Silindirle sıkıştırılmış beton, Uçucu kül, Yüksek fırın cürufu, Dayanım, Kalıcılık

## ABSTRACT

Roller Compacted Concrete (RCC) is a dry consistency concrete and named as due to the compaction process with vibration during application. The lowered cement paste content in RCC mixture causes a reduction in the stresses depending on the reduced shrinkage. The RCC can be applied on various and major ones are rigid road pavements and dams. It has lots of benefits as economy, driving safety, fuel and lighting cost reduction and rapid service usage when compared with traditional concrete pavements. RCC has lots of advantages such as repair costs during the service life, supporting the driving safety, lower tire resistance and rapid traffic opening after placing than traditional concrete pavements.

In this study industrial wastes fly ash (FA) and ground granulated blast furnace slag (GBFS) were used as mineral additive in RCC mixtures. Thus, the environmental pollution can be reduced by utilization of these waste materials in RCC production. Although, utilization of FA and GBFS in RCC mixture improves the properties and gains economic benefits. The fresh and hardened concrete tests were carried out on produced RCC specimens. In addition the durability properties were determined by abrasion resistance, freeze-thaw resistance and de-icing salt effect tests. According to test results it was seen that usage of FA and GBFS has beneficial effects on RCC properties. Thus, it can be said that FA and GBFS can be used for RCC production.

**Keywords:** Roller compacted concrete (RCC), Fly ash, Ground granulated blast furnace slag, Strength, Durability

**İÇİNDEKİLER**

Sayfa No

<b>JÜRİ ONAY SAYFASI</b>	
<b>TEŞEKKÜR</b>	
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>SİMGE VE KISALTMALAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Amaç .....	2
1.2. Kapsam .....	2
<b>2. SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILABİLEN BETON KAPLAMALAR</b> .....	<b>4</b>
2.1. SSB'nin Tarihçesi ve Uygulama Alanları .....	4
2.2. SSB'nin Olumlu ve Olumsuz Yönleri .....	10
2.2.1. SSB'nin olumlu yönleri.....	10
2.2.2. SSB'nin olumsuz yönleri .....	11
2.3. Karışım Oranları Belirleme Yöntemleri .....	12
2.3.1. En uygun hamur hacmi yöntemi .....	12
2.3.2. Katı askı modeli .....	13
2.3.3. Zemin sıkıştırma yöntemi .....	13
2.3.4. Beton kıvam test yöntemi .....	15
2.4. SSB'de Kullanılan Malzemeler .....	16
2.4.1. Agrega .....	16
2.4.2. Çimento .....	19

2.4.3. Su.....	20
2.4.4. Katkı maddeleri.....	20
2.4.4.1. Uçucu kül .....	20
2.4.4.2. Granüle yüksek fırın cürufu .....	23
2.4.4.3. Silis dumanı.....	23
2.4.4.4. Kimyasal katkılar .....	24
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMA .....</b>	<b>26</b>
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	26
3.1.1. Agregası .....	26
3.1.2. Çimento .....	26
3.1.3. Su .....	26
3.1.4. Mineral katkıları .....	26
3.2. Yöntem .....	27
3.2.1. Numune hazırlanması .....	27
3.3. Elek analizi deneyi .....	31
3.4. Sıkıştırma faktörü deneyi .....	32
3.5. Ve-Be deneyi .....	33
3.6. Tek eksenli basınç deneyi .....	34
3.7. Silindir yarma deneyi .....	34
3.8. Eğilme deneyi .....	35
3.9. Ultrases hız ölçüm deneyi .....	37
3.10. Aşınma deneyi.....	38
3.11. Donma-Çözülme deneyi.....	39

3.12. Buz çözücü tuzların etkisi (CDF) deneyi .....	40
3.13. Su emme deneyi .....	42
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI .....</b>	<b>43</b>
4.1. En Uygun Su Muhtevası Sonuçları .....	43
4.2. İşlenebilirlik Deney Sonuçları .....	46
4.3. BHA ve Su Emme Sonuçları .....	47
4.4. Basınç Dayanımı Sonuçları .....	48
4.5. Silindir Yarma Deneyi Sonuçları .....	50
4.6. Eğilme Dayanım Sonuçları .....	52
4.7. Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları .....	55
4.8. Aşınma Direnci Deney Sonuçları .....	57
4.9. Donma-Çözülme Deney Sonuçları .....	58
4.9. CDF Deneyi Sonuçları .....	59
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>61</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>63</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>69</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Çizelge 2.1:</b> SSB ve normal beton kaplama malzemeleri .....	16
<b>Çizelge 2.2:</b> Agregata tane dağılımı limitleri.....	17
<b>Çizelge 2.3:</b> Uçucu küllerin fiziksel özellikleri.....	21
<b>Çizelge 2.4:</b> ASTM C 618'e göre uçucu küllerin sınıflandırılması.....	21
<b>Çizelge 2.5:</b> Türkiye'deki bazı uçucu küllerin kompozisyonları .....	22
<b>Çizelge 2.6:</b> Türkiye'deki bazı uçucu küllerin kimyasal kompozisyonları.....	24
<b>Çizelge 3.1:</b> CEM I 42,5 R çimentosunun özellikleri.....	26
<b>Çizelge 3.2:</b> Deneyde kullanılan uçucu külün özellikleri.....	27
<b>Çizelge 3.3:</b> SSB numunelerin adlandırılması.....	28
<b>Çizelge 3.4:</b> SSB karışımları için su miktarları.....	30
<b>Çizelge 3.5:</b> 1 m <sup>3</sup> SSB üretiminde kullanılan malzeme miktarları.....	31
<b>Çizelge 4.1:</b> SSB işlenebilirlik deney sonuçları .....	46
<b>Çizelge 4.2:</b> SSB su emme ve BHA deney sonuçları.....	47
<b>Çizelge 4.3:</b> Ultrases hızıyla beton kalitesi değerlendirme kriterleri.....	55

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa No</b>
<b>Şekil 2.1:</b> Willow Creek Barajı.....	5
<b>Şekil 2.2:</b> Karakaya Barajı.....	5
<b>Şekil 2.3:</b> Çine Adnan Menderes Barajı.....	6
<b>Şekil 2.4:</b> SSB Yöntemi ile yapılan bir yol.....	8
<b>Şekil 2.5:</b> İskele, liman, nakliye alanlarında, fabrika içi yollarda, depo ve park alanlarında SSB uygulaması.....	8
<b>Şekil 2.6:</b> Tren istasyonunda SSB uygulaması.....	8
<b>Şekil 2.7:</b> Antalya'daki SSB uygulaması.....	9
<b>Şekil 2.8:</b> Denizli'deki SSB uygulaması.....	9
<b>Şekil 2.9:</b> Denizli Belediyesi yol üstyapı karşılaştırması.....	10
<b>Şekil 2.10:</b> Sıkıştırma enerjisi etkisi.....	14
<b>Şekil 2.11:</b> SSB için optimum harç parametreleri.....	15
<b>Şekil 2.12:</b> Silis dumanının mikro yapısı .....	24
<b>Şekil 3.1:</b> Çalışmada kullanılan UK ve YFC.....	27
<b>Şekil 3.2:</b> Titreşimle sıkıştırılmış numune, kalıp ile plaka arasındaki harç oluşumu.....	29
<b>Şekil 3.3:</b> Titreşimli tokmakla numune hazırlanması.....	29
<b>Şekil 3.4:</b> Numune tartımı ve etüv.....	30
<b>Şekil 3.5:</b> Prizmatik kalıplara SSB numune yerleştirilmesi.....	31
<b>Şekil 3.6:</b> Granülometri için kullanılan elekler.....	31
<b>Şekil 3.7:</b> Sıkıştırma faktörü deney düzeneği.....	32
<b>Şekil 3.8:</b> Ve-Be deneyi düzeneği.....	33
<b>Şekil 3.9:</b> Basınç test cihazı .....	34
<b>Şekil 3.10:</b> Silindir numunelere uygulanan alçı başlıklar.....	34
<b>Şekil 3.11:</b> Silindir yarma deneyi.....	35
<b>Şekil 3.12:</b> Kiriş numune hazırlanması.....	36
<b>Şekil 3.13:</b> Eğilme deneyi.....	36
<b>Şekil 3.14:</b> Ultrases deneyinin yapılışı.....	37
<b>Şekil 3.15:</b> Böhme aşınma deneyinin yapılışı .....	38
<b>Şekil 3.16:</b> Donma-çözünme deney dolabı.....	39

<b>Şekil 3.17:</b>	CDF deney numunelerine epoksi uygulanması.....	40
<b>Şekil 3.18:</b>	Tuzlu su çözeltisindeki numuneler .....	41
<b>Şekil 3.19:</b>	Ultrasonik banyo.....	41
<b>Şekil 4.1:</b>	Kontrol betonu en büyük BHA en uygun su muhtevası ilişkisi .....	43
<b>Şekil 4.2:</b>	UK 10 betonu en büyük BHA en uygun su muhtevası ilişkisi.....	43
<b>Şekil 4.3:</b>	UK 20 betonu en büyük BHA en uygun su muhtevası ilişkisi.....	44
<b>Şekil 4.4:</b>	UK 30 betonu en büyük BHA en uygun su muhtevası ilişkisi.....	44
<b>Şekil 4.5:</b>	YFC 10 betonu en büyük BHA en uygun su muhtevası ilişkisi.....	45
<b>Şekil 4.6:</b>	YFC 20 betonu en büyük BHA en uygun su muhtevası ilişkisi.....	45
<b>Şekil 4.7:</b>	YFC 30 betonu en büyük BHA en uygun su muhtevası ilişkisi.....	46
<b>Şekil 4.8:</b>	7 günlük SSB basınç dayanımları .....	48
<b>Şekil 4.9:</b>	28 günlük SSB basınç dayanımları .....	49
<b>Şekil 4.10:</b>	90 günlük SSB basınç dayanımları .....	49
<b>Şekil 4.11:</b>	7 günlük SSB yarma dayanımları .....	51
<b>Şekil 4.12:</b>	28 günlük SSB silindir yarma dayanımları .....	51
<b>Şekil 4.13:</b>	90 günlük SSB silindir yarma dayanımları .....	52
<b>Şekil 4.14:</b>	7 günlük SSB eğilme dayanımları.....	53
<b>Şekil 4.15:</b>	28 günlük SSB eğilme dayanımları.....	54
<b>Şekil 4.16:</b>	90 günlük SSB eğilme dayanımları.....	54
<b>Şekil 4.17:</b>	7 günlük kiriş ve silindir ultrases değerleri.....	55
<b>Şekil 4.18:</b>	28 günlük kiriş ve silindir ultrases değerleri.....	56
<b>Şekil 4.19:</b>	90 günlük kiriş ve silindir ultrases değerleri.....	56
<b>Şekil 4.20:</b>	Hacimsel aşınma oranları.....	57
<b>Şekil 4.21:</b>	Ağırlıkça aşınma oranları.....	58
<b>Şekil 4.22:</b>	Donma-Çözülme ağırlık kayıpları grafiği.....	59

<b>Şekil 4.23:</b>	Donma-Çözülme dayanım kayıpları grafiği.....	59
<b>Şekil 4.24:</b>	CDF deney sonuçları.....	60

**SİMGE VE KISALTMALAR**

ACI	: American Concrete Institute
ASTM	: American Society for Testing Materials
BHA	: Birim Hacim Ağırlık
CAC	: Cement Association of Canada
CDF	: Test Method For The Freeze-Thaw Resistance Of Concrete-Tests With Sodım Chloride Solution
HES	: Hidro-Elektrik Santral
kN	: KiloNewton
MPa	: MegaPascal
NaCl	: Sodyum klorür
PCA	: Portland Cement Association
SSB	: Silindirle Sıkıştırılmış Beton
TS EN	: Türk Standartları Enstitüsü
UK	: Uçucu Kül
USACE	: US Army Corps of Engineers
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu

## 1. GİRİŞ

Bir ülkenin ulaşım ağının seviyesi ve kalitesi, aynı zamanda o ülkenin gelişmişliği hakkında da fikir vermektedir. Ülkemizde her geçen gün trafik hacmi artmakta, mevcut ulaşım ağında hem önemli problemler oluşmakta hem de artan trafik ihtiyacına cevap verememektedir. Bunun bir sonucu olarak da ulaşım ağının genişletilmesi ve artan trafik hacmine cevap verecek performansa sahip olacak şekilde geliştirilmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Ekonomik yönden bakıldığında yolların bakımı ve yenilenmesini kapsayan tüm bakım masrafları karayolu ulaşımında en önemli giderlerden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla yapılacak olan yolların yapısal olarak ve yüzey özellikleri bakımından ömrünün uzun olması, yapılacak masrafların da azalmasını sağlayacaktır. Yapılan yolların servis ömrünün uzun olmasında, yolun tasarımı ve kontrolü önem taşımaktadır (Karpuz, 2008).

Ülkemizde son yıllarda oluşan bu gereksinime cevap verecek karayolu ve demiryolu ulaşımında ciddi anlamda yatırımlar yapılmıştır. Ortaya çıkan bu ihtiyaçlara ve yapılan bu çalışmalara, ekonomik ve uzun ömürlü olması ile SSB yol kullanımının tercih edilmesi iyi bir çözüm olacaktır. Ülkemizin kendi kaynaklarına bakıldığında, ekonomik, kaliteli olması, güvenlik, sürüş konforu gibi kriterler göz önüne alındığında SSB yol kullanımının gerekliliği karşımıza çıkmaktadır. SSB yol yapımında, özel bir donanım ihtiyacı olmayıp bitümlü asfalt kaplamalarda kullanılan ekipmanla uygulanabilmektedir. Bununla birlikte; yapım kolaylığı, işçi sayısının azalması, yüksek üretim hızı ve bunlara bağlı olarak da maliyetinin düşmesi SSB yol kullanımında önemli tercih sebepleri olmaktadır. Son yıllarda ülkemizde rijit üst yapıyı kullanımı artmakta olup, bazı yerel yönetimler tarafından SSB yol uygulaması tercih edilmeye başlanmıştır. SSB, su muhtevası normal betona göre çok az ve neredeyse sıfır çökme değerine sahip kuru kıvamlı bir betondur. Adını uygulama sırasında taze betonun silindirle sıkıştırılmasından almaktadır. Taze halde iken zemin dolgu malzemesini andıran SSB, sıkıştırılıp katılaştığında ise normal beton davranışını sergilemektedir.

Yol yapımında kullanılacak malzemelerde aranan özelliklerden birisi, istenen proje şartlarına ekonomik olarak da çözüm getirmesidir. Bununla birlikte uzun ömrü,

düşük bakım onarım masrafları, yapım süresinin kısalığı, çevresel etkisi ve atık malzemelerin kullanılması gibi özellikler de dikkate alınmalıdır (Arslan, 2007).

SSB, baraj yapımı ve rijit üst yapı kaplamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların dışında da farklı alanlarda çok yaygın kullanım alanlarına sahip olan SSB, normal yollar, otoyolların temel ve kaplama tabakaları, malzeme stok alanları, fabrika içi yollar, depo alanları, havaalanı pist ve ulaştırma yolları, ağır trafikle yüklü yollar ve geçici servis yollarında da uygulanmaktadır (Atiş, 2001). SSB'nin tercih nedenleri arasında düşük maliyet, dayanıklılık, hızlı yapım tekniği gibi hususları sayabiliriz. Yol kaplaması uygulamalarında genellikle düşük hızlı ve ağır trafiğe sahip yol kesimlerinde, havaalanı pisti ve taksi yolları gibi dayanım, dayanıklılık ve ekonominin önem taşıdığı yerlerde kullanılmaktadır (Ağar ve Taşdemir, 2007).

### **1.1. Amaç**

Bu çalışmada uçucu kül ve granüle yüksek fırın cürufu kullanımının SSB kaplamaların özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. İlk olarak tüm karışımların geoteknik yöntemle maksimum kuru birim ağırlığa karşılık gelen en uygun su muhtevaları belirlenmiştir. Daha sonra kontrol, çimento yerine % 10-20-30 oranında uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ikame edilerek 150x300 mm boyutlarında silindir ve 100x100x500 mm boyutlarında dikdörtgen prizması şeklinde 7 farklı karışımda SSB üretilmiştir. Üretilen bu numuneler üzerinde tek eksenli basınç deneyi, silindir yarma deneyi, eğilme deneyi, Ve-Be deneyi, sıkıştırma faktörü deneyi, ultrases geçiş hızı deneyi, aşınma deneyi, donma-çözülme deneyi ve buz çözücü tuzların etkisi deneyleri uygulanmıştır. Karışımlarda çimento yerine farklı oranlarda uçucu kül ve granüle yüksek fırın cürufu ikame edilmesiyle, bunların SSB üzerindeki etkileri ve uygun kullanım oranları belirlenmiştir. Böylece farklı mineral katkıların SSB yol performansı üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

### **1.2. Kapsam**

Yapılan bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde giriş, çalışmanın amacı ve kapsamı anlatılmıştır.

İkinci bölümde ise SSB'nin tarihçesi, kullanım alanları, olumlu ve olumsuz yönleri anlatılmıştır. Ayrıca SSB karışım oranlarının hesaplanması ve SSB karışımında kullanılan malzemeler hakkında bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde SSB üzerinde yapılan taze ve sertleşmiş beton deneyleri ve kalıcılık deneyleri hakkında bilgi verilmiştir. SSB numuneler üzerinde yapılan deneylerin uygulanışları ve amaçları anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde ise SSB numunelerinde çimento yerine farklı oranlarda katılan U.K ve Y.F.C mineral katkılarının SSB numuneleri üzerindeki sonuçları verilmiştir. Her bir deneyde kullanılan mineral katkıların SSB numuneleri üzerinde gösterdiği etkiler incelenmiştir.

Beşinci bölümde SSB numunelerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, bulgular ifade edilmiş ve ileride bu alanda yapılabilecek çalışmalara uygun önerilerde bulunulmuştur.

## 2. SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILABİLEN BETON KAPLAMALAR

### 2.1. SSB'nin Tarihçesi ve Uygulama Alanları

SSB kavramı ilk defa 2. Dünya Savaşı öncesinde ortaya atılmıştır. O zamanlar, havaalanları ve otoyolların alt temel tabakalarında kullanılmıştır. SSB kaplama olarak ilk kez 1942 yılında Amerikan ordusuna bağlı istihkam mühendisleri birliği (U.S. Army Corps of Engineers) tarafından Washington'da bir uçak pistinde kullanılmıştır. 2. Dünya Savaşı sonrasında Avrupa'nın yeniden ve en hızlı şekilde yapılandırma ihtiyacının ortaya çıkması, baraj, liman, karayolu ve havaalanları inşası ihtiyacına cevap verecek hızlı yapım yöntemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır (Ağırlioğlu, 2005).

1970'li yıllarda petrol krizi nedeniyle bitümlü bağlayıcı fiyatlarının yükselmesi, SSB kaplamaların gündeme gelmesini sağlamıştır. SSB kaplamaların bilinen ilk modern örneği 1970 yılında İspanya'da, düşük hacimli trafiğe sahip olan bir yolda uygulanmıştır. Ağır taşıt trafiğini taşıyan diğer bir SSB kaplama uygulaması da 1976 yılında Kanada'da yapılmıştır (Topçu, 2006). 1984 yılında Fort Leviste tanklar için yapılan test yolu, United States Army Corps of Engineers (USACE) tarafından yapılan ilk SSB yol kaplamasıdır (Andriolo, 1998; Piggott, 1999). 1999 yılında Quebec Montreal'de ilk SSB yol kaplaması yapılmıştır. Bu yolun üzeri asfalt ile kaplanmıştır. (Gauthier and Marchand, 2005).

Petrol krizi sonucu yol betonu ile ilgilenen kuruluşlar, bir taraftan bitümlü bağlayıcılarda tasarruf sağlamak için yeni yöntemlere yönelirken, diğer taraftan malzeme için geliştirilen yatırımları en aza indirmeye çalışmışlardır. Bu düşünce ile 1975'te Fransa'da elde mevcut olan ve bitümlü kaplama üretimi için kullanılan makine parkı ile çimento beton kaplamaların üretim olanakları aranmaya başlanmış ve betonpact adı verilen beton türü geliştirilmiştir. Makine parkındaki donanımların yeni tekniğe uyarlanması için kuru yoğun betonda, tane dağılımı dozaj, katkı maddeleri ve su/çimento oranları hakkında araştırmalar yapılmıştır. Sonuçta süreksiz tane dağılımı, kırılmış agrega, priz geciktirici (mümkün olduğunda akışkanlaştırıcı) katkı maddeleri, 330 kg dozajlı NPC 32.5 çimentosu ve düşük su/çimento oranı kullanımıyla güvenli bir beton yol karışımı elde edilebileceği gösterilmiştir (Ağar vd., 1998). SSB yol yapımı dışında baraj yapımında da uygulama alanı bulmuştur. Buna örnek olarak tamamı SSB

tekniki ile inşa edilen ilk baraj Şekil 2.1’de gösterilen ABD’nin Willow Creek Barajı olmuştur (Edis, 2007).



Şekil 2.1. Willow Creek Barajı (Edis, 2007).

Ülkemizdeki ilk SSB uygulaması 1980’li yılların başlarında Şekil 2.2’de gösterilen Karakaya Barajı mansap batardosunda yapılmıştır. Baraj, kaya dolgu barajı olarak planlanmış fakat kış mevsimi ve süre problemi nedenlerinden dolayı SSB yöntemi tercih edilmiştir. Geçirgenliği azaltmak için SSB’nin mansap tarafına kil tabakası ve filtre tabakası yerleştirilmiştir. Daha sonra Atatürk Barajı, Sır ve Berke Barajlarının bazı kısımlarında kullanılmıştır. (Baradan vd., 2012). Atatürk barajında kullanılan yaklaşık SSB miktarı  $145.000\text{m}^3$ ’tür (Sürmeli, A.S., 2002).



Şekil 2.2. Karakaya barajı (Aghabaglou, 2011).

SSB; hızlı inşa edilebilir, sağlam ve devamlı bir beton olarak kullanıldığı baraj inşaatı teknolojisinden uyarlanmıştır. 1985 senesinden 1990’lı yılların sonuna dek geçen zamanda SSB kullanılarak inşa edilen veya edilmekte olan 15 m’den yüksek baraj sayısı 7’den 160’a yükselmiştir. Günümüzde baraj inşasında SSB dünyada kabul edilir bir

yöntem olmuştur. Bu yöntemi en çok uygulayan ülkeler Japonya, ABD, Brezilya ve İngiltere'dir (Çetin, 2009).

1980'den sonra Fransa, Almanya, Norveç, İsveç, Finlandiya, Danimarka, Avusturya, Arjantin ve Japonya gibi ülkelerin her birinde 100.000 m<sup>2</sup>'den fazla SSB kaplamalı yol inşa edilirken, Şili, Uruguay, Meksika, Kolombiya, Ekvator ve Güne Afrika gibi ülkelerde çok az veya deneme yolu olarak kullanılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde SSB kaplamalı yol uygulaması 2011 yılına kadar 12.000.000 m<sup>2</sup>'yi geçmiştir. Otoyollardaki 1.500.000 m<sup>2</sup> SSB kaplamalı yol üzerine, yüzey düzgünlüğü için beton asfalt aşınma tabakası serilmiştir. Geriye kalan SSB kaplamalı yollar, ikinci sınıf yol, sanayi ve askeri alanlar gibi düşük hızlı trafiğe sahip yerlerde kullanılmıştır (Sua, N. vd., 2001).

Ülkemizde ilk SSB gövde dolgulu baraj 2010 yılında tamamlanan, Şekil 2.3'te gösterilen Çine Çayı üzerindeki Çine Adnan Menderes Barajı'dır (Baradan vd., 2012).



**Şekil 2.3.** Çine Adnan Menderes Barajı (Flasmedya, 2013).

ABD ve İngiltere'de birçok baraj, Japonya ve Çin'de ise beton barajların çoğu bu teknikle yapılmış veya yapılmaktadır. Düşük maliyeti ve hızlı inşa edilebilmesinden dolayı SSB 1980'lerden beri tercih edilmeye başlanmıştır. Emniyet açısından SSB barajlar ile klasik beton barajların farkı olmadığı belirtilmiştir (Giovagnoli et al., 1992)

1946'da inşaatı biten İtalya'daki Alpe Gera Barajı, SSB yönteminin ilk örneklerindedir. Bütün kısımları SSB yöntemi ile yapılan ilk baraj ise Japonya'daki Shimajigawa Barajıdır. SSB kullanımı, mühendislerin konu ile ilgilenmesi sonucu 1982'den sonra hızlı bir şekilde artmıştır (Hansen, 1986).

1985 yılında ABD’de Middle Fork Creek Barajı su taşkınlarını önlemek ve su ihtiyacını karşılamak amacı ile SSB yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Aynı yılda yine ABD’de Galesville barajı su taşkınlarını önlemek, su ihtiyacını temin etmek ve elektrik üretmek amacı ile yapılmıştır. SSB yöntemiyle yapılan bu baraj, ilk projesine göre % 15 tasarruflu yapılmıştır (Jackson, 1986; Schrader, 1993).

Yine 1986’da ABD’de yaklaşık 35 adet SSB baraj yapılmıştır. 1987 yılında ABD’de yapılan Upper Still Water Barajı, 87 m gövde yüksekliği ve 814 m boyu ile o zaman dünyanın en büyük SSB barajıydı (Hansen, 1986; Richardson and Alan, 1992; Hansen, 1994).

1989 yılında içme suyu ve elektrik temini için SSB yöntemiyle yapılan Japonya’daki Miyagese Barajında 2.060.000 m<sup>3</sup> SSB kullanılmıştır (Dansie, 1995). 1994’ün başına kadar 18 ülkede 112 adet büyük SSB barajı yapılmış ve 27 adet barajın da projesi hazırlanmıştır (Dunstan, 1992). 1995 yılına kadar da 145 adet SSB barajının inşaatı bitirilmiştir (Dansie, 1995).

Türkiye’deki en hızlı yapılan barajlardan biri olan Sır Barajının yapımı da yine SSB ile olmuştur. İzmir’de sulama amacıyla yapılan Beydağı Barajı ise 1994-2007 yılları arasında inşa edilen bir SSB barajıdır. SSB yöntemi Berke ve Kürtün barajlarının belirli yapılarında uygulanmıştır. Büyük proje olarak 2011 yılında bitirilen Cindere Barajı ve Hidro-Elektrik Santrali (HES), Çine Barajı ve HES ile Gümüşhane’de yapılan Akköy I Bendi ve HES inşaatları gövde yapıları da SSB olarak inşa edilmiştir (Yıldız, 1991; Öztürk, 1991; Öziş vd., 1989; Öziş vd., 1990; Aghabaglou, 2011).

Yol kaplaması ve beton ağırlık barajlarının yapımında başarı ile kullanılmış olan SSB, çok geniş uygulama alanlarına sahiptir. Bu uygulama alanlarından bazıları, normal yollar, fabrika içi yollar, yapım için kullanılacak geçici yollar, park alanları, servis alanları, havaalanı pist ve ulaştırma yolları, ağır trafikle yüklü yollar ve oto yolların temel ve kaplama tabakalarıdır (Anderson, 1984; Munn, 1984; cannon, 1993; corps of Engineers, 1994; Nanni ve arkadaşları, 1996; Pigeon ve Marchand, 1996 Hansen, 1996; Delagrave ve arkadaşları, 1997). SSB’nin kullanıldığı diğer uygulama alanlarına ait resimler Şekil 2.4-2.6’da gösterilmiştir.



**Şekil 2.4.** SSB Yöntemi ile yapılan bir yol (Aghabaglou, 2011).



**Şekil 2.5.** İskele, liman, nakliye alanlarında, fabrika içi yollarda, depo ve park alanlarında SSB uygulaması (Aghabaglou, 2011).



**Şekil 2.6.** Tren istasyonunda SSB uygulaması (Aghabaglou, 2011).

Ülkemizde SSB yol kaplaması olarak Antalya ve Denizli’de uygulanmıştır. İlk uygulama Antalya Büyükşehir Belediyesiyle İngiltere’deki Sheffield Üniversitesi’nin birlikte yürüttüğü bir proje kapsamında yapılmıştır. Bu uygulamada SSB yol ve karışım

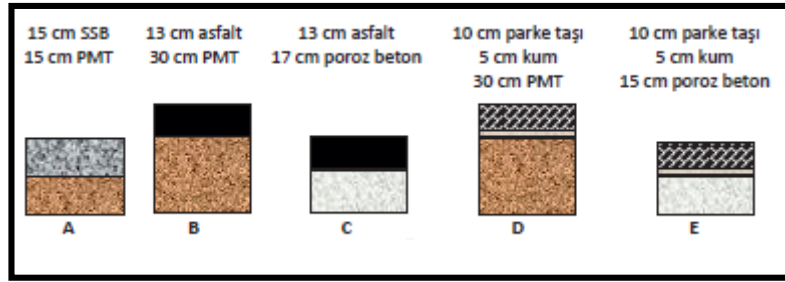
tasarımı Sheffield Üniversitesi tarafından yapılmıştır. 2009’da inşa edilen Şekil 2.7’deki yol halen kullanılmaktadır. İkinci SSB uygulaması da Şekil 2.8’deki Denizli Belediyesi tarafından inşa edilmiş olup, Türkiye’deki gerçek anlamdaki ilk SSB yol uygulaması olmuştur. Aralık 2009’dan beri Denizli Belediyesinin yaptığı SSB kaplama miktarının 500.000 m<sup>2</sup>’yi geçtiği tahmin edilmektedir. Belediye’nin SSB yol tercihi ise Şekil 2.9’da yaptıkları bir yol üst yapısı kesit analizi sonucunda olmuştur (Yaman ve Ceylan, 2013).



**Şekil 2.7.** Antalya’daki SSB uygulaması (Yaman ve Ceylan, 2013).



**Şekil 2.8.** Denizli’deki SSB uygulaması (Yaman ve Ceylan, 2013).



Şekil 2.9. Denizli Belediyesi yol üstyapı karşılaştırması (Yaman ve Ceylan, 2013).

## 2.2. SSB'nin Olumlu ve Olumsuz Yönleri

### 2.2.1. SSB'nin olumlu yönleri

Beton kaplamaların en önemli üstünlüklerinden biri, yüksek dayanım ve uzun ömürlü olmasıdır. Buna bağlı olarak bakım masrafları ve çalışmalarından oluşan gecikmeler azalmaktadır (Çetin, 2009).

Asfalt ve beton yol ömürleri üzerine yapılan bir çalışmada ERES Danışmanlık Şirketinin hazırladığı rapora göre, beton asfalt kaplamanın beklenen servis ömrü 17 yıl iken, beton kaplamada ise bu süre 34 yıldır. Beton asfalt kaplamalarda her 3-5 yılda bir bakım ve 17 yıl sonra sık sık büyük onarımlara gerek duyulmaktadır. Beton kaplamalarda ise servise açıldıktan 12 yıl sonra küçük bakımlara, 18 yıl sonra da beton yüzeyinin yenilenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Beton asfalt kaplama, SSB ve geleneksel beton kalamaya ait ilk yapım maliyetleri Şekil 2.10'da verilmiştir. Beton asfalt kaplamanın ilk yapım maliyetinde düşük görünmesine karşılık, daha sık bakım onarım gerektirdiğinden toplam maliyeti daha fazladır. Beton kaplama yüzeyinin pürüzlü olması, sürüş güvenliği açısından önem taşımaktadır. Bu durum daha kısa duruş mesafesine sebep olmaktadır. Beton kaplamalar, gece görüşü açısından beton asfalt kaplamaya göre daha üstündür (Ağar ve Taşdemir, 2007).

Ağır taşıtların kalkış ve duruşlarından meydana gelen tekerlek izi oluşumuna karşı SSB beton kaplamaların direnci, beton asfalt kaplamalardan daha fazladır. Ağır taşıtlar asfalt beton kaplamalarında daha fazla çökmeye sebep olduklarından, araçlar hareket ederken enerjisinin bir kısmı kaybederler. SSB kaplamalarda daha az deformasyon olduğundan enerji tasarrufuna sebep olmaktadır (Çetin, 2009).

SSB'deki mevcut daha az çimento hamuru, daha az büzölmeye ve buna bağlı oluşan gerilmelerin azalmasına sebep olmaktadır. SSB ağır endüstri, madencilik, askeri

uygulama sahalarında ve yoğunlaşmış yüklerin olduğu sahalarda ağır tekerrür yüklerine bozulmadan dayanabilecek yüksek eğilme, basınç, kayma dayanımına sahip olacak şekilde tasarlanabilmektedir. Düşük geçirimsizliğe sahip olmasıyla beraber SSB beton kaplamalar kimyasal bozulmalara ve donma çözümlere karşı mükemmel bir dayanıklılık sağlar. Asfalt yol kaplamalarında kullanılmayan ince agregalar, SSB beton yol kaplamalarında kullanılabilir. Kanada ve Amerika'nın kuzeyindeki soğuk bölgelerde mükemmel donma çözünme dayanımları göstermiştir (Harrington vd., 2010).

İnşaat maliyet geçmişi, SSB'nin maliyetinin geleneksel beton kaplama ve asfalt kaplamaya göre daha uygun olduğunu göstermiştir. SSB kaplamalar geleneksel beton kaplamalara göre daha hızlı trafiğe açılmaktadır. Ön sıkıştırma işlemini daha iyi yapabilecek sericilerin geliştirilmesiyle, silindir geçiş sayısı azaltılacak ve sürüş konforu artacaktır. Ülkemizin petrol bakımından dışa bağı olduğu ancak çimento sanayinde ise çok gelişmiş olduğu göz önüne alındığında, SSB kullanımı daha ekonomik bir çözümdür. Bununla birlikte SSB kaplamaların asfalt kaplamalara göre uzun ömürlü olması da diğer bir üstünlüktür. Bu durum da yine ekonomik yönden üstünlük sağlamaktadır. Ayrıca SSB yapımı için özel bir yapım donanımına gerek duyulmaması da yatırım maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu durumlar dikkate alındığında düşük hızlı trafik için SSB kaplamalar uygun bir tercih olmaktadır. SSB kullanılmasının gelişmekte olan ülkelerde ekonomi ve çevre korunması açısından önemli etkileri vardır (Adaska, 2006; Edis, 2007; Topçu, 2006).

### **2.2.2. SSB'nin olumsuz yönleri**

SSB yolların en önemli olumsuz yönü yüzey yapısı ve rijit bir kaplama olması nedeniyle lastik gürültüsüdür. SSB kaplamaların yüksek hızlı trafik için konforlu olacak şekilde kullanılabilmesi için SSB yüzeyinin birkaç cm bitümlü aşınma tabakasıyla kaplanması gerekmektedir. Ancak asfalt tabakasına ihtiyaç olmasına rağmen, otoyollar ve birinci sınıf yolların yapımı için ekonomik bir seçenek olduğunu söylemek gerekir. SSB kaplamalar, üretim sırasında sahip olduğu nem değişimine ve yetersiz sıkıştırmaya, beton asfalt kaplamalardan daha hassastır. SSB, özel ekipman gerektirmemesi ve geleneksel betondan daha düşük maliyetli olması sebebiyle düşük yoğunluklu trafikler için daha uygun olmaktadır (Çetin, 2009).

### 2.3. Karışım Oranları Belirleme Yöntemleri

SSB karışımlarının s/b oranları 0.20 ile 0.40 arasında kalacak şekilde düşük değerlere sahip olmaktadır. SSB karışımlarının kıvamları ise karıştırma sırasında çimento hamurunun kütleyi kaplamasına olanak tanıyacak ölçüde ıslak olmalıdır. Bununla birlikte sıkıştırma işlemi yapılırken de titreşimli silindiri taşıyacak kadar kuru olmalıdır (Tarun et.al., 2001).

İyi bir SSB karışımının elde edilmesinde malzeme seçimi çok önemlidir. Sonrasında ise seçilen bu malzemelerin doğru bir şekilde oranlanması gerekmektedir. SSB kaplamalarda kullanılan en yaygın karışım tasarım yöntemleri;

- a. En uygun hamur hacmi yöntemi
- b. Zemin sıkıştırma yöntemi
- c. Katı askı modeli
- d. Beton kıvam test yöntemi

şeklinde 4 ana grupta toplanabilir. Kullanılan tasarım yöntemlerinin ortak amacı karışımda agregayı saran ve boşlukları dolduran uygun hamur hacmine sahip bir karışım elde etmektir (ACI Committee 325.10,1995; PCA'dan, 2006).

#### 2.3.1. En uygun hamur hacmi yöntemi

En uygun hamur hacmi yöntemi SSB kütle beton karışımlarını tasarlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu yöntem, sıkıştırma işlemi sırasında taneli yapının en yüksek yoğunluğa ulaşmasıyla, tanecikler arasında kalan boşlukların yeterli hamur hacmi ile doldurulması esasına dayanmaktadır. Eğer daha az miktarda hamur kullanılırsa, sıkıştırma sonrasında oluşacak boşluklar, SSB'nin mekanik özelliklerini azaltacak ve geçirgenliği arttıracaktır. Yöntem üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama, belirli bir sıkıştırma enerjisi altında en düşük boşluk hacmi içeren agrega tane dağılımının seçilmesidir. İkinci aşama, istenilen dayanımı elde etmek için yeterli bağlayıcı miktarına sahip hamur üreterek, su/bağlayıcı oranı ile çimento ve puzolanik malzeme miktarlarının belirlenmesidir (PCA, 2004).

### 2.3.2. Katı askı modeli

Son yıllarda, SSB karışımlarının oranlanmasında katı askı modeli gibi daha teorik ve esas yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu oranlama yöntemi il her kuru bileşenin (çimento, uçucu kül, silis dumanı, kum ve kaba agrega) oranı belirlenmekte ve SSB karışımının kuru sıkışma yoğunluğu optimize edilmektedir. Optimize kuru sıkışma yoğunluğunu kullanarak, kuru bileşenlerin arasındaki boşlukları dolduracak yeterli su miktarı kolaca hesaplanabilmektedir (PCA,2006).

Bu model ile kuru bileşenlerin tane dağılımı, özgül ağırlık, boşluk indeksi gibi malzeme karakteristiklerinin bilinmesiyle güvenilir bilgisayar benzetimleri yapılabilmektedir. Yönteminin sistematik kullanımı beton kıvam testlerinden elde edilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Katı askı modelinin esas avantajı, SSB karışımının en uygun oranlarının çok sayıda deneme karışımları hazırlamaya gerek kalmadan çok çabuk olarak tekrar hesaplanabilmesidir (PCA,2006). Ayrıca arazide, agrega ve çimento kaynağının değiştiği durumlarda da önemli bir avantaj sağlamaktadır (Gauthier and Marchand,2005).

### 2.3.3. Zemin sıkıştırma yöntemi

Bu yöntem, maksimum tane çapının daha küçük ve bağlayıcı dozajının daha yüksek olduğu SSB yol kaplamaları karışımları için daha uygundur (ACI Committee 207, 1998).

Zemin sıkıştırma yöntemi, SSB karışımının su muhtevası ile yoğunluğu arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. Bu yöntemde Proktor testi (ASTM D 698) veya modifiye Proktor testi (ASTM D 1557) uygulanmaktadır. Her iki test yöntemi de en uygun su muhtevasına karşılık gelen maksimum kuru yoğunluğu hesaplamak için kullanılmaktadır. Standart Proktor ile modifiye Proktor testleri arasındaki fark, sıkıştırma esnasında test numunelerine uygulanan enerji miktarıdır (PCA, 2004).

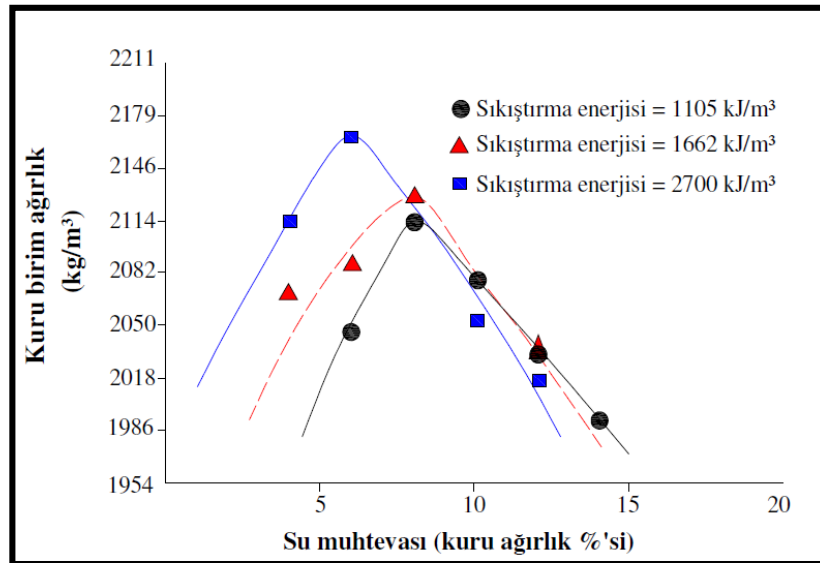
Arazideki SSB uygulamalarında titreşimli çelik bandajlı silindirler ile sıkıştırma işlemleri yapıldığından, tecrübeler modifiye proktor testinin SSB için daha uygun olduğunu göstermektedir. Standart Proktor ve modifiye Proktor testlerinin her ikisi de zemin mekaniği için geliştirilmiştir. Modifiye Proktor ile numune 2700 kJ/m<sup>3</sup>'lük bir enerji ile sıkıştırılabilirken, standart Proktor testi ile 600 kJ/m<sup>3</sup>'lük bir enerji ile

sıkıştırılabilmektedir (PCA, 2004). Su zemin taneleri arasında yağ görevi görmekte ve sıkıştırma işlemi sırasında tanelerin birbirinin üstünden kayarak daha sıkı bir şekilde yeniden düzenlenmelerine yardımcı olmaktadır (PCA, 2006).

SSB'nin sıkışma test sonuçlarından elde edilen su muhtevası ile sıkışma enerjisinin sıkışmış yoğunluğa etkisi Şekil 2.10'da gösterilmiştir (ACI Committee 207, 1988).

Şekil 2.10'dan;

- Maksimum kurur birim hacim ağırlığın (BHA) ve en uygun su muhtevasının, kompaksiyon enerjisinin seviyesine bağlı olduğu,
- Kompaksiyon enerjisi arttıkça maksimum kurur birim ağırlığın arttığı,
- Kompaksiyon enerjisi arttıkça en uygun su muhtevasının azaldığı görülmektedir.



Şekil 2.10. Sıkıştırma enerjisi etkisi (ACI 207.5R, 1988).

Bu yöntemde; ilk aşama olarak SSB karışımının hacimce % 90'ını ince ve iri agrega oluşturduğundan yoğun, iyi tane dağılımlı ve Çizelge 2.2'de belirtilen aralıklara uygun agrega seçilmektedir (PCA, 2006).

Daha sonra değişik bağlayıcı içeriklerine sahip deneme karışımları hazırlanır. Bağlayıcı malzeme içeriği toplam kuru ağırlığın % 12-17'si arasında değişebilmektedir.

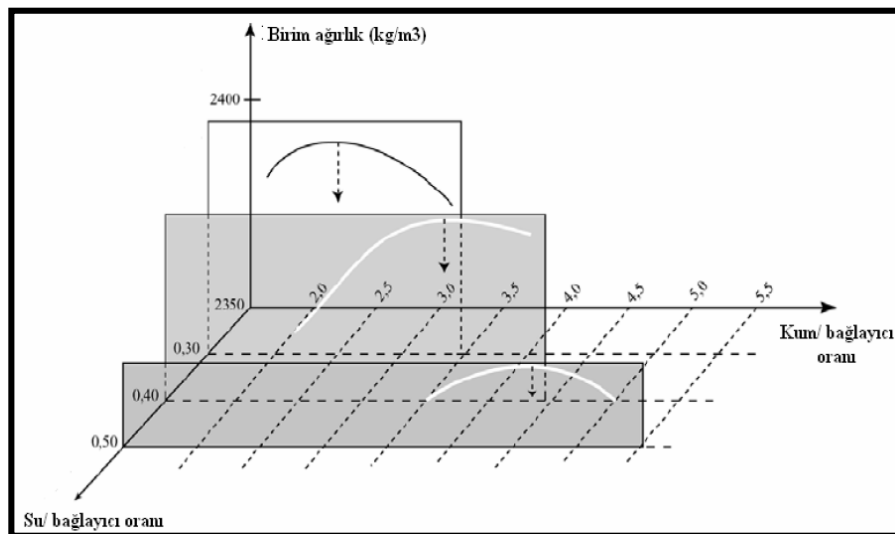
Her deneme karışımı için ise değişik su muhtevalarında karışımlar hazırlanır. ASTM D 1557'ye göre her seri için maksimum kuru birim ağırlığa karşılık gelen en uygun su muhtevaları seçilir (PCA, 2004).

Geleneksel betondan farklı olarak SSB karışımlarında su/bağlayıcı oranı ana tasarım faktörü değildir. Su içeriği, SSB karışımlarının maksimum sıkışma yoğunluğuna, proje kriterlerine ve karışımda kullanılan kimyasal katkıya bağlıdır. Su muhtevası (w), aşağıdaki bağıntıda gösterildiği gibi genellikle karışımdaki toplam katı miktarının ağırlıkça yüzdesi cinsinden ifade edilmektedir (PCA, 2006).

$$W (\%) = \frac{\text{Karışımdaki su ağırlığı}}{\text{Fırın kurusu agrega ağırlığı} + \text{Bağlayıcı malzeme ağırlığı}} \times 100 \quad (2.1)$$

#### 2.3.4. Beton kıvam test yöntemi

SSB karışımlarının belirli bir kıvama göre oranlanması üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada, minimum hamur hacmini hesaplayabilmek için değişik su/bağlayıcı ve kum/bağlayıcı oranlarından oluşan deneme harç karışımları hazırlanmakta ve her karışımın birim ağırlığı ölçülmektedir. Şekil 2.11'de gösterildiği gibi, sabit bir su/bağlayıcı oranında, belirli bir kum/bağlayıcı oranı vardır ki bu değer karışımın en uygun birim ağırlığını vermektedir. İkinci aşamada istenen mekanik dayanımı sağlayan su/bağlayıcı oranı seçilmekte, üçüncü aşamada ise, elde edilen su/ bağlayıcı ve kum/bağlayıcı oranları ile istenilen işlenebilirliği sağlayacak kaba ve ince agregaların oranları ayarlanmaktadır (Gauthier and Marchand, 2005).



Şekil 2.11. SSB için en uygun harç parametreleri, (Gauthier and Marchand, 2005).

## 2.4. SSB'de Kullanılan Malzemeler

SSB'de geleneksel betonlarda kullanılan iri ve ince agregalar, çimento, su, uçucu kül ve katkı maddeleri kullanılmaktadır (Topçu, 2006). Karışımlarda su/bağlayıcı oranı 0.20 ile 0.40 arasında değişmektedir (Ragan, 1988; Taşdemir et al.'dan, 2002). SSB ve geleneksel beton kaplaması üretiminde kullanılan malzemeler Çizelge 2.1'de karşılaştırılmıştır (Luhr, 2008).

**Çizelge 2.1.** SSB ve normal beton kaplama malzemeleri (Luhr, 2008).

Malzeme	Mutlak Hacim	
	SSB	Geleneksel Beton Kaplama
Bağlayıcı	% 9	% 10
Su	% 10	% 15
İnce Agrega	% 34	% 23
İri Agrega	% 44	% 46
Hava	% 3	% 6
Toplam	% 100	% 100
Çimento Hamuru	% 22	% 31
s/b Oranı	0.35	0.48
İnce Agrega Oranı	0.44	0.33

### 2.4.1. Agrega

Diğer beton türlerinde olduğu gibi, SSB'nin ekonomikliğini ve kalitesini belirlemedeki en önemli faktörlerden biri, uygun agrega tipinin belirlenmesidir. SSB kaplama karışımlarının % 70-80'ini agregalar oluşturduğundan, taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin önemli ölçüde etkilemektedir (Topçu, 2006).

Kullanılan agregaların kalitesi sertleşmiş SSB'nin performansını etkilemektedir. Fiziksel açıdan kusurlu, zayıf agregalar ağır sıkıştırma yüküne maruz kaldığında kırılıp dağılırlar. Ancak, SSB karışımları uygun olmayan tane dağılımlı agregalardan da belirli bir ölçüye kadar imal edilebilir. Bu noktadan bakılınca, SSB agrega tane dağılımlı normal betona göre daha az hassas bir beton çeşididir (Baradan vd., 2012).

Yüksek kaliteli SSB elde etmek için hem iri hem de ince agregalar sert ve dayanıklı olmalıdır. SSB agregaları, ince agregalarla sıkıştırılarak kullanılmasıyla güçlendirilebilir. İnce agregaların fazla olması çimento hamurunda azalmaya imkan vermektedir. Bunlar iri agregalarla uygun tane dağılımıyla dengelendiğinde sıkıştırılabilir ve dayanıklı karışımlar oluşturur (Harrington vd., 2010).

Kaba agrega; kırılmış veya kırılmamış çakıl, geri dönüşüm beton agregası, kırmataş veya bunların karışımından oluşmaktadır. Kırmataş veya kırılmış çakıldan yapılmış SSB'lerin sıkıştırılması, yuvarlak çakıldan yapılmış SSB'lerden daha zor olmasına karşılık, taşıma ve yerleştirme sırasında daha az ayrışma meydana gelmektedir. İnce agregalar, doğal kum, kırılarak üretilen kum veya her ikisinin karışımından oluşmaktadır. Yüksek oranda plastik olmayan silt parçacıkları içeren kumlar, mineral filler olarak görev yaptığı gibi ihtiyaç duyulan çimento miktarını da düşürmektedir. Bunun tersine olarak, yüksek oranda kil içeren ince agregalarla yapılmış olan karışımlarda kullanılan su miktarı artmakta, büzülme ve çatlama oluşmakta, dolayısıyla dayanım azalmaktadır. Bu yüzden karışımda kullanılacak olan kumların su emme kabiliyeti ve özgül ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir (Edis, 2007).

Ragan'a (1988) göre ayrışmalardan sakınmak için maksimum dane çapı 25 mm olan agregalar kullanılmalıdır. Kaplama yüzey dokusunun önem kazandığı durumlarda maksimum dane çapının 19 mm'yi geçmeyen agregalar kullanılmalıdır (DOA, 1995; Taşdemir et al.'dan, 2002). SSB'de kullanılan agregaların en önemli farklılıklarından biri agrega tane dağılımıdır. Portland Çimento Birliğinin SSB yol kaplamaları için önerdiği agrega tane dağılımı limitleri Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Agrega tane dağılımı limitleri (PCA, 2006).

Elek boyutu	% Geçen (Ağırlıkça)	
	Minimum	Maksimum
25mm	100	100
19 mm	90	100
12.5 mm	70	90
9.5 mm	60	85
4.75 mm	40	60
1.18 mm	20	40
150 µm	6	18
75 µm	2	8

Çizelge 2.2’de gösterilen tane dağılımı limitlerinde, SSB karışımlarında kullanılan 75 µm elekten geçen ince tane miktarının geleneksel betona oranla daha fazla olduğu görülmektedir. SSB’de kullanılacak agregaların yıkanmasına ve temizlenmesine gerek duyulmamaktadır. 75 µm elekten geçen, plastik olmayan az miktarda ince malzemenin (ağırlıkça % 2 ve % 8) varlığı SSB’nin özelliklerini geliştirmek için yeterli olmaktadır. Yıkanmış agregaların kullanılması halinde 200 no’lu elekten geçen ince malzeme % 2-%8 aralığını sağlamayacaktır. Bu gibi durumlarda istenilen ince malzeme miktarını sağlamak için uçucu kül eklenebilmektedir (PCA, 2006).

Murphy (1987), Avustralya’da üretilen SSB’lerin tane dağılımında 200 no’lu elekten geçen malzeme miktarının ağırlıkça % 5 ile 10 arasında olduğunu belirtmiştir. Piggott (1986), Kanada’da üretilen SSB’lerin tane dağılımında maksimum tane çapı 19 mm olan iyi agregaların kullanıldığını, 200 no’lu elekten geçen malzeme miktarının ağırlıkça % 2 ile 14 arasında olduğunu belirtmiştir. Jofre, Fernandez ve Molina (1986), İspanya’da segregasyonu önlemek ve doyurucu yüzey kalitesini elde etmek için SSB tane dağılımında maksimum tane çapının 25 mm olarak sınırlandırıldığını ancak, 19 mm’nin daha sık kullanıldığını ve 200 no’lu elekten geçen malzeme miktarının ağırlıkça % 10 ile 20 arasında olduğunu belirtmiştir (Ludwig et al., 1994).

Yüksek yoğunluk elde etmek için SSB karışımında sürekli granülometrilik agreganın kullanılması, SSB yüzeyinde düzgünlük elde etmek için ise ince agreganın ayarlanmasına ve miktarına özen gösterilmesi ve ince agreganın miktarının normal betona göre bir miktar fazla olması gerektiği birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Atış, 2001). Bu da iki şekilde sağlanabilmektedir. Birincisi, geleneksel olarak kum yüzdesini arttırmak, ikincisi ise ince ve iri agreganın ya da çimentonun bir kısmının uçucu kül veya benzeri mineral katkılarla yer değiştirmesidir. İnce agreganın fazlalığı, ikinci şekil 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 karışımında kısmen agregaya yerine kullanılabilir gibi standartlara uygun mineral katkıları kısmen çimento yerine de kullanılabilir. Puzolanik özelliğe sahip atık bir malzeme olan çeltik kabuğu külleri de SSB’de bir

mineral katkı olarak kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır (Atiş, 2001; Kajorncheappunngam and Steawart, 1992).

#### 2.4.2. Çimento

Bağlayıcı malzemenin seçimi ve dozajı, hedeflenen dayanıma, mekanik özelliklerin gelişme hızına ve kalıcılık kriterlerine bağlıdır. Genel olarak, endüstriyel ya da şehir içi kaplamalar için tasarlanan ve üretilen SSB karışımlarında çimento içeriği 250-350 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Bu oran karışımdaki toplam kuru malzemenin ağırlıkça % 12-16'sına karşılık gelmektedir. Çimento dozajının fazla olması büzülme çatlaklarının ve üretim maliyetinin artmasına neden olabilir (Gauthier and Marchand, 2005).

SSB'nin dayanımı esas olarak agrega kalitesi, sıkışma derecesi ile çimento, puzolan ve su miktarına bağlıdır. Çimento tipinin hidrasyon hızı ve dayanım gelişimi üzerinde önemli etkisi vardır (Koçak, 1998). SSB yol kaplamalarında Tip I (normal) ve Tip II (modifiye) portland çimentosu kullanılmaktadır. Çalışma süresinin kısa olması gereken yerlerde erken priz yapan Tip III çimento kullanılması önerilmektedir. Ancak çoğu SSB uygulamalarında Tip III çimento kullanımı sıkıştırma süresini kısalttığı için pratik olmamaktadır (DOA, 1995; Taşdemir et al.'dan, 2002).

SSB karışımlarında bağlayıcı malzeme olarak Tip I (normal), Tip IP (% 40 oranına kadar puzolan içeren) veya Tip II (modifiye) portland çimentoları veya katkıli hidrolik çimento, F ya da C sınıfı uçucu kül, silis dumanı, granüle yüksek fırın cürufu kullanılmaktadır (PCA, 2006).

Koçak (1998), çoğu SSB karışımlarının başlıca gereksinimlerinden birinin yeterli hamur hacmi sağlayarak agrega daneleri arasındaki boşlukları doldurmak olduğunu belirtmiştir. Aksi halde, karışımda hapsolmuş hava miktarının artacağını, agregaların ayrışacağını, betonun sıkışmasında zorluklar olacağını bunun da dayanım kaybına, tabakalar arasındaki aderans kaybına, dolayısıyla, sızıntılara sebep olacağını belirtmiştir.

Bağlayıcı malzeme olarak çimentoya ilave mineral katkı da kullanılabilir. Fransa ve İspanya'da SSB üretiminde mineral katkıli çimentolar kullanıldığı gibi, çimento ve uçucu kül karışımı da ayrıca kullanılmaktadır. Katkıli çimentolar geleneksel

Portland çimentosuna göre daha ucuz olmakla birlikte priz süresinde gecikmeler söz konusu olabilir. Ayrıca SSB kalıcılığını arttırmak için sülfata dayanıklı çimentolar da kullanılabilir (Topçu, 2006).

### 2.4.3. Su

SSB’de kullanılacak karışım suyunun geleneksel betonlarda olduğu gibi belirli özelliklerde olması gerekmektedir. SSB karışım suyunun özellikleri TS EN 1008’e uygun olacak şekilde florürler, sülfatlar, alkaliler, şekerler, fosfatlar ve nitratlar gibi bazı kimyasallardan mümkün olduğunca arındırılmış olmalıdır (Yaman ve Ceylan, 2013).

SSB karışımlarında kullanılan su miktarının tipik olarak 90 ile 120 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. SSB kaplama karışımlarında suyun bağlayıcı malzemeye oranı 0.30 ile 0.45 arasında olmaktadır. SSB kaplamalarda bu aralıktaki su/bağlayıcı malzeme oranı ile 28 günlük basınç dayanımı 41MPa’ı geçen değerler elde edilebilmektedir (PCA, 2006). SSB karışımlarında toplam suyun kuru malzemelerin ağırlığına oranı genellikle % 4.6 ile % 5.6 arasında değişmektedir.

### 2.4.4. Katkı maddeleri

#### 2.4.4.1. Uçucu kül

Uçucu kül en yaygın olarak kullanılan mineral katkıdır. Bu malzeme, termik santrallerinde öğütülmüş kömürün yanmasıyla açığa çıkan bir üründür. Baca gazları atmosfere bırakılmadan önce, bu gazlar içindeki ince tanelerin toz toplama sistemi tarafından toplanmasıyla elde edilir (Taşdemir, 2002).

Uçucu külün fiziksel özellikleri, genel olarak termik santralde yakılan kömürün özelliklerine ve yanma sistemine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Uçucu kül, genellikle gri renktedir ve rengi, içindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça daha da koyulaşmaktadır. Uçucu kül, % 60-90 camsı bileşen ihtiva eden çok ince taneciklerden oluşmaktadır. % 75’inin çapı 45 µm’den az, % 50’den çoğu ise 20 µm’den daha küçüktür. Uçucu külün özgül yüzeyi, çimento inceliğine yakın olup öğütme yapılmadan kullanılabileceğini göstermektedir. Uçucu küllerin fiziksel özellikleri Çizelge 2.3’te özetlenmiştir (Aruntaş, 2006).

**Çizelge 2.3.** Uçucu küllerin fiziksel özellikleri (Aruntaş, 2006).

Çap ( $\mu\text{m}$ )	Şekil	Renk	Yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ )	İncelik
1-200	Yuvarlak	Gri	2.2-2.7	Çimento inceliğinde

ASTM C 618, uçucu külleri kimyasal içeriklerine göre C ve F sınıfı ve kireç oranına bağlı olarak da; düşük kireçli ve yüksek kireçli olarak sınıflandırmaktadır. Genellikle antrasit veya bitümlü kömürlerden elde edilen ve CaO içeriği % 10'dan az olan küllere Düşük Kireçli Uçucu Küller, linyit veya düşük kalorili bitümlü kömürlerden elde edilen ve CaO oranı % 10'dan daha fazla olan küllere Yüksek Kireçli Uçucu Küller adı verilmektedir. ASTM C 618'de kimyasal içeriklerine bağlı olarak C ve F sınıfı küllerde arana özellikler Çizelge 2.4'te verilmiştir (ASTM C 618, 2002). TS EN 451-1'e göre ise uçucu küller; CaO oranı % 10'un altında ise düşük kireçli, % 10'un üstünde ise yüksek kireçli olarak sınıflandırılırlar.

**Çizelge 2.4.** ASTM C 618'e göre uçucu küllerin sınıflandırılması (ASTM C 618).

Sınıf	Tanım
F	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \% 70$ , antrasit ve bitümlü kömürün yakılmasından elde edilmiş, puzolanik özelliğe sahip
C	$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq \% 50$ , linyit veya bitümlü olmayan kömürün yakılmasından elde edilen, puzolanik özelliğinin yanı sıra kendiliğinden bir miktar bağlayıcı özelliğe sahip

Uçucu küllerde az miktarda da olsa MgO, SO<sub>3</sub> alkali ve karbon bulunmaktadır. Bunların oranının yüksek olması istenmemektedir. MgO hidrasyon sonucunda betonda genleşmeye neden olmaktadır (Üte, 2008). Farklı termik santrallere ait uçucu küllerin kimyasal yapısı Çizelge 2.5'te verilmiştir.

**Çizelge 2.5.** Türkiye’deki bazı uçucu küllerin kompozisyonları (Aruntaş, 2006).

Bileşim %	Afşin-Elbistan	Çatalağzı	Tunçbilek	Çayırhan	TS 639 sınırları	ASTM C 618 sınırları	
						F	C
SiO <sub>2</sub>	27.4	56.8	58.59	49.13	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.8	24.1	21.89	15.04	-	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.5	6.8	9.31	8.25	-	-	-
S+A+F	45.7	87.7	89.79	72.42	>70	>70	>50
CaO	47.0	1.4	4.46	13.2	-	-	-
MgO	2.5	2.4	1.41	4.76	<5	<5	<5
Na <sub>2</sub> O	(N+K)0.3	(N+K)0.3	0.24	2.2	-	<1.5	<1.5
K <sub>2</sub> O	-	-	1.81	1.76	-	-	-
SO <sub>3</sub>	6.2	2.9	0.41	3.84	<5	<1.5	<1.5
K.K	2.4	0.6	1.39	0.72	<10	<12	<6

SO<sub>3</sub>, sertleşmiş betonda etrenjit oluşumuna ve böylece çok büyük genleşmelere neden olmaktadır. Alkali miktarının yüksek olması reaktif silis içeren agregalarla reaksiyon olasılığını arttırarak betonda genleşmelere yol açabilmektedir. Karbon miktarı fazla olan uçucu küllerle yapılan hava sürüklenmiş betonlarda, daha çok miktarda hava sürükleyici katkının kullanılmasına neden olmaktadır (Erdoğan, 2003).

Uçucu kül SSB’nin işlenebilirliğini arttırmakta ve karışımının çatlama davranışını önemli derecede etkilemektedir. Uçucu kül kullanımı, özellikle sıcak havalarda yol yapımı sırasında avantaj sağlamaktadır. İklimin soğuk olduğu bölgelerde ise uçucu kül ilave edilmesi donma-çözülme dayanıklılığını da azaltmaktadır. Bu yüzden, kış aylarının sert geçtiği bölgelerde uçucu kül kullanılmamalıdır (Ağar ve Taşdemir, 2007).

Uçucu kül (ASTM C 618 F ve C tipi) kullanılırsa çimentolu malzemenin toplam hacminin % 15 ile 20’sini kapsar. Beton yüzeyinin soyulmasını engellemek için uçucu kül hacmi toplam hacmin % 25’ini aşmamalıdır. Uçucu kül kullanımı priz süresini

uzattığı için Kanada’da uçucu kül genelde 15 Eylül’den sonra kullanılmamaktadır (Harrington vd., 2010).

#### **2.4.4.2. Granüle yüksek fırın cürufu**

Demir imalatında yüksek fırında, demir cevherinden demir alındıktan sonra geri kalan maddeye cüruf denilmektedir. Cürufun içerisinde alümin, silis ve kireç maddeleri bulunmaktadır (Baradan, 2004). Yüksek fırın cüruflarının yoğunlukları 2.85 ile 2.95 arasında değişmektedir. Cüruf kaynağı ve inceliğinin, taze ve sertleşmiş SSB’nin özellikleri üzerinde etkisi vardır (Gauthier and Marchand, 2005).

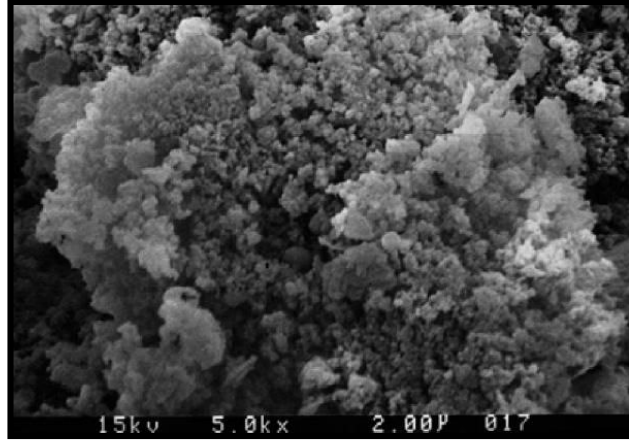
Granüle yüksek fırın cürufu, sodyum hidroksit veya kalsiyum hidroksit gibi aktivatörler kullanılarak aktive edilebilir. Ayrıca ince öğütülerek Portland çimentosunun hidratasyonu ile açığa çıkan  $\text{Ca(OH)}_2$ ’ı bağlamak suretiyle, hidrolik özellik kazanır ve tobermorit jellerini ortaya çıkarır (Tokay ve Erdoğan, 2001; Özkan’dan 2006). Granüle YFC çimento endüstrisinde CEM III tipi katkı çimento üretiminde ve sülfata dayanıklı beton üretiminde mineral katkı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca amorf yapıda olmayan ve öğütülmemiş cüruflar da beton agregası olarak kullanılabilir.

#### **2.4.4.3. Silis dumanı**

Ferrosilikon ve silikonlu metal elektrik ark fırınlarında hammadde olarak kullanılan saf kuvarzın kömürle redüklenmesi sonucu elde edilen yan ürüne silis tozu veya dumanı adı verilir (Baradan, 2004). Uçucu kül dışında cüruf ve silis dumanı da SSB karışımlarında kullanılabilir. Silis dumanı uçucu kül ve cüruf gibi betonun geçirimsizliğini azaltmakta ve dayanıklılığını arttırmaktadır. Silis dumanı betonun işlenebilirliğini düşürmekte ve sıkıştırma daha fazla işçilik gerektirmektedir (Yaman ve Ceylan, 2013).

Endüstriyel bir atık olan silis dumanının betona katılmasıyla daha yüksek performanslı ve dayanımlı betonlar elde edilebilmektedir. Diğer puzolanlara göre daha pahalı bir bileşen olan silis dumanını içinde % 85’ten fazla  $\text{SiO}_2$  bulunmasından dolayı kendi başına bağlayıcılık özelliği olmayan çok iyi bir yapay puzolandır. Silis dumanı taneleri çimento tanelerinin yaklaşık 100 katı daha küçüktür. Silis dumanının puzolanik reaksiyonu sonucunda oluşan ürünler, betonun mikroyapısında doluluk sağlamak ve geçirimsizliğini arttırmaktadır. Ancak silis dumanının betonda plastik rötreği arttırdığı

bilinmektedir (Erdoğan, 2003). Silis dumanının, taramalı elektron mikroskobu ile çekilen fotoğrafı Şekil 2.12’de gösterilmiştir (Hassani ve Saghafi, 2006).



**Şekil 2.12.** Silis dumanının mikro yapısı (Hassani ve Saghafi, 2006).

Batı Kanada ve Amerika’da silis dumanı ve cüruf kullanımı çok yaygın değildir. Doğu Kanada’da ise özellikle Quebec’de son 10 yıldır SSB kaplamalarda yüksek performans elde etmek için silis dumanı kullanılmaktadır. Soğuk hava bölgelerinde, silis dumanı SSB karışımların dayanım gelişim hızını ve mekanik özelliklerini geliştirebilir. Silis dumanı çoğunlukla % 7-8 seviyesinde çimento karışımlarında kullanılır (Harrington vd., 2010).

#### **2.4.4.4. Kimyasal katkılar**

Geleneksel betonlarda kullanılan çoğu kimyasal katkı SSB karışımlarında da kullanılabilir. Ancak SSB karışımlarında kullanılacak kimyasal katkı madde dozajı geleneksel betondan daha fazla olmaktadır. SSB’nin su muhtevasının düşük olmasından dolayı ve karıştırma süresinin kısa olmasından dolayı daha fazla kimyasal katkıya ihtiyaç vardır.

Yapılan çalışmalar, SSB’de kullanılacak kimyasal katkı miktarının geleneksel betonun 4 katı kadar olması gerektiğini göstermiştir. Yüksek etkili su azaltıcılar veya süper akışkanlaştırıcılar, SSB’nin sıkıştırılması sırasında titreşimli silindiri taşıyacak stabiliteyi düşürmesinden dolayı SSB’de çok tercih edilmemektedir (Gauthier and Marchandd. 2005).

Kimyasal katkı maddeleri beton karışımı sırasında farklı amaçlar için uygun miktarda katılan maddeler olup, taze ve sertleşmiş betonlarda farklı etkiler göstermektedir. Taze betondaki etkileri;

- Su miktarını arttırmadan işlenebilirliği arttırmak
- İşlenebilirliğin süreye bağlı kaybını azaltmak
- Ayırışmayı engellemek
- Terlemeyi engellemek ve/veya azaltmak

şeklinde görülmektedir. Sertleşmiş betonda ise;

- Dayanımı arttırmak
- Hidratasyon ısisını azaltmak
- Erken yaşlardaki mukavemet artışını hızlandırmak
- Durabiliteyi arttırmak
- Mekanik özellikleri iyileştirmek
- Ekonomik olmasını sağlamak

gibi etkileri görülmektedir (Çetin, 2009). Kimyasal katkıların bu özellikleri kullanılarak tıpkı geleneksel beton karışımlarında olduğu gibi SSB'nin bazı özelliklerini iyileştirmek mümkündür.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 3.1. Kullanılan Malzemeler

##### 3.1.1. Agregalar

Deneylerde kullandığımız kırmataş kalker agregaları Bilecik Dağ-ış Madencilik'ten temin edilmiştir. Agregalarda tane boyut aralıkları 0-5 mm, 5-12 mm, 12-22 mm olarak seçilmiştir. Agregaların tane dağılımı elek analizi deneyi ile belirlenmiştir.

##### 3.1.2. Çimento

Çalışmada Bilecik SANÇİM Çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Ülkemizde en çok tüketilen çimento olan CEM I 42,5 R Portland çimentosu yol, bina, köprü, prefabrik elemanlar ve yüksek dayanımlı betonların üretimine uygun genel kullanım amaçlı bir çimentodur.

Erken yaşlardaki dayanımı yüksek olan çimentolar (R) eki ile normal erken dayanıma sahip olanlar (N) eki ile adlandırılmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan CEM I 42,5 R çimentosunun fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** CEM I 42,5 R çimentosunun özellikleri.

Fiziksel Özellikleri		Mekanik Özellikleri	
Özgül Ağırlık, (g/cm <sup>3</sup> )	3.06	Basınç dayanımı (MPa)	
Özgül Yüzey, (cm <sup>2</sup> /g)	3641	7 Gün	21.6
Standart kıvam su miktarı, (%)	29.6	28 Gün	42.7
Priz Başlama Süresi, (dk)	190	90 Gün	61.5
Priz Sona Erme Süresi, (dk)	260		
Genleşme (Le Chatelier), (mm)	1		

##### 3.1.3. Su

Çalışmada üretilen SSB karışımlarında TS EN 1008 standardına uygun olan Bilecik içilebilir şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

##### 3.1.4. Mineral katkıları

Çalışmada üretilen SSB karışımlarında Bilecik SANÇİM Çimento fabrikasından temin edilen Tunçbilek Termik Santrali uçucu külü ve Bolu Çimento A.Ş çimento fabrikasından temin edilen granüle YFC kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan mineral katkıların özellikleri Çizelge 3.2'de ve görünüşleri Şekil 3.1'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Deneyde kullanılan mineral katkıların özellikleri.

Bileşim(%)	UK	YFC
SiO <sub>2</sub>	58.59	35.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.89	17.54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.31	0.50
S+F+A	89.79	-
CaO	4.46	37.79
MgO	1.41	5.50
Na <sub>2</sub> O	0.24	0.30
K <sub>2</sub> O	1.81	0.63
SO <sub>3</sub>	0.41	1.15
Kızdırma kaybı	1.39	-

**Şekil 3.1.** Çalışmada kullanılan UK ve YFC

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Numune hazırlanması

Deneysel çalışmalarda UK ve YFC'nin SSB özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi için 7 farklı seride beton üretilmiştir. Üretilen beton serileri kullanılan katkı tipine göre isimlendirilmiş olup numune isimlendirmelerinin açılımı Çizelge 3.3'de verilmiştir. SSB'nin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için 150x300 mm boyutlarındaki silindir kalıplar kullanılmaktadır. Zemin sıkıştırma yönteminde; SSB silindir numunelerin hazırlanmasında 2 yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; Modifiye Proktor tokmağı (ASTM D 1557) ve titreşimli tokmak (ASTM C 1435)'tir.

Modifiye Proktor tokmağı ile silindir numune hazırlanmasında, SSB karışımı Proktor kalıbına 5 tabaka halinde yerleştirilir. Her tabakada 4,5 kg ağırlığındaki tokmak,

457 mm yükseklikten numune üzerine 15 defa bırakılır. 2700 kJ/m<sup>3</sup>'lük enerji ile numune sıkıştırılır (Choi et.al., 2001). Ancak, 150 mm çapındaki silindir kalıp, Proktor kalıbından daha geniş olduğundan aynı sıkıştırma enerjisini elde etmek için standart prosedürde ayarlama yapmak gerekmektedir. Bunun için aynı tokmakla numunenin 6 tabakada ve her tabakada 122 düşüşle sıkıştırılması genel olarak kabul edilmektedir. Casias ve arkadaşları (1988), sıkıştırma sırasında her tabakadaki 122 vuruşun, tanelerde önemli kırılmalara yol açtığını, agrega tane dağılımı ve SSB'nin dayanımını olumsuz etkilediğinden 50 vuruş gerektiğini önermektedirler (Choi et.al., 2001).

**Çizelge 3.3.** SSB numunelerin adlandırılması.

Numune Kodu	Numune İçeriği
Kontrol	Mineral katkı içermeyen referans SSB numunesi
10 UK	% 10 UK+%90 Çimento içeren SSB numunesi
20 UK	%20 UK+%80 Çimento içeren SSB numunesi
30 UK	%30 UK+%70 Çimento içeren SSB numunesi
10 YFC	%10YFC+%90 Çimento içeren SSB numunesi
20 YFC	%20YFC+%80 Çimento içeren SSB numunesi
30 YFC	%30YFC+%70 Çimento içeren SSB numunesi

Titreşimli tokmakla silindir numunelerin hazırlanmasında Modifiye Proktor testine alternatif olan bu yöntem daha pratik olup, sıkıştırma 10±0.2 kg ağırlığında, minimum 900 W güce sahip ve dakikada en az 2000 darbe sağlayan tokmak ile yapılmaktadır. (ASTM C 1435, 1999). Bu yöntem, maksimum dane çapı 50 mm'den küçük agregaların kullanılması durumunda uygundur. Numune karışım hazırlandıktan sonra 45 dk içinde kalıplara yerleştirilmelidir. Numune kalıba 3 eşit kademede yerleştirilmekte ve her kademede Şekil 3.2'de gösterildiği gibi kalıp ile bastırma plakası arasında yüzük şeklinde harç oluşuncaya kadar 15-20 sn titreşim uygulanmaktadır (ASTM C 1435, 1999). Şekil 3.3'de titreşimli tokmak ile numunenin sıkıştırılması görülmektedir.

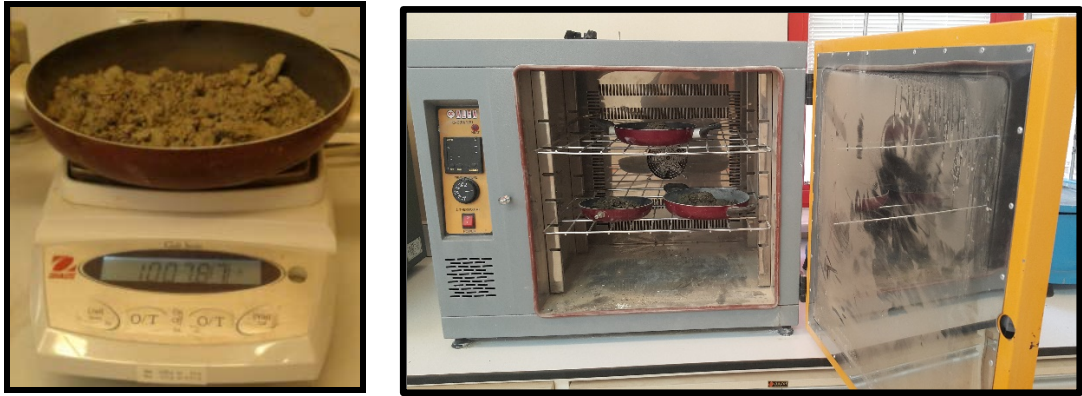


**Şekil 3.2.** Titreşimle sıkıştırılmış numune, kalıp ile plaka arasındaki harç oluşumu.



**Şekil 3.3.** Titreşimli tokmakla numune hazırlanması.

Bu şekilde her seri için farklı su muhtevalarına sahip deneme karışımları üretilmiştir. Üretilen deneme karışımlarından Şekil 3.4’de gösterildiği gibi numuneler alınıp tartılmış ve sonrasında ALFA marka etüve yerleştirilmiştir. 24 saat sonrasında oda sıcaklığında soğutulan numuneler tekrar tartılmıştır. Elde edilen verilerden Excel yardımıyla maksimum kuru birim ağırlığa karşılık gelen en uygun su muhtevaları belirlenmiştir. Her seriye ait en uygun su muhtevaları, maksimum kuru birim ağırlık, su/bağlayıcı oranı ve  $1\text{m}^3$  SSB üretimi için gerekli karışım suyu miktarı Çizelge 3.4’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.4.** Numune tartımı ve etüv.

Beton üretimi 40 dm<sup>3</sup> kapasiteli beton mikserinde yapılmıştır. Beton mikserinin içine önce kuru karışımı oluşturacak agregalar atılmıştır. Daha sonra kuru olarak karıştırılan bağlayıcı malzeme/malzemeler (çimento/uçucu kül/cüruf) mikserindeki agregaya karışımına eklenmiş ve homojen oluncaya kadar karıştırılmıştır. Homojen karışım elde edilince de yavaş yavaş karışım suyu eklenmiştir. SSB karışımı uygun kıvamda ulaşıncaya önceden hazırlanıp yağlanmış 150x300 mm boyutlarındaki silindir ve 100x100x500 mm boyutlarındaki prizmatik kalıplara titreşimli tokmakla kademeli şekilde yerleştirilmiştir. Prizmatik kalıplarda her tabaka Şekil 3.5’de gösterildiği gibi kalıp ile bastırma plakası arasında harç görününceye kadar soldan sağa ve sağdan sola 6 pas geçişle numuneler sıkıştırılmıştır. Çizelge 3.5’te 1m<sup>3</sup> SSB üretimi için gerekli malzeme miktarları gösterilmiştir.

**Çizelge 3.4.** SSB karışımları için su miktarları.

Numune adı	En uygun su muhtevası (%)	Maksimum kuru birim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	1 m <sup>3</sup> için karışım suyu miktarı (kg)
Kontrol	5.70	2284	129
10 UK	5.82	2285	131
20 UK	5.90	2282	133
30 UK	6.08	2204	137
10 YFC	5.79	2301	131
20 YFC	6.06	2283	137
30 YFC	6.60	2267	149



Şekil 3.5. Prizmatik kalıplara SSB numune yerleştirilmesi.

Çizelge 3.5. 1 m<sup>3</sup> SSB üretiminde kullanılan malzeme miktarları.

Numune adı	Çimento (kg)	Su (kg)	UK-YFC (kg)	Agrega (kg)			s/b oranı
				0-5 mm	5-12 mm	15-22 mm	
Kontrol	350	129	-	1088	383	439	0.37
10 UK	315	131	35	1088	383	439	0.37
20 UK	280	133	70	1088	383	439	0.38
30 UK	245	137	105	1088	383	439	0.39
10 YFC	315	131	35	1088	383	439	0.37
20 YFC	280	137	70	1088	383	439	0.39
30 YFC	245	149	105	1088	383	439	0.43

### 3.3. Elek Analizi Deneyi

SSB karışımlarında kullanılacak olan agreganın tane dağılımı elek analizi deneyi ile belirlenmiştir. SSB elek analizinde kullanılan elekler 75 µm, 150 µm, 1,18 mm, 4,75 mm, 9,5 mm, 12,5 mm, 19 mm, 25 mm boyutlarındadır. Agreganın numuneleri elek 105 °C etüvde kurutulmuş ve Şekil 3.6'daki eleklerle agreganın tane dağılımı belirlenmiştir.



Şekil 3.6. Granülometri için kullanılan elekler.

### 3.4. Sıkıştırma Faktörü Deneyi

Beton işlenebilirlik deneylerinden olan sıkıştırma faktörü deneyi TS 2871 standardına göre yapılmaktadır. Deneyde SSB numunesi Şekil 3.7’de gösterilen ELE marka sıkıştırma faktörü deney düzeneğindeki üst koniye yavaşça konulur. Koni tamamen doldurulduktan sonra üst yüzeyi mala ile sıyrılarak düzeltilir. Kapak açılarak beton alt koniye düşürülür. Daha sonra da alt koninin kapağı açılarak beton, ağırlığı önceden tartılmış olan silindir kaba düşürülür. Silindirin üzeri mala ile düzeltilir ve dış yüzeyi temizlenir. Beton ile dolu silindir tekrar tartılır. Daha sonra içi boşaltılıp temizlenen aynı silindir kap yaklaşık 5 cm’lik tabakalar halinde aynı beton numunesi ile tekrar doldurulur. Her tabaka şişleme çubuğu ile şişlenir ve numune ile dolu kap tartılır.



Şekil 3.7. Sıkıştırma faktörü deney düzeneği.

Bundan sonra sıkıştırma faktörü E. 3.1’deki formül ile hesaplanır. Sıkıştırma faktörü deneyi özellikle kuru kıvamlı betonlar için uygun olan işlenebilirlik deneylerinden birisidir.

$$k = \frac{(M_1 - M_0)}{(M_2 - M_1)}$$

(3.1)

$k$  = Sıkıştırma faktörü (%)

$M_0$  = Silindir kabın boş ağırlığı (kg)

$M_1$  = Beton ve Silindir kabın birlikte ağırlığı (kg)

$M_2$  = Sıkıştırılmış betonla doldurulmuş silindir kabın ağırlığı (kg)

### 3.5. Ve-Be deneyi

SSB'nin sıkıştırılabilmesi için uygun kıvamda olması gerekmektedir. İşlenebilirliği etkileyen faktörler normal betondaki gibi agregata tane dağılımı, çimento, mineral katkı, ince malzeme, su ve hava içeriğidir. Agregata arası boşlukları dolduracak seviyede harç olduğu zaman SSB'nin işlenebilirliği TS EN 12350-3 ve ASTM C 1170-91 standartlarına göre Ve-Be aletiyle ölçülebilir. Ve-Be deneyi, SSB gibi kuru, çok kuru ve aşırı kuru betonların kıvamını bulmaya yarayan bir deney yöntemidir. Deneyde Şekil 3.8'de gösterilen ELE marka Ve-Be aletindeki yükleme plakasının etrafına bir miktar macun çıkmasına olanak sağlayan su miktarı ve kıvam, karışım için uygundur. Ve-Be süresi karışım oranlarına göre çok farklılık göstermektedir (ACI, 1999).

Deney düzeneğindeki kaba, çökme hunisiyle beton yerleştirilir ve huni çekilir. Şeffaf plastik disk betonun üzerine getirilir ve aynı anda alttaki sarsma tablası çalıştırılır. Betonun şeffaf disk ile kap arasında yüzük şeklinde harç oluşana kadar geçen süre Ve-Be süresi olarak kaydedilir.



Şekil 3.8. Ve-Be deneyi düzeneği.

### 3.6. Tek Eksenli Basınç Deneyi

Tek eksenli basınç deneyi TS 3114 ve ISO 4012'ye uygun olarak yapılmıştır. 150x300 mm boyutlarındaki silindir numuneler kirece doymun 20°C sıcaklıktaki kür havuzunda şartlandırılmıştır. Deney 7, 28 ve 90. günler sonunda Şekil 3.9'da gösterilen ÇEVİK MAKİNA marka 2000 kN yük kapasiteli basınç presinde 0.05 MPa/sn yükleme hızıyla yapılmıştır. Gelen yükün eşit dağılması için silindir numunelerin üst yüzeylerine Şekil 3.10'da gösterildiği gibi alçı başlıklar yapılmıştır.



Şekil 3.9. Basınç deney cihazı.



Şekil 3.10. Silindir numunelere uygulanan alçı başlıklar.

### 3.7. Silindir Yarma Deneyi

Silindir yarma deneyi, TS EN 12390-6 standardında belirtilen şekilde 150x300 mm boyutlu silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Numuneler Şekil 3.11'deki ÇEVİK MAKİNA marka 2000 kN yük kapasiteli basınç presinde 0.05 MPa/sn yükleme hızıyla

deneye tabi tutulmuştur. Numuneler kirece doygun 20°C sıcaklıktaki kür havuzunda şartlandırılmıştır. Deney 150x300 mm boyutlarındaki silindir numunelere 7, 28, 90. günler sonunda uygulanmıştır.



Şekil 3.11. Silindir yarma deneyi.

Cihazdan gelen yük özel numune haznesi üzerindeki çelik parça yardımıyla numune boyunca çizgisel olarak etki etmektedir. Numuneye uygulanan yük en büyük değere ulaşınca numune boyuna olarak kırılmaktadır. Daha sonra E. 3.2 ifadesi yardımıyla yarmada çekme dayanımı hesaplanıyor.

$$f_{ct} = \frac{2xF}{\pi xLxd} \quad (3.2)$$

$f_{ct}$  = Silindir yarma dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  = Cihazda okunan en yükse kuvvet (N)

$L$  = Numune boyu (mm)

$d$  = Numune çapı (mm)

### 3.8. Eğilme Deneyi

Eğilme deneyi, TS EN 12390-5 standardında belirtildiği şekilde uygulanmıştır. Deney numuneleri Şekil 3.12’de gösterilen titreşimli tokmak yardımıyla, matkap ucuna özel bastırma plakası takılarak hazırlanmıştır.



**Şekil 3.12.** Kiriş numune hazırlanması.

Numuneler kirece doygun 20°C sıcaklıktaki kür havuzunda şartlandırılmıştır. Deneysel 100x100x500 mm boyutlarındaki prizmatik numuneler üzerinde 7, 28 ve 90 gün sonlarında Şekil 3.13’de gösterilen ELE marka eğilme test cihazında uygulanmıştır. SSB numuneleri altta bulunan iki mesnetin üzerine tam ortaya gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Yukarıdan gelen yük numunelerin tam ortasından 0.05 MPa/sn yükleme hızı uygulanarak eğilme momentine tabi tutulmuştur. Buradan bulunan değer ve E. 3.3 ifadesi yardımıyla her bir numunenin eğilme dayanımları hesaplanmıştır.



**Şekil 3.13.** Eğilme deneyi.

$$F_e = \frac{3FxL}{2bx d^2}$$

(3.3)

Burada;

$f_{ct}$  = Eğilme dayanımı (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  = Maksimum yük (N)

$L$  = Mesnetler arası mesafe (mm)

$b$  = Kiriş en kesit yüksekliği (mm)

$d$  = Kiriş en kesit genişliği (mm)

### 3.9. Ultrases Geçiş Hızı Deneyi

Ultrases deneyi MATEST marka ultrases cihazı ile ASTM C 597 standardına uygun olarak 7, 28 ve 90. günler sonunda 100x100x500 mm boyutlarındaki dikdörtgen prizması şeklindeki numuneler ve 150x300 mm boyutlarındaki silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Deney ultrasonik test cihazı numune beton yüzeyine ultrases uygulayarak beton içerisinde basınç dalgaları oluşturarak, ses üstü bu dalganın numunenin üzerindeki vericinin bağlı olduğu yüzeyden alıcının bağlı olduğu yüzeye ulaştığı süre  $\mu$ s olarak ölçülmüştür. Daha sonra ölçülen bu zamanda ses dalgasının hızı E. 3.4'deki ifade ile hesaplanmıştır. Deney numuneleri Şekil 3.14'da gösterilmiştir.

$$V = \frac{L}{t} \quad (3.4)$$

$V$  = ultrases hızı (km/sn)

$L$  = Numune boyu (km)

$t$  = Süre (sn)



Şekil 3.14. Ultrases deneyinin yapılışı.

### 3.10. Aşınma Deneyi

Aşınma deneyi, TS 2824 EN 1338 (2005) standardına uygun olarak Şekil 3.15'deki VOMMAK marka Böhme aşınma deneyi cihazında yapılmıştır. Deney için 70x70x70 mm boyutlarındaki küp numuneler hazırlanmış ve 28 günlük kür süresi sonunda deney yapılmıştır. Deneyde numunelerin kütleli ve hacimsel değişimleri ölçülmüştür. Hazırlanan numuneler  $30 \pm 1$  devir/dakika hızla dönebilen 750 mm çapındaki aşındırıcı çelik disk üzerine yerleştirilmiştir. Numuneyi sabitleyen çelik manevela numuneye  $294 \pm 3$  N düşey yük uygulamaktadır. Böhme aşındırma cihazının üzerindeki devir saatinden devir sayısı 22 devir/dakika olarak ayarlanmıştır.

Deneye başlamadan önce numunenin boyutları ve ağırlığı belirlenmiştir. Çelik disk üzerinde numunenin yoluna gelecek şekilde  $20 \pm 0,5$  gr aşındırıcı suni krondum tozu kullanılmıştır. Disk döndükçe numune ve disk arasında kalan korondum tozu numune üzerinde aşındırma etkisi yapmıştır. Diskin dönmesiyle birlikte dışa savrulan korondum tozu fırça yardımıyla numunenin yolu üzerine getirilmiştir. Her defasında çelik diskin üzeri temizlenip yeni krondum tozu koyularak her bir numuneye 16 defa 22 devir uygulanmıştır. Deney sonunda tekrar numunenin boyutları ve ağırlığı ölçülüp, aşınma kaynaklı değişimler E. 3.5'teki ifade yardımıyla belirlenmiştir.



Şekil 3.15. Böhme aşınma deneyinin yapılışı.

$$\Delta = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (3.5)$$

$\Delta$  = Hacimsel/kütlesel değişim (%)

$W_1$  = İlk hacim/kütle (cm<sup>3</sup>/gr)

$W_2$  = Son hacim/kütle (cm<sup>3</sup>/gr)

### 3.11. Donma-Çözölme Deneyi

Donma-çözölme deneyi TS EN 1367-1 standardına uygun olarak 150\*300 mm boyutlarındaki silindir numuneler üzerinde uygulanmıştır. Bu deney beton yolun servis ömrü süresince maruz kalacağı çevrele şartlar karşısında sergilediği performansı belirlemek amacıyla yapılmıştır. Her bir seri için 3 adet olmak üzere toplam 21 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra her seriden referans olmak üzere 1 numune üzerinde basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Kalan numunelerin ağırlık ölçümleri de yapıldıktan sonra numuneler otomatik donma-çözölme deney kabineine yerleştirilmiştir. Numuneler -20 °C'de 2 saat +20 °C'de 2 saat bekletilecek şekilde 0,1°C/dk sıcaklık değişim hızına sahip Şekil 3.16'da gösterilen UTEST marka hava sirkülasyonlu donma-çözölme kabinde -20 °C ve +20 °C arasında 50 çevrimle deneye tabi tutulmuştur.



Şekil 3.16. Donma-çözölme deney dolabı.

Çevrimler sonunda donma-çözölme sonucu oluşan ağırlık kayıplarını belirlemek için tekrar ağırlık ölçümleri yapılmıştır ve her bir serinin ortalaması alınmıştır.

Ağırlıkların ölçülen numunelere daha sonra da donma-çözünmeden kaynaklanan dayanım kaybını belirlemek için basınç dayanım deneyi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların ortalaması alınıp deney sonuçları değerlendirilmiştir.

Sıcaklıkların sıfırın altına düştüğü kış aylarında betonun donması ve sıfırın üstüne çıktığı zamanlarda da çözülmesi sonucu beton yol yüzeylerinde bozulmalar oluşmaktadır. Bu deney, SSB yol kaplamasının servis ömrü boyunca donma çözülme karşısında nasıl bir davranış sergilediğini incelemek ve mineral katkıların nasıl etki ettiğini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

### 3.12. Buz Çözücü Tuzların Etkisi (CDF) Deneyi

CDF deneyi TSE-CEN/TS 12390-9 standardına uygun olarak yapılmıştır (Setzer, vd., 1996; Setzer, vd., 1996). Deney 150x150 mm boyutlarındaki silindir numuneler üzerinde uygulanmıştır. Her bir seri için 2 adet numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler 28 gün kür havuzunda şartlandırılmıştır. Havuzdan çıkan numuneler etüvde 110 °C’de 1 gün bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan numuneler soğutulduktan sonra Şekil 3.17’de gösterildiği gibi numunelere alt yüzeyinden itibaren yaklaşık 6 cm kadar epoksi sürülerek NaCl çözeltisinin sadece numunenin alt yüzeyine etki etmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.17. CDF deney numunelerine epoksi uygulanması.

Epoksi sonrası numuneler 20 °C ortam sıcaklığında 1 gün bekletilmiştir. Daha sonra numuneler 7 gün boyunca %3 oranında tuzlu su çözeltisinde Şekil 3.18’de gösterildiği gibi bekletilmiştir. Çözelti yüksekliği 15 mm olup numunenin 5 mm’si çözeltiyle temas halinde olacak şekilde yerleştirilmiştir.



**Şekil 3.18.** Tuzlu su çözeltisindeki numuneler.

Tuzlu su çözeltisinden çıkarılan numuneler Şekil 3.19’da gösterilen ultrasonik su banyosunda yıkanmış ve deneyden çıkan su filtre kağıdından süzölmüştür. Daha sonra filtre kağıdı etüvde kurutularak filtrede kalan malzeme ağırlığı belirlenmiştir. Böylece numunelere zayıf tutunan taneler hassas bir şekilde ayrılarak ağırlıkları hassas bir şekilde belirlenebilmiştir.



**Şekil 3.19.** Ultrasonik banyo.

Bundan sonra da numuneler yine %3 oranında tuzlu su çözeltisinin içerisinde donma-çözünme kabinine yerleştirilmiştir. Kabin  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 3 saat  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 1 saat kalacak şekilde 28 çevrime ayarlanmıştır. Numuneler üzerinde 6, 14 ve 28. çevrimlerde ultrasonik su banyosu yapılarak oluşan ağırlık kayıpları E. 3.6'daki formül yardımıyla belirlenmiştir.

$$m_n = \frac{\mu_s}{A} * 10^6 \quad (3.6)$$

Burada;

$m_n$  = CDF ağırlık kaybı (gr/mm<sup>2</sup>)

$\mu_s$  = n çevrim sununda kopan numune miktarı (gr)

$A$  = Yüzey alanı (mm<sup>2</sup>)

Kış aylarında kar yağmasıyla birlikte yollarda oluşan buzlar, kazalara sebep olmasının önlemek amacıyla ince agregayla karışık olarak tuz kullanılarak eritilmektedir. Atılan bu tuzlar yol yüzeylerinin bozulmasına sebep olmaktadır. Bu da trafikte sürüş konforu ve güvenliği açısından önemli bir problem olmaktadır. CDF deneyi ile SSB beton yol yüzeyinin kış aylarında maruz kaldığı hava şartları karşısında sergilediği yüzey performansını ve mineral katkıların kalıcılık üzerinde nasıl bir etkisinin olduğunu belirlemek amacıyla yapılmıştır.

### 3.13. Su Emme Deneyi

Su emme deneyi 150\*150 mm boyutlarındaki silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. 28 gün kür havuzunda şartlandırılan numuneler, havuzdan çıkarılınca havluyla kurularak yüzey kuru suya doymun hale getirilmiş ve tartılmıştır. Daha sonra numuneler 1 gün süreyle etüvde bırakılmıştır. Etüvden çıkarılan numuneler soğutulduktan sonra tekrar tartılmıştır. Elde edilen bu verilerden numunelerin su emme oranları E. 3.6'daki ifade ile hesaplanmıştır.

$$\Delta = \frac{W_{dyk} - W_k}{W_k} \quad (3.6)$$

Burada;

$\Delta$  = Su emme oranı (%)

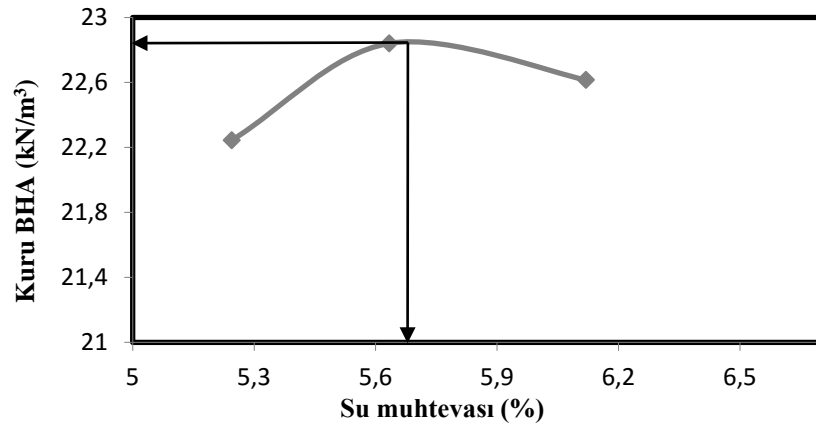
$W_{dyk}$  = Doymun yüzey kuru ağırlık (gr)

$W_k$  = Kuru ağırlık (gr)

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

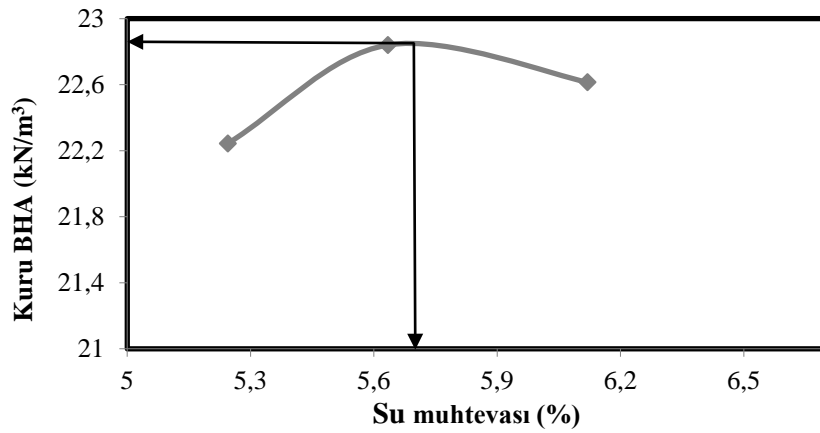
##### 4.1. En uygun Su Muhtevası Sonuçları

SSB karışımlarında çimento yerine % 10, 20, 30 oranlarında UK ve YFC ikame edilmesiyle hazırlanan 7 seri betonda 150x300 mm silindir numunelerde gerçekleştirilen en yüksek kuru birim ağırlık-en uygun su muhtevası belirleme deneylerine ait elde edilen sonuçlar Şekil 4.1-4.7’de gösterilmiştir.



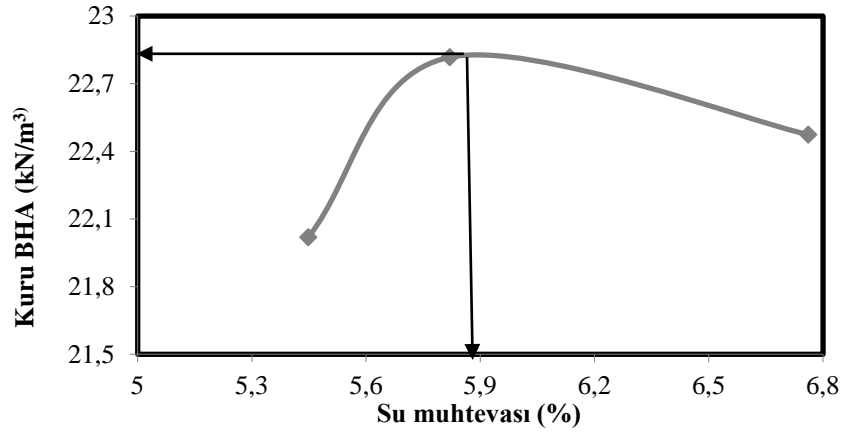
Şekil 4.1. Kontrol betonu en büyük BHA en uygun su muhtevası ilişkisi.

SSB kontrol numunelerinde su muhtevasının en düşük değer aldığı görülmüştür. Çimento yüzey alanı mineral katkıların yüzey alanından daha büyük olması dolayısıyla daha az su ihtiyacı olmuştur.



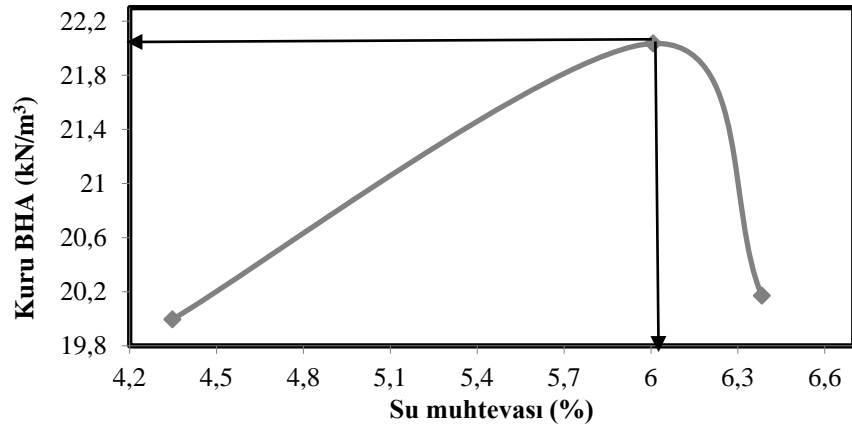
Şekil 4.2. 10 UK betonu en büyük BHA en uygun su muhtevası ilişkisi.

10 UK SSB numunelerinin SSB kontrol numunelerinden % 2 daha fazla su muhtevasına sahip olduğu görülmektedir. Bu da çimento yerine kullanılan mineral katkıların yüzey alanlarının çimento yüzey alanından daha büyük olması dolayısıyla daha fazla su ihtiyacı olmasından kaynaklanmaktadır.



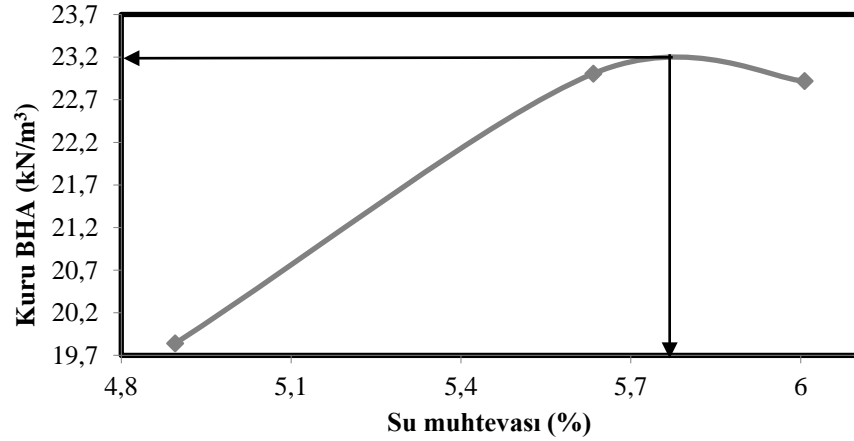
Şekil 4.3. 20 UK betonu en büyük BHA en uygun su muhtevası ilişkisi.

20 UK SSB numunelerinin UK oranındaki artışla beraber 10 UK numunesine benzer şekilde % 4 daha fazla su muhtevasına sahip olduğu görülmektedir. Katkı oranının 2 katına çıkmasıyla birlikte kontrol numunesine göre su ihtiyacı 10 UK numunesine göre 2 kat artışı görülmüştür.



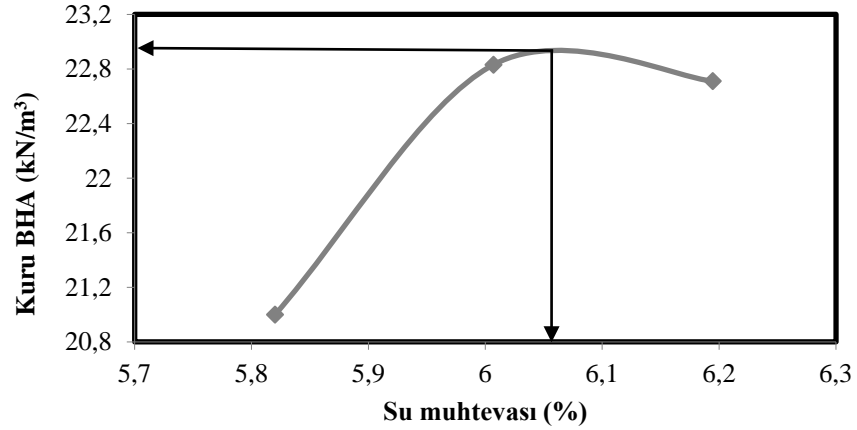
Şekil 4.4. 30 UK betonu en büyük BHA en uygun su muhtevası ilişkisi.

30 UK SSB numunelerinin SSB kontrol numunelerinden % 7 daha fazla su muhtevasına sahip olduğu görülmektedir. Su muhtevasındaki artış UK kullanım oranındaki artışla neredeyse doğrusal bir ilişki halinde yükselmiştir. Bununla birlikte 30 UK numunesinin BHA'sı UK ve kontrol serisi betonlara göre % 4 oranında azalmıştır.



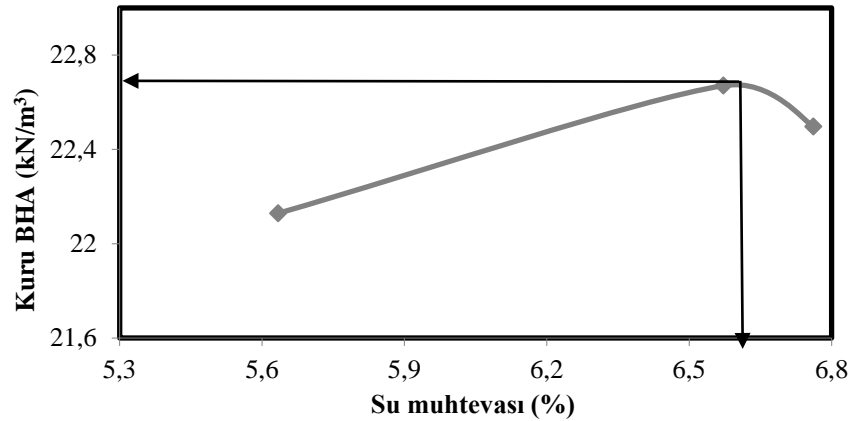
**Şekil 4.5.** 10 YFC betonu en büyük BHA en uygun su muhtevası ilişkisi.

YFC katkılı numunelerin su muhtevası BHA ilişkisi incelendiğinde %10 YFC katkılı 10 YFC numunesinde 10 UK numunesine benzer şekilde kontrol numunesine göre % 2 daha fazla su muhtevası ihtiyacı olduğu görülmüştür.



**Şekil 4.6.** 20 YFC betonu en büyük BHA en uygun su muhtevası ilişkisi.

20 YFC SSB numunesinin SSB kontrol numunesinden % 7 daha fazla su muhtevasına sahip olduğu görülmektedir. Aynı orandaki 20 UK karışımından 20 YFC numunesinin daha fazla su ihtiyacı olduğu görülmektedir. Bunda YFC katkısının daha fazla su tuttuğu küresel tane yapısına sahip UK'nın daha az su ihtiyacı olduğu görülmüştür.



**Şekil 4.7.** 30 YFC betonu en büyük BHA en uygun su muhtevası ilişkisi.

Karışımında çimento yerinde %30 oranında YFC katkısı kullanılan 30 YFC SSB numunesinde kontrol numunesine göre %16 daha fazla su muhtevasına ihtiyaç olduğu görülmüştür. YFC oranındaki artışla birlikte su muhtevasının ciddi oranda arttığı tespit edilmiştir. Bu artış aynı katkı oranına sahip 30 UK numunesine göre yaklaşık 2 katından fazla oranda su miktarındaki artışa sebep olmuştur.

Deney sonuçlarına bakıldığında UK ve YFC katkılı betonların su muhtevaları, katkı oranıyla birlikte artış göstermiştir. Buna neden olarak kullanılan mineral katkıların çimentoya göre daha ince taneli olduğu görülmüştür. SSB karışım oranlarının belirlenmesinde maksimum kuru birim ağırlık önemli olduğundan s/b oranı sabit tutulamamış olup en yüksek BHA'ya karşılık gelen su muhtevaları dikkate alınmıştır.

#### 4.2. İşlenebilirlik Deney Sonuçları

UK ve YFC katkılı SSB karışımlarının işlenebilirlikleri sıkıştırma faktörü, Ve-Be ve Slump deneyleri ile belirlenmiş olup deney sonuçları Çizelge 4.1'te verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** SSB işlenebilirlik deney sonuçları.

Numune Adı	Sıkıştırma Faktörü	Ve-Be süresi (sn)	Slump (cm)
<b>Kontrol</b>	0.83	90	0
<b>10 UK</b>	0.83	69	0
<b>20 UK</b>	0.86	67	0
<b>30 UK</b>	0.83	63	0
<b>10 YFC</b>	0.84	110	0
<b>20 YFC</b>	0.82	105	0
<b>30 YFC</b>	0.80	95	0

Sıkıştırma faktörü deney sonuçları incelendiğinde UK katkılı numunelerde en yüksek sıkıştırma faktörü değerinin 20 UK numunesinden elde edildiği görülmüştür. YFC katkılı numunelerde ise en yüksek sıkıştırma faktörü değeri 0.84 ile 10YFC numunesinden elde edilmiştir. 30 YFC numunesinde 0.80 sıkıştırma faktörü değerinin elde edilmesinde diğer karışımlara göre daha fazla su kullanılması etkili olmuştur.

Ve-Be süreleri incelendiğinde UK katkısındaki artışla birlikte Ve-Be süresinin kontrol numunesine göre %30'a varan oranda azaldığı görülmüştür. Dinamik bir işlenebilirlik deneyi olan Ve-Be deneyinde UK kullanımının bu azalmaya neden olmasının altında çok düzgün küresel taneli yapısının betonun akma direncini azaltması etkili olmuştur. YFC katkılı numunelerde ise Ve-Be süreleri katkı oranına bağlı olarak artışa neden olduğu görülmüştür. 30 YFC numunesinde Ve-Be süresinin azalmasında kontrol numunesine göre %16 oranında daha fazla su kullanılması etken olmuştur. Ancak bu durumda bile 30 YFC numunesinin Ve-Be süresi kontrol numunesine göre % 6 daha yüksek çıkmıştır. Tüm SSB karışımlarının kuru kıvamlı olması nedeniyle statik bir işlenebilirlik deneyi olan slump deneyinden kayda değer bir veri elde edilememiştir.

#### 4.3. BHA ve Su Emme Sonuçları

UK ve YFC katkısı kullanılarak üretilen SSB numunelerinin taze ve sertleşmiş BHA ile sertleşmiş su emme deney sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** SSB su emme ve BHA deney sonuçları.

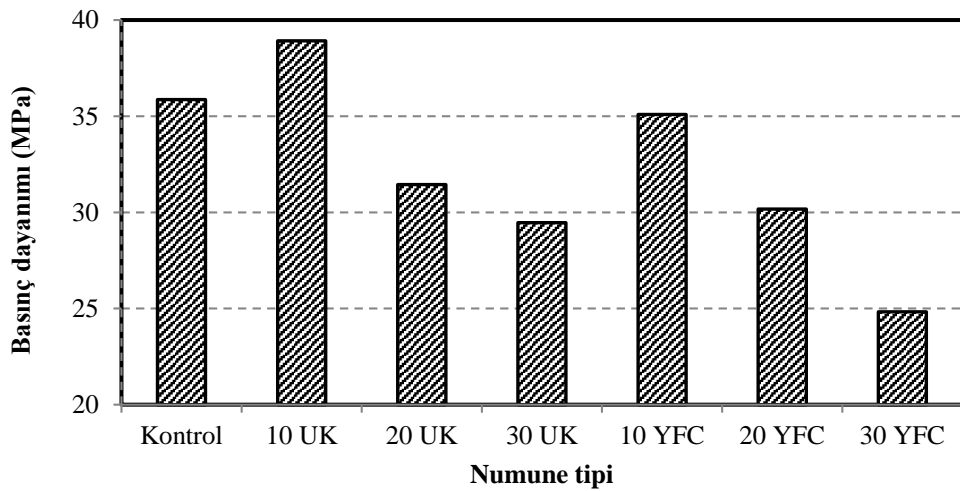
Numune Adı	Taze beton birim hacim ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )	Sertleşmiş beton birim hacim ağırlık (kg/dm <sup>3</sup> )	Su emme Sonuçları (%)
<b>Kontrol</b>	2.50	2.51	0.04
<b>10 UK</b>	2.48	2.50	0.03
<b>20 UK</b>	2.49	2.49	0.03
<b>30 UK</b>	2.47	2.47	0.02
<b>10 YFC</b>	2.50	2.50	0.05
<b>20 YFC</b>	2.50	2.50	0.04
<b>30 YFC</b>	2.48	2.48	0.02

Deney sonuçlarına göre taze ve sertleşmiş BHA'ların UK serisi betonlarda katkı oranındaki artışa bağlı olarak azaldıkları görülmüştür. YFC serisi numunelerde ise 30 YFC betonu dışında kontrol numunesine benzer BHA'lar elde edilmiştir. Su emme

oranlarında ise katkı oranına bağı olarak hem UK hem YFC numunelerinde azaldığı Çizelge 4.1'den görülmüştür.

#### 4.4. Basınç Dayanımı Sonuçları

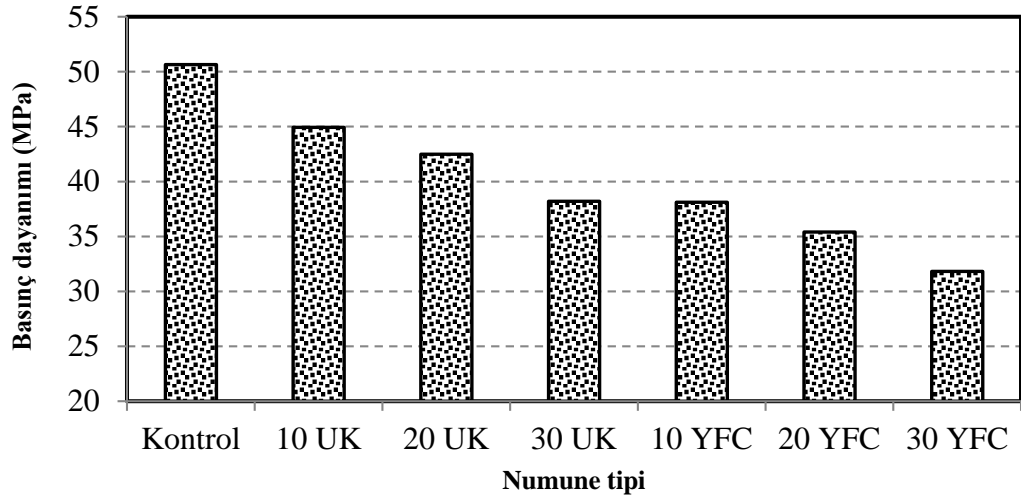
SSB karışımlarında çimento yerine % 10, 20, 30 oranlarında UK ve YFC ikame edilmesiyle hazırlanan 7 seri betonda 150x300 mm silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilen 7 günlük tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.8. 7 günlük SSB basınç dayanımları.

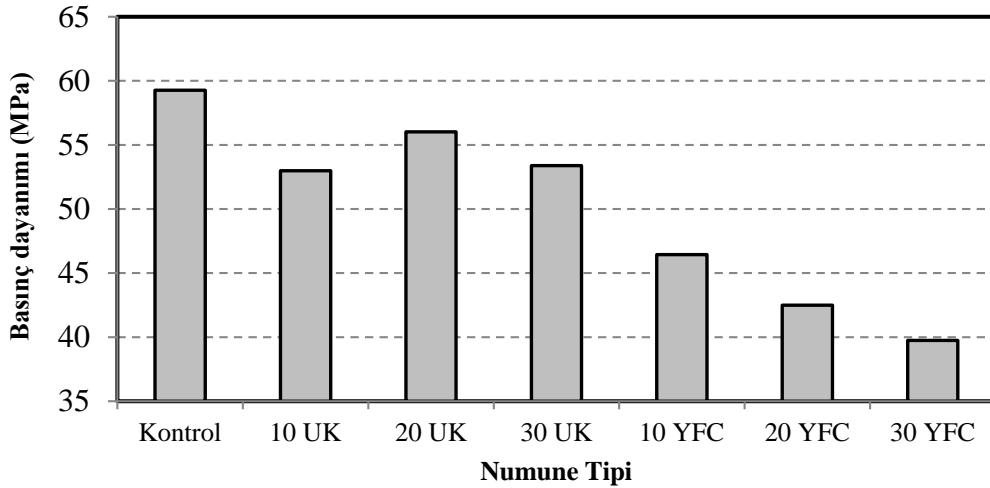
7 günlük basınç dayanımlarının 29.46-38.92 MPa arasında değiştiği, %10 UK katkıli numunede %9 dayanım artışı görülürken 20 UK ve 30 UK betonlarında ise sırasıyla %12 ve %18 dayanım kaybı gerçekleşmiştir. Erken yaşlarda YFC katkıli numunelerde oluşan bu dayanım kayıplarında su/bağlayıcı oranının artması etkili olmuştur.

SSB karışımlarında çimento yerine % 10, 20, 30 oranlarında UK ve YFC ikame edilmesiyle hazırlanan 7 seri betonda 150x300 mm silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilen 28 günlük tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 4.9'da görülmektedir.



**Şekil 4.9.** 28 günlük SSB basınç dayanımları.

28 günlük basınç dayanımlarının 31.82-50.65 MPa arasında değiştiği, 10 UK, 20 UK ve 30 UK betonlarında sırasıyla %12,16 ve 24 dayanım kaybı gerçekleşmiştir. 10 YFC, 20 YFC ve 30 YFC numunelerinde de sırasıyla % 24, 30 ve 38 oranında dayanım kayıpları gerçekleşmiştir. Tüm katkılı SSB serilerinde dayanım değerlerinin azalmasında çimento miktarının azalması ve su muhtevasının artması etkili olmuştur. Kullanılan mineral katkıların puzolanik aktivite göstererek basınç dayanımlarına katkı vermesi ancak daha ileri yaşlarda ortaya çıkabilecek bir durumdur.



**Şekil 4.10.** 90 günlük SSB basınç dayanımları.

90 günlük tek eksenli basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 4.10'da görülmektedir. Basınç dayanımlarının 39.75-59.27 MPa arasında değiştiği, 10 UK, 20 UK ve 30 UK betonlarında sırasıyla %12, 5 ve 10 dayanım kaybı gerçekleşmiştir. 10 YFC, 20 YFC ve 30 YFC numunelerinde de sırasıyla % 22, 29 ve 34 oranında dayanım kayıpları gerçekleşmiştir. Tüm katkılı SSB karışımları içinde 90 günlük ileri yaş dayanımlarında en iyi dayanım performansını 20 UK numunesinin verdiği görülmüştür. Bu sonuçta 28 günlük dayanım sonuçlarına göre puzolanik aktivitenin başlamasıyla birlikte kompozit içindeki tobermorit jellerinin artması etken olmuştur. YFC serisi numunelerde ise basınç dayanımlarındaki iyileşme UK katkılı numunelere göre oldukça düşük seviyede kalmıştır.

#### 4.5. Silindir Yarma Deneyi Sonuçları

SSB karışımlarında çimento yerine % 10, 20, 30 oranlarında uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ikame edilmesiyle hazırlanan 7 seri betonda 150x300 mm silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilen 7 günlük silindir yarma dayanımı değerleri Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Silindir yarma deneyinden elde edilen tek eksenli kırılma kuvvetleri (4.1) bağıntısı yardımıyla yarmada çekme dayanımı değerlerine dönüştürülmüştür.

$$f = \frac{2.P_k}{\pi.d.h} \quad (4.1)$$

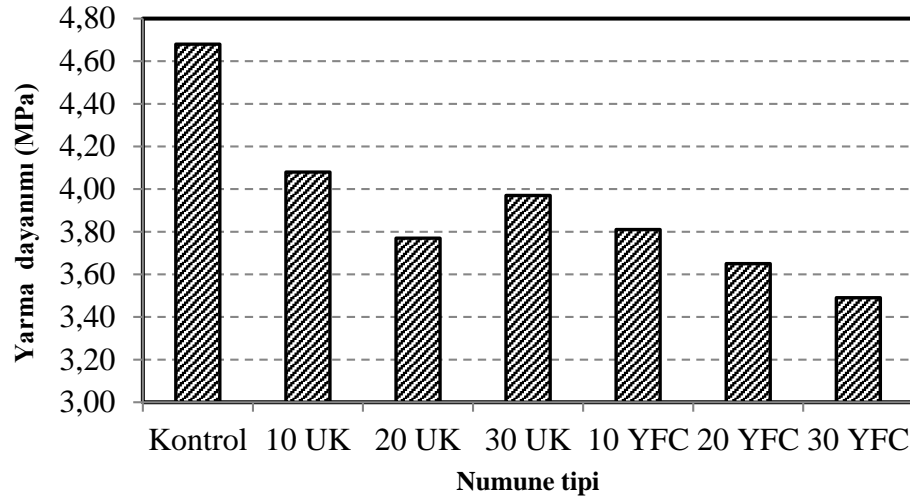
Burada;

$f$  = silindir çekme dayanımı (MPa)

$P_k$  = silindirin yarıldığı andaki kuvvet (N)

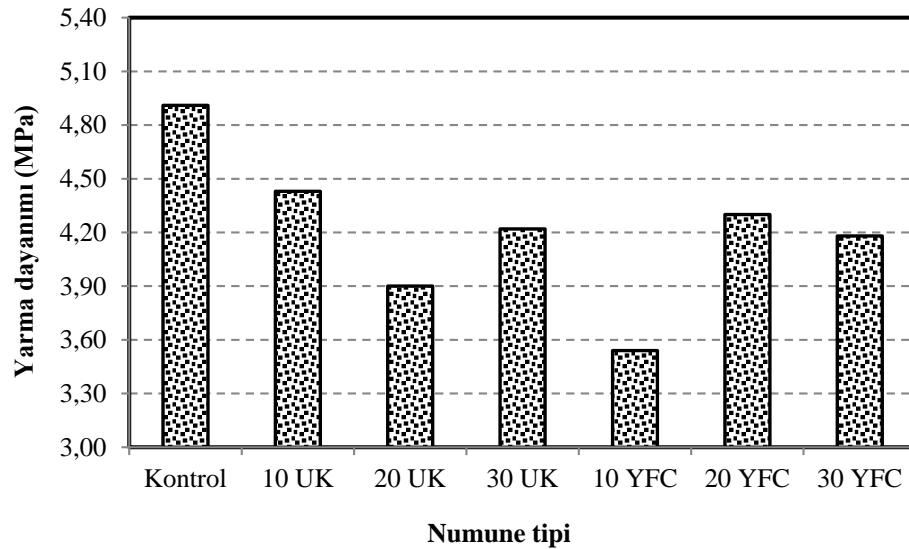
$d$  = silindirin çapı (mm)

$h$  = silindirin yüksekliği (mm)



**Şekil 4.11.** 7 günlük SSB yarma dayanımları.

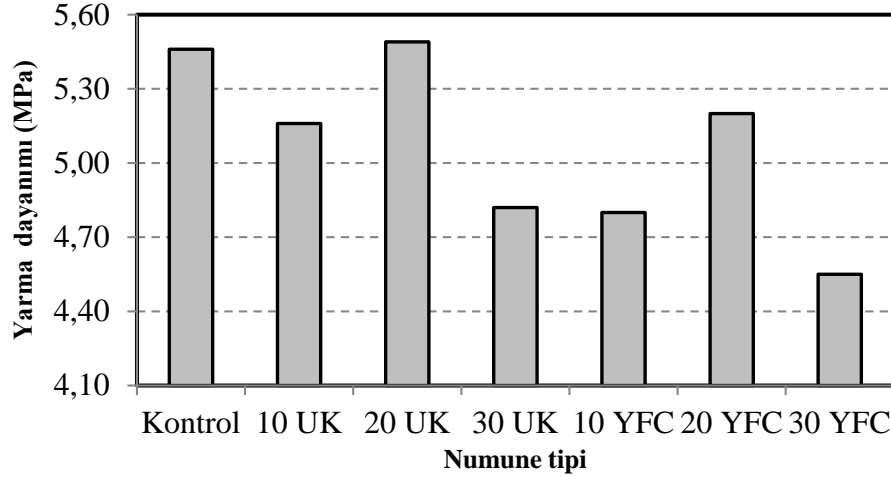
7 günlük silindir yarma dayanımlarının 3.48 MPa ile 4.48 MPa arasında değiştiği görülmüştür. 10 UK, 20 UK ve 30 UK betonlarında sırasıyla % 13, 19, 15 dayanım kaybı gerçekleşmiştir. 10 YFC, 20 YFC ve 30 YFC betonlarında sırasıyla % 18, 22, 25 dayanım kaybı gerçekleşmiştir. Erken yaşlarda oluşan bu dayanım kayıpları mineral katkı artışına bağlı çimento oranındaki azalmaya ve en uygun su muhtevsındaki artışa bağlı olarak gerçekleşmiştir.



**Şekil 4.12.** 28 günlük SSB silindir yarma dayanımları.

28 günlük silindir yarma deney sonuçları Şekil 4.12’de görülmektedir. SSB numunelerinin 28 günlük silindir yarma dayanımlarının 3.54 MPa ile 4.91 MPa arasında

değiştirdiği görülmüştür. 10 UK, 20 UK ve 30 UK betonlarında sırasıyla % 10, 20, 14 dayanım kaybı gerçekleşmiştir. 10 YFC, 20 YFC ve 30 YFC numunelerinde ise sırasıyla % 28, 12, 14 oranında dayanım kayıpları gerçekleşmiştir.



**Şekil 4.13.** 90 günlük SSB silindir yarma dayanımları.

90 günlük silindir yarma dayanımı deney sonuçları Şekil 4.13’de görülmektedir. 90 günlük silindir yarma dayanımlarının 4.55 MPa ile 5. 49 MPa arasında değiştiği görülmüştür. Kontrol betonuna göre % 20 UK katkılı SSB’de % 1 dayanım artışı görülürken % 10- 30 UK katkılı SSB’lerde ise sırasıyla % 5, 12 oranında kayıplar görülmüştür. 10 YFC, 20 YFC ve 30 YFC numunelerinde de sırasıyla % 12, 4, 16 oranında dayanım kayıpları gerçekleşmiştir. 90 günlük yarmada dayanım sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde en iyi yarmada çekme dayanımı sonucunun basınç dayanımına bezer şekilde 20 UK numunesinden elde edildiği görülmüştür. YFC katkılı numunelerde ise en iyi dayanım tıpkı UK serisi numunelerde olduğu gibi % 20’lik katkı oranında elde edilmiştir. Tüm katkılı SSB serilerinde ileri yaşta ortaya çıkan puzolanik aktivite ile yarmada çekme dayanımlarında da iyileşme görülmüştür.

#### 4.6. Eğilme Dayanım Sonuçları

SSB karışımlarında çimento yerine % 10, 20, 30 oranlarında uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ikame edilmesiyle hazırlanan 7 seri betonda 100x100x500 mm prizmatik numuneler üzerinde gerçekleştirilen 7, 28 ve 90 günlük eğilme dayanımı deney sonuçları Şekil 4.14-4.16’da gösterilmiştir. Eğilme dayanımı sonuçları (4.2)’deki ifade ile bulunmuştur.

$$f = \frac{3}{2} \cdot \frac{P_k \cdot l}{h^3} \quad (4.2)$$

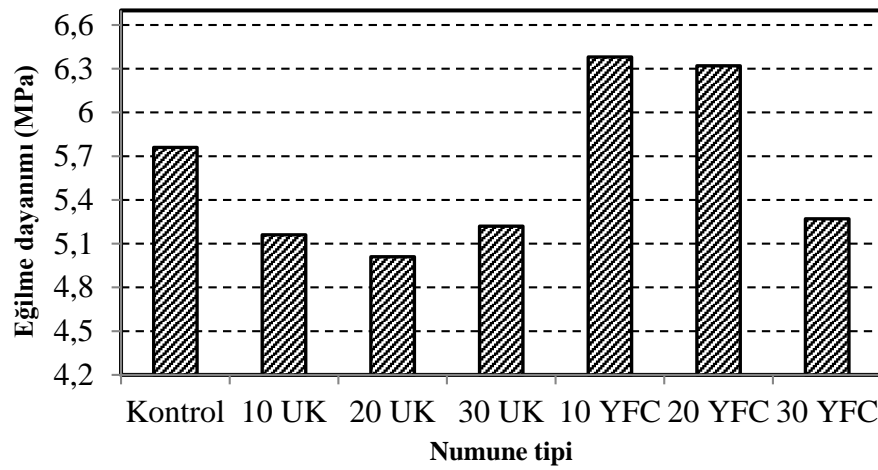
Burada;

$f$  = eğilmede çekme dayanımı (MPa)

$P_k$  = Uygulanan kuvvet (N)

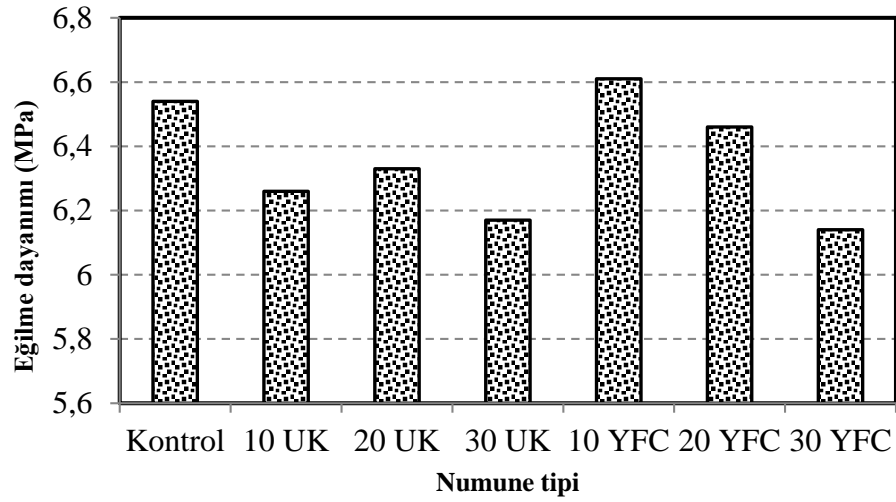
$l$  = mesnetler arası açıklık (mm)

$h$  = kirişin yüksekliği (mm)



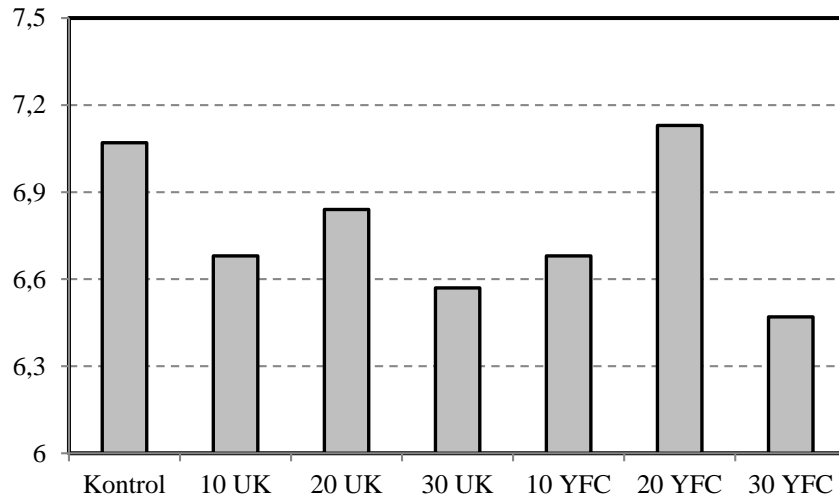
Şekil 4.14. 7 günlük SSB eğilme dayanımları.

SSB karışımlarının 7 günlük eğilme dayanımları 5.01 MPa ile 6.38 MPa arasında değiştiği görülmüştür. 10 UK, 20 UK ve 30 UK katkılı SSB'lerde kontrol betonuna göre görülen dayanım kayıpları sırasıyla % 10, 13, 9 olarak görülmüştür. % 10-20 YFC katkılı SSB'lerde ise sırasıyla % 10, 11 oranında dayanım artışları görülürken, % 30 YFC katkılı SSB'lerde ise % 8 dayanım kaybı görülmüştür. YFC katkılı SSB karışımlarının daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.



Şekil 4.15. 28 günlük SSB eğilme dayanımları.

SSB numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımı deney sonuçları Şekil 4.15’de görülmektedir. SSB numunelerinin 28 günlük eğilme dayanımlarının 6.14 MPa ile 6.54 MPa arasında değiştiği görülmüştür. 10 UK, 20 UK ve 30 UK katkılı SSB’lerde kontrol betonuna göre görülen dayanım kayıpları sırasıyla % 4, 3, 5 olarak görülmüştür. % 10 YFC katkılı SSB’lerde % 1 dayanım artışı görülürken, % 20-30 YFC katkılı SSB’lerde ise sırasıyla % 1, 6 dayanım kaybı görülmüştür.



Şekil 4.16. 90 günlük SSB eğilme dayanımları.

SSB numunelerinin 90 günlük eğilme dayanımı deney sonuçları Şekil 4.16’da görülmektedir. 90 günlük eğilme dayanımı deney sonuçları dayanımları 6.47 MPa ile

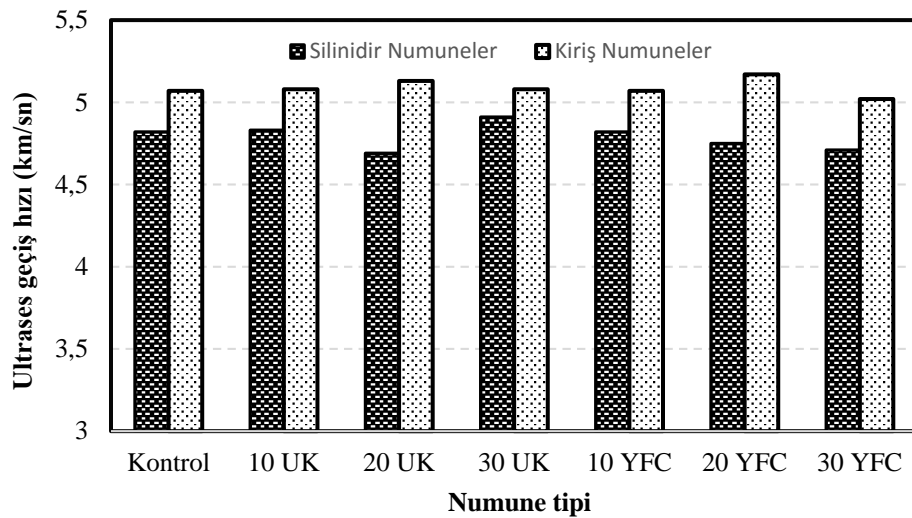
7.13 MPa arasında değiştiği görülmüştür. 10 UK, 20 UK ve 30 UK katkılı SSB'lerde kontrol betonuna göre görülen dayanım kayıpları sırasıyla % 10, 3, 7 olarak görülmüştür. % 10-30 YFC katkılı SSB'lerde sırasıyla % 6, 8 oranında dayanım kaybı görülürken % 20 YFC katkılı SSB'lerde ise % 1 dayanım artışı görülmüştür. Eğilme deney sonuçlarındaki SSB numunelerinin eğilmede çekme dayanımlarının yarmada çekmede dayanımlarına göre daha yüksek çıktığı ancak katkı oranına bağlı dayanım gelişiminin yarmada çekme dayanım sonuçlarıyla benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

#### 4.7. Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçları

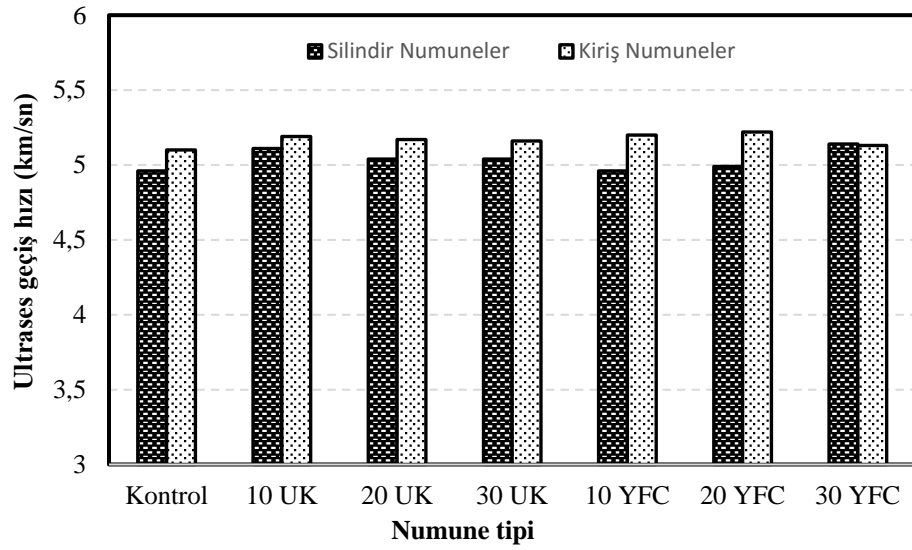
SSB karışımlarında imento yerine % 10, 20, 30 oranlarında UK ve YFC ikame edilmesiyle hazırlanan 7 seri betonda 100x100x500 mm prizmatik numuneler ve 100x300 mm silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Böylece her iki tip numunenin sıkışma düzeylerinin karşılaştırılması mümkün olmuştur. Daha önce literatürde yapılan deneysel çalışmalardan beton kalitesi ile ultrases geçiş hızı arasındaki ilişkiyi ifade etmek için izelge 4.3'de önerilmiştir. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları Şekil 4.17-4.18'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Ultrases hızıyla beton kalitesi değerlendirme kriterleri (te, 2008).

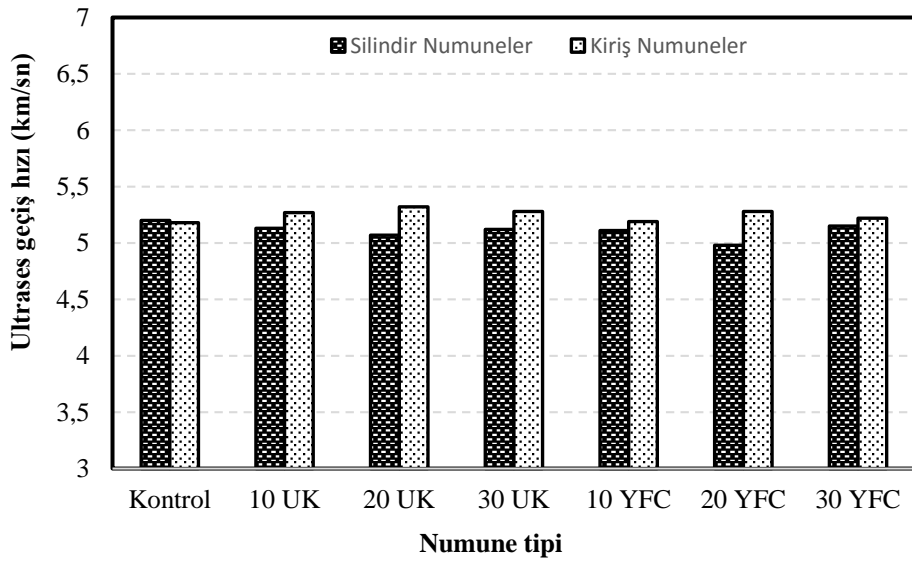
Dalęa hızı (km/sn)	Beton kalitesi
>4.5	Mkemmek
3.50-4.50	İyi
3.00-3.50	şüpheli
2.00-3.00	Zayıf
<2.00	çok zayıf



**Şekil 4.17.** 7 günlük kiriş ve silindir ultrases değerleri.



Şekil 4.18. 28 günlük kiriş ve silindir ultrases değerleri.

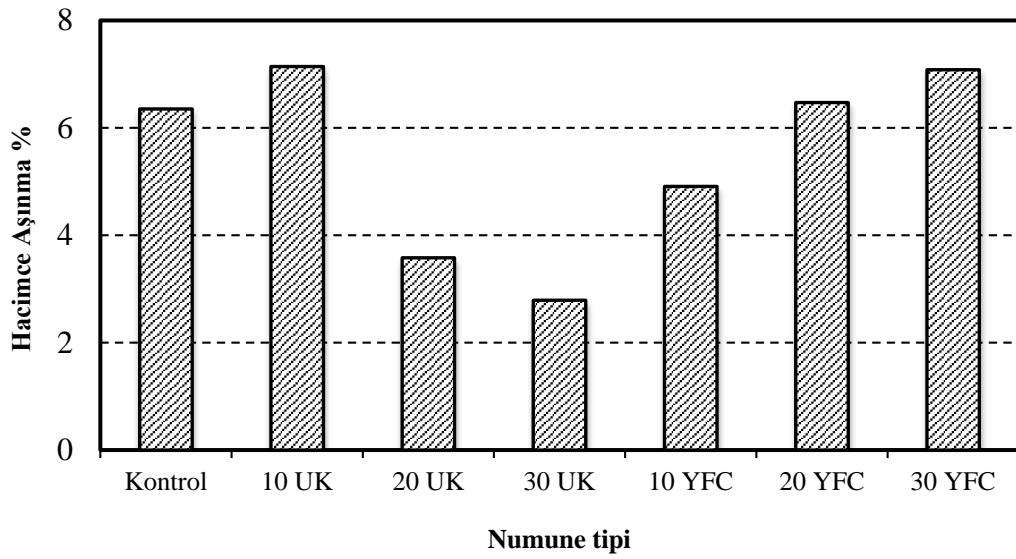


Şekil 4.19. 90 günlük kiriş ve silindir ultrases değerleri.

Ultrases geçiş hızı deney sonuçlarına bakıldığında kiriş numunelerinin ultrases değerlerinin silindir numunelere göre bir miktar daha yüksek çıktığı görülmüştür. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde ultrases geçiş hızı değerlerinin 4.70-5.32 km/sn arasında değiştiği belirlenmiştir.

#### 4.8. Aşınma Direnci Deney Sonuçları

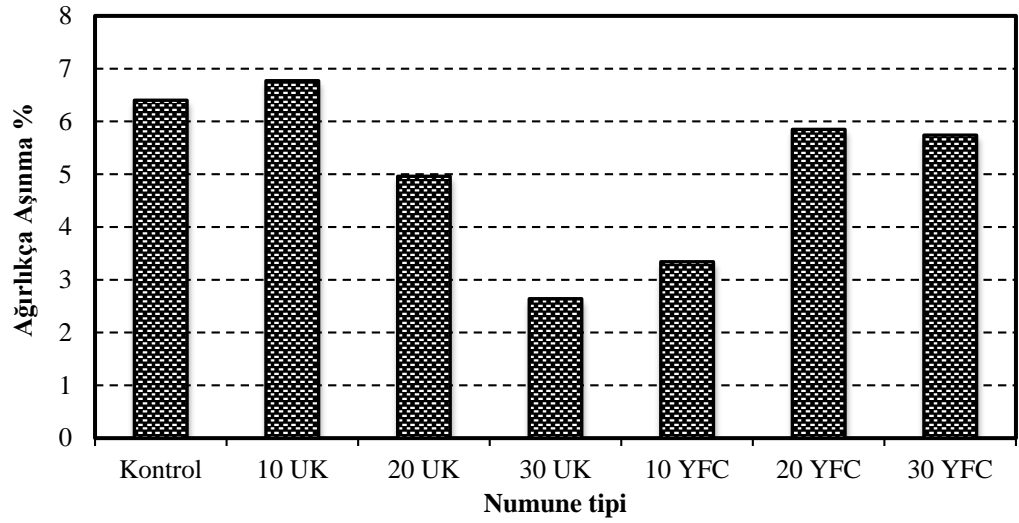
SSB yol kaplamaları yoğun ve dinamik lastik tekerlekli taşıt trafiği altında kaldığından aşınma etkilerine maruz kalmaktadır. Bu nedenle SSB karışımlarının karayolu uygulamalarında aşınma direnci beton kalıcılığı açısından oldukça önemli bir husustur. Üretilen SSB karışımlarının aşınma davranışı 28 gün standart kür havuzunda şartlandırılmış 70x70x70 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde Böhme deney cihazı ile belirlenmiştir. Aşınma deneyi sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 4.20-4.21'da gösterilmiştir.



Şekil 4.20. Hacimsel aşınma oranları.

Aşınma numunelerinin hacimsel aşınma oranları incelendiğinde (Şekil 4.17) 20 UK ve 30 UK numuneleerinin kontrol numunesine göre sırasıyla % 44, 56 oranında daha az aşındığı belirlenmiştir. YFC serisi numunelerde ise 10 YFC numunesi kontrol numunesine göre % 23 daha az hacim ce aşınırken, 20 YFC ve 30 YFC numuneleri is e sırasıyla % 2, 11 daha fazla aşınmıştır.

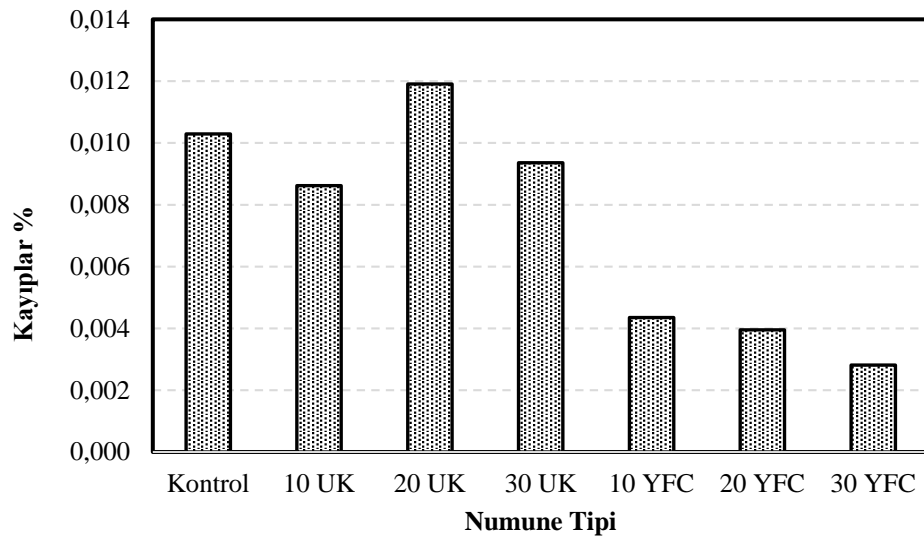
Aşınma nmunelerinin ağırlıkça aşınma oranları Şekil 4.18'de verilmiştir. Ağırlıkça aşınma oranları da hacimsel aşınma oranlarıyla benzer etkileri gösterdiği görülmüştür. Katkı tipinin aşınma özelliklerine etkisi göz önünde bulundurulduğunda UK katkısının % 20 ve % 30 ikame oranlarında oldukça etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 4.21. Ağırlıkça aşınma oranları.

#### 4.9. Donma-Çözülme Deney Sonuçları

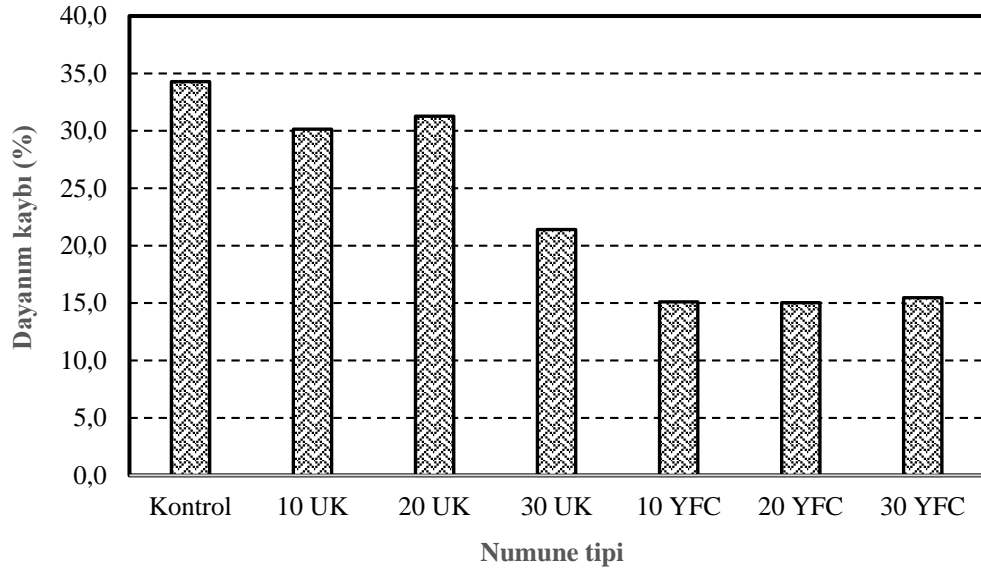
Silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilen 50 çevrimlik sonunda elde edilen ağırlık ve dayanım kayıpları Şekil 4.22-23’de gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Donma-Çözülme ağırlık kayıpları grafiği.

Ağırlık ve dayanım bakımından donma-çözülme sonuçlarında U.K. katkılı betonlarda YFC katkılı betonlara göre daha fazla kayıp görülmektedir. Bununla birlikte he iki mineral katkılı numunelerin de kontrol betonuna göre daha az ağırlık ve dayanım kayıpları verdiği görülmüştür. Deney sonuçlarına ait grafikler de Şekil 4.22-23’de gösterilmiştir.

Deney sonuçları incelendiğinde YFC serisi numunelerin en düşük donma-çözülme ağırlık kaybı verdiği görülmüştür. En yüksek ağırlık kaybı ise 20 UK numunesinden elde edilmiştir. Dayanım sonuçları ve ultrases geçiş hızı değerleri göz önünde bulundurulduğunda yüksek dayanıma sahip olan SSB numunelerinde ağırlık kayıplarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

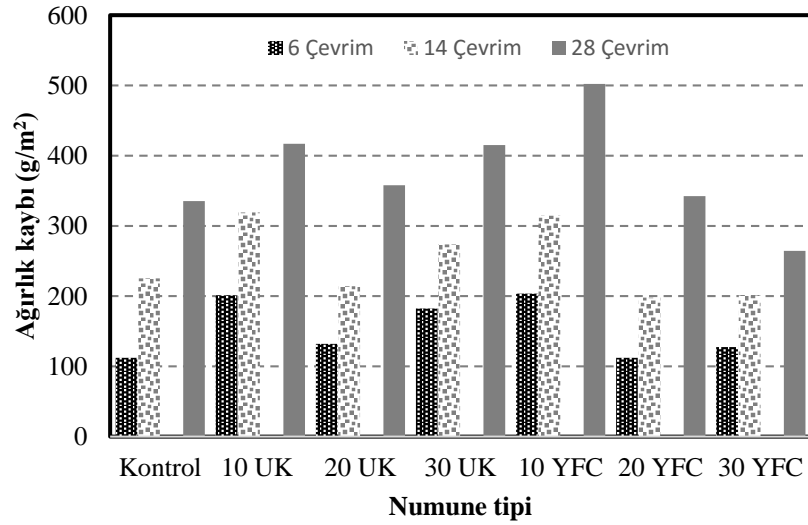


**Şekil 4.23.** Donma-Çözülme dayanım kayıpları grafiği.

SSB numunelerinin donma-çözülme dayanım kayıpları Şekil 4.20’de gösterilmiştir. En yüksek dayanım kaybı %34.3 ile kontrol numunesinde görülürken, 20 UK ve 10 UK numunelerinde de sırasıyla % 31.3 ve % 30.1 dayanım kaybı olduğu belirlenmiştir. YFC serisi numunelerde ise dayanım kayıpları diğer numunelere göre dikkate değer oranda düşük çıkmıştır. Bu davranış üzerinde YFC katkılı SSB numunelerinin daha gözenekli olması ve buna bağlı donma neticesinde betonda oluşan iç gerilimin daha düşük olmasının rol oynadığı düşünülmektedir.

#### 4.10. CDF Deneyi Sonuçları

Buz çözücü tuzlara karşı hazırlanan SSB numunelerinin dayanıklılığını belirlemek için 6, 14 ve 28 çevrim olarak yapılan CDF deneyine ait sonuçlar Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.24. CDF deney sonuçları.

Bu sonuçlara göre en düşük ağırlık kayıpları 20 YFC ve 30 YFC numunelerinde sırasıyla 342 gr/m<sup>2</sup> ve 264 gr/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. UK katkıli SSB numunelerinde en iyi performansı 20 UK numunesi göstermiştir. Ancak 28 çevrim sonunda UK katkıli SSB'lerde ağırlık kayıpları kontrol betonundan yüksek çıkmıştır. Buna karşın SSB karışımında kullanılan YFC katkısı % 20 oranında olduğunda kontrol betonuyla neredeyse aynı ağırlık kaybını verirken % 30 olduğu durumlarda NaCl çözeltisinde şartlandırılmış ağırlık kayıpları kontrol betonuna göre % 21 daha düşük çıkmıştır. Bu davranış üzerinde betonun sülfat ve klor direncini iyileştirdiği bilinen mineral katkı önemli rol oynamıştır. CDF deneyi sonucunda YFC'nin SSB karışımlarında % 20 ve üzeri oranlarda kullanılmasının özellikle kış aylarında karla mücadele amacıyla kara yollarında kullanılan buz çözücü tuz uygulamalarına karşı SSB yol kaplamasını daha kalıcı hale getireceği kanaatine varılmıştır.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

YFC ve UK katkılı SSB'nin taze ve sertleşmiş özelliklerinin incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

- Mineral katkı kullanım oranının artmasıyla birlikte SSB karışımlarının en uygun su muhtevası değeri özellikle YFC katkılı SSB'lerde artmıştır. UK katkılı karışımlarda ise UK'nın küresel taneli olması nedeniyle bu artış daha düşük oranda gerçekleşmiştir.
- Taze betonun işlenebilirliği Ve-Be ve sıkıştırma faktörü deneylerinden elde edilen sonuçlara göre UK katkılı SSB'lerde katkı oranındaki artışa rağmen daha işlenebilir kıvamda çıkmıştır. SSB karışımlarında YFC kullanımında ise beton karışımının su ihtiyacını arttırmıştır.
- Basınç dayanımı sonuçlarına göre 7 günlük erken yaş dayanımında 10 UK numunesinin kontrol betonuna göre % 9 oranında daha yüksek dayanım gösterirken 90 günlük ileri yaş katkılı SSB numunelerinde en yüksek basınç dayanımı 56.02 MPa ile 20 UK numunesinden elde edilmiştir. YFC numunelerinde ise basınç dayanımlarının kontrol betonuna göre her yaş numunede düşük çıktığı görülmüştür. Bunda en uygun sıkışmayı sağlayan s/b oranının katkı oranıyla birlikte artması etken olmuştur.
- Silindir yarma deneyi sonuçları incelendiğinde UK katkısının YFC katkısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlardan en uygun mineral katkı oranının hem UK hem YFC için % 20 olduğu belirlenmiştir. Benzer davranış eğilme dayanımı deney sonuçlarında da görülmüştür.
- Eğilme test sonuçlarına baktığımızda ise en iyi sonucun % 10 YFC katkılı beton olduğu ve kontrol betonuna göre % 5 oranında daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. UK katkılı betonlarda en iyi sonucu % 20 katkılı betonun verdiği görülmektedir.
- Aşınma direnci deney sonuçları incelendiğinde hacimce ve ağırlıkça en düşük aşınma kayıpları % 20 ve % 30 UK katkılı SSB numunelerinden elde edilmiştir. YFC katkılı aşınma numunelerinde ise en düşük aşınma kaybı %10 YFC katkılı SSB numunesinden elde edilmiş olup, % 10 üzeri YFC kullanımıyla aşınma direncinin kontrol betonuna göre daha düşük çıktığı belirlenmiştir.

- Donma-Çözülme deneyi sonunda en fazla dayanım kaybı katkısız kontrol betonunda gerçekleşmiş olup YFC katkısı kullanımı SSB'nin donma-çözülme direncini neredeyse 2 katına artırdığı görülmüştür. Bu davranış üzerinde YFC katkılı SSB numunelerinin daha gözenekli olması olduğu düşünülmektedir.
- Buz çözücü tuzlara karşı SSB kalıcılığını arttıran en etkili karışımlar 20 YFC ve 30 YFC karışımları olmuştur. Bu sonuçlar üzerinde YFC'nin UK'ya göre klor ve tuzlara karşı beton direncini arttıran bir puzolan olması etkin olmuştur.
- SSB karışımlarında en uygun sıkışmanın özellikle YFC katkılı betonlarda ilave su kullanmak yerine akışkanlaştırıcı madde kullanılarak sağlanması s/b oranını düşüreceğinden YFC kullanımından kaynaklı dayanım kayıplarını azaltacağı düşünülmektedir.
- Bu çalışmadan elde edilen sonuçlardan, hem UK hem YFC katkıları için en uygun kullanım oranının dayanım, kalıcılık ve ekonomi kriterleri göz önünde bulundurulduğunda % 20 olduğu önerilmektedir.
- Özellikle soğuk iklimlerde ve yoğun kar yağışı alan bölgelerde hizmet veren kara yollarında üstyapı malzemesi olarak kullanılacak SSB'nin YFC katkısı kullanılarak üretilmesiyle daha kalıcı, uzun ömürlü ve düşük bakım onarım maliyetli bir yol kaplaması haline gelmesi SSB'yi bu iklimlerde bitümlü kaplamalara alternatif haline getirmektedir.
- Daha sonra yapılacak çalışmalarda SSB özelliklerini iyileştirmek için YFC ve UK dışında farklı mineral katkı kullanımı, akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyiciler gibi kimyasal katkı kullanımı ve farklı özelliklere sahip lif kullanımıyla ilgili araştırmalar yapılarak SSB özellikleri üzerindeki etkiler incelenebileceği de önerilmektedir .

### KAYNAKLAR

- ACI Committee 207, "Roller Compacted Mass Concrete", *ACI Materials Journal*, 85 (1988).
- ACI Committee 325.10, "State-of-the-Art Report on Roller Compacted Concrete Pavements", ACI Manual of Concrete Practice (1995).
- ACI 207 5R-99, "Roller-compacted Mass Concrete", ACI Manual of Concrete Practice. Part 1, USA, 47 (1999).
- Adaska, W. "Roller-Compacted Concrete (SSB)", PCA Research & Development Information Serial No. 2975., Skokie, IL: Portland Cement Association (2006).
- Aghabaglou, A.M., "Uçucu küllü silindire sıkıştırılmış betonlarda dayanıklılık", Yüksek Lisans **Tezi**, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2011).
- Ağar, E., Sütas, İ. ve Öztas, G., "Beton Yollar(Rijit yol üst yapıları)", *İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası*, İstanbul (1998).
- Ağar, E., Taşdemir, Y., "Silindir ile sıkıştırılabilen Beton Yollar", *Türkiye Hazır Beton Birliği* (2007).
- Ağralıoğlu, N., "Baraj Planlama ve Tasarımı, ", *Su Vakfı Yayınları*, 2: 259 İstanbul
- Anderson, F. A., "RCC Does More", *Concrete International*, 6(5): 35-37 (1984).
- Andriolo R.F., The use of roller compacted concrete Past-Press, *ISSMFE*, Sao Paulo, Brazil, 554 (1998).
- Arslan M., "Beton yol kaplamalarında alternatif beton ve yapım yöntemi araştırmaları", *Gazi Üniversitesi, Bilimsel araştırma projesi kesin rapor*, Ankara (2007).
- Aruntaş, H.Y., "Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım potansiyeli", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1): 193-203 (2006).
- ASTM C 618, "Standard Specification For Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Puzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, Annual Book of ASTM Standards". (2002).
- ASTM C1170-91, "Standard Test Method for Determining Consistency and Density Of Roller Compacted Concrete Using a Vibrating Table, Annual Book of ASTM Standarts" (1998).
- ASTM C 1435, "Standard Practice For Molding Roller Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer, Annual Book of ASTM Standards" (1999).

### KAYNAKLAR (devam ediyor)

- ASTM D 698, “Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, Annual Book of ASTM Standards”
- ASTM D 1557, “Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort, Annual Book of ASTM Standards”
- Atiş, C.D.,” Uçucu Kül İçeren Silindirle Sıkıştırılabilen Betonların Özellikleri”, *Turk J Engin Environ Sci*, 503-515 (2001).
- Baradan, B., “Yapı Malzemesi II”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, İzmir, 221 (2004)
- Baradan, B., Yazıcı, H. ve Aydın, S., “Beton”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, İzmir(2012).
- Cannon, R. W., “Air-Entrained Roller Compacted Concrete”, *Concrete International*, 15(5), 49-54 (1993).
- Cement Association of Canada (CAC), “The Benefits of Concrete Highways” <http://www.cement.ca>, (2002b).
- Choi, Y.K. and Groom, J.L., “RCC Mix Design-Soils Approach”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 13:71-76 (2001).
- Corps of Engineers, *Roller Compacted Concrete*, ASCE Pubs, ISBN 0-87262-999-6 (1994).
- Çetin, O., “Beton yollarda yeni teknolojiler silindirle sıkıştırılabilen beton”, Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2009).
- Dansie, J., “Ready to Roll at Longtan”, *International Water Power & Dam Construction*, London, 47(3): 24-25., (1995).
- Delagrave, A., Marchand, J., Pigeon, M., Boisvert, J., “Deicer Salt Scaling Resistance of Roller Compacted Concrete Pavements”, *ACI Materials Journal*, 96(2): 164-169 (1997).
- Department of Army (DOA), “Engineering and Design Roller Compacted Concrete Pavement Design and Compaction”, *Army Corps of Engineering* (1995).
- Dunstan, M.R.H., “A Review of Design Critical for High RCC Dams”, *Roller Compacted Concrete III*, ASCE, San Diego, California, 132-147 (1992).

### KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Edis, E., “Asfalt ve beton kaplamalı yolların maliyet yönünden karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antakya (2007).
- Erdoğan, T.Y., “Beton”, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını*, Ankara (2003).
- Flasmedya, “Çine Barajı”, <http://www.flasmedya.com/news.asp?idx=10567>, (2013).
- Gauthier, P. and Marchand, J., “Design and Construction of Roller Compacted Concrete In Quebec”, *The Centre de recherche interuniversitaire sur le beton at University Laval* (2005).
- Giovagnoli, M., Schrader, E. and Ercoli, F., “Concepcion Dam: A Practical Solution to RCC Problems”, *Water Power & Dam Construction*, 2 (44): 48-51 (1992).
- Hansen, K.D., “Roller Compacted Concrete Developments in the USA”, *Water Power & Dam Construction*, 38 (1): 9-12 (1986).
- Hansen, K.D., “Built in the USA-RCC Dam Of 1990’s”, *Water Power & Dam Construction*, 4 (46): 24-32 (1994).
- Hansen K. D., “Roller Compacted Concrete: A Civil Engineering Innovation”, *Concrete International*, 18(3): 49-53 (1996).
- Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W., Hazaree, C., Guide for Roller Compacted Concrete Pavements, National Concrete Pavement Technology Center, Institute for Transportation, Iowa State University (2010).
- Hassani, A. and Saghafi, B., “Roller Compacted Concrete for Heavy Duty Pavements”, 6th International DUT Workshop on Fundamental Modeling of Design and Performance of Concrete Pavements, Belgium (2006).
- Jackson, H., “The Construction of The Middle Fork and Galesville RCC Dams”, *Water Power & Dam Construction*, 38 (1): 25-27 (1986).
- Jofre, C., Fernandez, R., Josa, A., and Molina, F., “Spanish Experience with RCC Pavements”, *Roller compacted concrete II*, 467-483 (1998).
- Kajorncheappunngam, S. and Steawart D. F., “Rice Husk Ash in Roller Compacted Concrete”, *Concrete International*, 14(4): 38-44 (1992).
- Karpuz, O., “Beton yol karışımlarındaki ince agreganın yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon (2008).

### KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kavas, T. ve Sabah, E. "Sepiyolit in Lif Takviyeli Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması." **4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyum**, İzmir, 194-199 (2001).
- Koçak, E.S., "A Suitable Roller Compacted Concrete For Kahramanmaraş-Suçatı Dam", **MSc Thesis, Middle East Technical University**, 130 (1998).
- Ludwig, D., Nanni, A. and Shoenberger, J.E., "Application of Roller Compacted Concrete Technology to Roadway Paving", **US Army Corps of Engineers (USACE), Technical Report**, CPAR-GL-94-1 (1994).
- Luhr, D., "RCC Applications for Pavements", **Portland Cement Association** (2008).
- Munn, R. L., "Fly Ash in Roller Compacted Concrete Pavement and Slipformed Applications", 2nd Intern., **Conf. on Ash Technology and Marketing**, 445-460 (1984).
- Murphy, H.W., "Highway Construction in Queensland, American Concrete Institute", Compilation 8: 30-36, **Concrete International: Design and Construction** 9(2), (1987).
- Nanni, A., Ludwig, D., Shoenberger, J., "Roller Compacted Concrete for Highway Pavements", **Concrete International**, 18(5): 33-38 (1996).
- Neville, A.M., "Properties of Concrete", **Pearson Education Limited** (1995).
- Özis, Basmacı, E. ve Harmancıoğlu, N., "Atatürk Nears Completion", **Water Power and Dam Construction** (1990).
- Öziş, Ü., Özel, L., "Karakaya Dam and Powerplant", **International Water Power & Dam Construction**, 7 (41): 20-24 (1989).
- Özkan, Ö., "Çelikhane ve yüksek Fırın Cürufu Katkılı Portland Çimentosunun Özellikleri", **İMO Teknik Dergi**, 257: 3893-3902 (2006).
- Öztürk, A., "Silindirle Sıkıştırılmış Beton Teknolojisinin Türkiye'deki İlk Uygulaması", **TMH 355** (1991).
- Pigeon, M. and Marchand, J., "Frost Resistance of Roller-Compacted Concrete", **Concrete International**, 18(7): 22-26 (1996).
- Piggott, R. W., "Roller Compacted Concrete Pavements, A Study of Long Term Performance", **Portland Cement Concrete - "Research & Development" RP366.01P**, 62(1999).

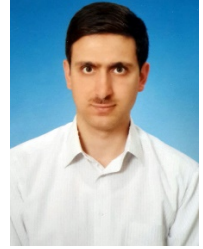
### KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Portland Cement Association (PCA), Roller Compacted Concrete Density: Principles and Practices (2004),
- Portland Cement Association (PCA), Frost Durability of Roller Compacted Concrete Pavements, Service d'Expertise en Matériaux Inc., Research and Development Bulletin RD135, Canada, 138 (2004).
- Portland Cement Association (PCA), "Production of Roller Compacted Concrete" (2006).
- Ragan, S.A., "Proportioning RCC Pavement Mixtures", *Roller Compacted Concrete II*, 380-393 (1988).
- Schrader, E. K., "Design and Facing Options for RCC on Various Foundations", *Water Power & Dam Construction*, Sutton, Surrey, UK (1993).
- Setzer, M.J., Fagerlund, G. and Janssen, D.J., "CDF Test-Test Method For The Freeze-Thaw Resistance Of Concrete-Tests With Sodium Chloride Solution (CDF). RILEM Recommendation", *Materials and Structures*, 3: 523-528 (1996).
- Setzer, M.J., Heine, P., Kasparek, S., Palecki, S., Auberg, R., Feldrappe, V. And Siebel, E., "Final Recommendation Of RILEM TC 176: TTest MethodsOf Frost Resistance Of Concrete : Capillary Suction, Internal Damage and Freeze-Thaw Test Reference Method and Alternative Methods A and B", *Materials and Structures*, 37: 743-753 (2004).
- Sua, N. and Peng, Y. N., "The characteristics and engineering properties of drymix/steam-injection concrete", *Cement and Concrete Research*, 31 (2001).
- Sürmeli, A.S., "Silindirle sıkıştırılmış ağırlık beton barajlar ve bunların ağırlık beton barajlarla karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi*, İstanbul (2002).
- Taşdemir, Y., Vinson, T.S. ve Açar, E., "Roller Compacted Concrete Pavements", *Fifth International Congress On Advances in Civil Engineering*, İstanbul Technical University, İstanbul, 1121- 1129 (2002).
- Taşdemir, M.A., "Uçucu Kül Nedir", *ACE 2002 Sempozyumu, İTÜ İnşaat Fakültesi*, (2002).
- Tarun R.N., Yoon-Moon, C., Rudolph N.K., Shiw S.S., Lori-Lynn C. P., and Bruce W.R., "Strength and Durability of Roller Compacted HVFA Concrete Pavements, Department of Civil Engineering and Mechanics College of Engineering and Applied Science", *The University of Wisconsin – Milwaukee*, Report No. CBU-2001-08,

### KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Taylor, P.C., S.H. Kosmatka, G.F. Voigt, et al., “Guide to the Selection and Use of Hydraulic Cements, and Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual”, National Concrete Pavement Technology Center, *Institute for Transportation*, Iowa State University (2006).
- Toktay M., Erdoğan K., “Cürüflar ve Cürüflü Çimentolar”, *TÇMB AR-GE Enstitüsü*, Ankara (2001).
- Topçu, B., “Beton Teknolojisi”, *Uğur Ofset A.Ş.*, Eskişehir (2006).
- TS 639, Uçucu Küller – Çimentoda Kullanılan, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (1975).
- TS EN 451-1, “Uçucu kül - Deney Metodu - Bölüm 1: Serbest Kalsiyum Oksit Muhtevasının Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2000).
- TS EN 1367-1, “Agrega Isıl Ve Bozunma Özelliklerini Tayin İçin Deneyler – Bölüm 1: Donmaya Ve Çözölmeye Karşı Direnç Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2008).
- TS EN 12350-3, “Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 3: Vebe Deneyi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2002).
- TS 3114 ISO 4012, “Beton Basınç Mukavemeti Deneyi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1998).
- TS 3624, “Sertleşmiş Betonda Özgöl Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (1981).
- TSE-CEN/TS 12390-9, “Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 9: Donma-Çözölme Direnci – Yüzeysel Kabuk Atma (Yüzeysel Yıpranma)”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2011).
- Üte, A.A., “Uçucu kül ve polipropilen lif kullanımının silindirle sıkıştırılmış betonun özelliklerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2008).
- Yaman, İ. Ö., Ceylan, H., “ Silindirle sıkıştırılmış beton yollar ” *HAZIR BETON*, 69–82 (2013).
- Yıldız, D., Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajı Teknolojisi, *TMH 355* ( 1991).

## ÖZGEÇMİŞ



### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mustafa Resul PEKTAŞ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Kocaeli / İzmit ve 06/12/1986

### Eğitim Durumu

İlköğretim : 1992-1999: Akşemsettin İlköğretim Okulu-KOCAELİ  
Lise :İzmit Lisesi-KOCAELİ  
Lisans Öğrenimi : 2005-2010: Sakarya Üniversitesi-SAKARYA, İnşaat Mühendisliği Bölümü (Lisans)  
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce  
Bilgisayar Bilgisi : Office ve Autocad programları

### İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Adapazarı Yapı Denetim Ltd. Şti.-SAKARYA  
MDY Yapı Denetim Ltd. Şti.-KOCAELİ

### İletişim

Adres : Terzibayırı Mah. Kaymaz Sk. No:71/3, İzmit/Kocaeli  
Tel : 0544 839 95 03  
E-Posta Adresi : mresul\_pektas@hotmail.com