T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONDA ELYAF KULLANIMININ DONMA-ÇÖZÜLME DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

Sümeyra GERGİNCİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2019

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONDA ELYAF KULLANIMININ DONMA-ÇÖZÜLME DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

Sümeyra GERGİNCİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2019

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ALĞIN'ın danışmanlığında, Sümeyra GERGİNCİ'nin hazırladığı **"Silindirle Sıkıştırılmış Betonda Elyaf Kullanımının Donma-Çözülme Dayanıklılığına Etkisi"** konulu bu çalışma 18/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman :Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ALĞIN .....

Üye :Prof. Dr. Murat PALA .....

Üye :Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ .....

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylıyorum.

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğraflarınkaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ vi
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
3. MATERYAL ve YÖNTEM 18
3.1. Materyal 18
3.1.1. Çimento 18
3.1.2. Agrega 18
3.1.3. Makro sentetik elyaf 19
3.1.4. Su 20
3.2. Deneysel Çalışma 20
3.2.1. Numunelerin hazırlanması 20
3.2.2. Yapılan deneyler 22
3.2.2.1. Donma-çözülme deneyi 22
3.2.2.1.1 Ağırlık değişimi 23
3.2.2.1.2 Ultrasonik geçiş hızı deneyi 23
3.2.2.1.3 Dinamik elastiste modülü tayini 24
3.2.2.1.4 Pandül deneyi 25
3.2.2.1.5 Eğilme dayanımı deneyi 26
3.2.2.1.6 Basınç dayanımı deneyi 27
3.2.2.2 Basınçlı su işleme derinliği deneyi 28
3.2.2.3. Kılcal su emme deneyi 29
3.2.2.4. Su emme deneyi 30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 31
4.1 Donma-çözülme deneyi 31
4.1.1 Ağırlık kaybı 31
4.1.2 Ultrasonik geçiş hızı deneyi 33
4.1.3 Dinamik elastiste modülü tayini 35
4.1.4 Pandül deneyi 36
4.1.5 Eğilme dayanımı deneyi 39
4.1.6 Basınç dayanımı deneyi 41
4.2. Basınçlı su işleme derinliği deneyi 42
4.3 Kılcal su emme deneyi 44
4.4 Su emme deneyi 45
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 46
KAYNAKLAR 49
ÖZGEÇMİŞ 52

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONDA ELYAF KULLANIMININ DONMA-ÇÖZÜLME DAYANIKLILIĞINA ETKİSİ

Sümeyra GERGİNCİ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ALĞIN
Yıl: 2019, Sayfa:52

Bu tez çalışmasında, makro sentetik elyaf miktarının silindirle sıkıştırılmış betonun (SSB) donma-çözülme direncine olan etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla laboratuar koşullarında biri elyafsız olmak üzere hacimce %0.2, %0.4 ve %0.6 oranlarında elyaf eklenerek 4 farklı SSB karışımı hazırlanmıştır. Her elyaf oranı için zemin sıkıştırma yöntemiyle optimum su içerikleri belirlenmiş olup, SSB numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler 28 gün kürlendikten sonra ASTM C666 standardının B prosedürüne göre donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılmıştır. Donma-çözülme deneyi kapsamında SSB numuneleri üzerinde ağırlık değişimi, ultrasonik geçiş hızı, dinamik elastiste modülü, pandül, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ek olarak elyaf miktarının SSB'nin geçirimlilik özelliklerine etkisini incelemek için SSB numuneleri üzerinde su emme, basınçlı su işleme derinliği ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, SSB'de elyaf kullanımının donma çözülme direncini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Ayrıca, elyaf miktarındaki artışa bağlı olarak betonun su emme kapasitesinin ve basınçlı su işleme derinliğinin arttığı, ancak kılcal su geçirimliliğinin azaldığı belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİME: Silindirle sıkıştırılmış beton, donma-çözülme, durabilite, geçirimlilik, makro sentetik elyaf

ABSTRACT

MSc Thesis

EFFECT OF FIBER USAGE ON FREEZE-THAW DURABILITY OF ROLLER COMPACTED CONCRETE
Sümeyra GERGİNCİ

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Zeynep ALĞIN
Year: 2019, Page: 52

In this thesis, the effect of the amount of macro-synthetic fiber on the freeze-thaw resistance of roller compacted concrete (RCC) was investigated. For this purpose, 4 different RCC mixtures were prepared with 0%, 0.2%, 0.4% and 0.6% fiber ratios by volume in the laboratory conditions. The optimum water content of RCC mixtures for each fiber ratio was determined with using the soil compaction method and the concrete samples were the produced accordingly. The RCC samples were exposed to the freeze-thaw cycles according to the procedure B of ASTM C666 standard after the samples were water the cured for 28 days. The weight change, ultrasonic pulse velocity, dynamic elastic modulus, pendulum, flexural and compressive strength tests were performed to determine the freeze-thaw resistance of RCC samples. Additionally, the water absorption, depth of water penetration under pressure and sorptivity tests were conducted to examine the effect of fiber amount on the permeability properties of RCC. As a result, it is observed that the use of fibers in the RCC positively affectes the freeze-thaw resistance. Moreover, it is also determined that the water absorption capacity and the depth of water penetration under pressure increases with the increase in the fiber amount along with the reduction in the sorptivity results.

KEYWORDS: Roller compacted concrete, freze-thaw, durability, permeability, macro-synthetic fiber

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezi Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ALĞIN'ın danışmanlığında tamamlanmıştır. Çalışmadaki emeği ve katkılarından dolayı öncelikle danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ALĞIN'a, değerli hocalarım, Prof. Dr. H. Murat ALĞIN'a, Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ'a, çalışmam boyunca beraber çalıştığım İnşaat Mühendisi M. Serhat ZEYNEPLİ'ye, malzeme teminindeki yardımlarından dolayı İnşaat Mühendisi Mehmet DEMİR'e, deneysel çalışmada kullanılan makro sentetik elyafın temini ve nakliyesinde destek olan Forta Innovative Construction'a, tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Ultrasonik geçiş hızı deneyi sonuçları (Rao ve ark., 2016)..... 11
Şekil 2.2. Donma-çözülme çevrimlerine karşı ağırlık değişimi (Özbay, 2016) 13
Şekil 2.3. 0 donma-çözülmedeki eğilme dayanımı- deplasman (Özbay, 2016) 14
Şekil 2.4. 300 donma-çözülme çevrimindeki eğilme dayanımı-deplasman değişimi (Özbay, 2016)... 14
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan makro sentetik elyaf 20
Şekil 3.2. SSB numunelerinin üretimi..... 21
Şekil 3.3. Donma-çözülme cihazı..... 22
Şekil 3.4. Donma-çözülme çevrimleri sonunda SSB numunelerin ağırlık tartımı 23
Şekil 3.5. Ultrasonik geçiş hızı deneyi..... 24
Şekil 3.6. Pandül deney cihazı 26
Şekil 3.7. Eğilme dayanımı deneyi..... 27
Şekil 3.8. Basınç dayanımı deneyi 27
Şekil 3.9. Basınçlı su işleme derinliği cihazı..... 28
Şekil 3.10. Kılcal su emme deney düzeneği..... 30
Şekil 4.1. Donma-çözülme çevrim sayısına göre SSB numunelerinin ağırlık kaybı..... 31
Şekil 4.2. Donma-çözülme çevrimine maruz kalan elyaf katkılı ve katkısız SSB numuneleri
a)0 çevrim b)300 çevrim c) 300 çevrim sonundaki kontrol numunesi 33
Şekil 4.3. Donma-çözülme çevrim sayısına göre SSB numunelerinin ultrasonik geçiş hızı 33
Şekil 4.4. Donma-çözülme çevrim sayısına göre SSB numunelerinin dinamik elastiste modülü 35
Şekil 4.5. Donma-çözülme çevrim sayısına göre SSB numunelerinin dayanıklılık faktörü..... 36
Şekil 4.6. Donma-çözülme çevrim sayısına göre kuru SSB numunelerinin pandül değeri 37
Şekil 4.7. Donma-çözülme çevrim sayısına göre ıslak SSB numunelerinin pandül değeri..... 38
Şekil 4.8. Donma-çözülme çevrim sayısına göre SSB numunelerinin eğilme dayanımı 40
Şekil 4.9. Donma-çözülme çevrim sayısına göre SSB numunelerinin basınç dayanımı kaybı 41
Şekil 4.10. Elyaf oranına bağlı olarak SSB numunelerin basınçlı su işleme derinliği 42
Şekil 4.11. Basınçlı su işleme derinliği deneyi uygulanan a) kontrol b) %0.2 c) %0.4 d) %0.6
oranında elyaf içeren numuneler..... 43
Şekil 4.12. Elyaf oranına bağlı olarak SSB numunelerin kılcal su emme katsayısı 44
Şekil 4.13. Elyaf oranına bağlı olarak SSB numunelerin su emme oranı..... 45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Yol Sınıfları Bazında SSB Yolların BSK Yollara Göre Ekonomiklik Oranı (Tüm Zemin ve Trafik koşullarında ortalama olarak) (TÇMB, 2018) 5
Çizelge 2.2.Taban Zemin Özellikleri Bazında SSB Yolların BSK Yollara Göre Ekonomiklik Oranı (Tüm Yol Sınıfı ve Trafik koşullarında ortalama olarak) (TÇMB, 2018) 6
Çizelge 3.1.Çimentonun kimyasal özellikleri 18
Çizelge 3.2. Agregaların özgül ağırlığı ve su emme oranları 19
Çizelge 3.3.Kullanılan agrega karışımına ait dane dağılım oranları ve ACI 211.3R-02 (2009) rehberinde önerilen sınır değerler 19
Çizelge 4.1.Ultrasonik geçiş hızı değerlerine göre betonun kalite değerlendirilmesi (CEB-FIP, 1989) 34
Çizelge 4.2.Pandül değerlerine göre kayma potansiyelinin sınıflandırılması (TS EN 13036-4) 37

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Su ile temas eden yüzey alan
c	Ultrasonik geçiş hızı
D_f	Dayanıklılık faktörü
E_{dn}	Dinamik elastiste modülü
f_1	Donma-çözülme deneyinin başlangıcındaki ultrasonik geçiş hızı
f_n	Donma-çözülme deneyinin n çevrimindeki ultrasonik geçiş hızı
K	Kılcal su emme katsayısı
M	Maruz kalmanın sonlandırılacağı çevrim sayısı
N	Bağıl dinamik modülünün 0.60'dan az olduğu çevrim sayısı veya maruz kalacağı çevrim sayısı (hangisi küçük ise)
Q	Emilen su miktarı
P_n	Bağıl dinamik elastiste modülü
t	Geçen zaman
$W_{değişim}$	Ağırlık değişimi
W_{dyk}	Doygun yüzey kuru ağırlık
W_k	Kuru ağırlık
W_1	Deney başlangıç ağırlığı
W_2	Her 25 çevrimden sonraki ağırlık
ρ	Betonun yoğunluğu
υ	Poisson oranı
Δ	Su emme oranı
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
KAc	Potasyum asetat
SEM	Scanning Electron Microscopy
SSB	Silindirle Sıkıştırılmış Beton
TÇMB	Türkiye Çimento Mühtasiller Birliği
TS	Türk Standardı
UK	Uçucu Kül
YFC	Yüksek Fırın Cürufu

1. GİRİŞ

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB), dayanıklılığı, ekonomisi ve hızlı uygulanması ile bilinen kuru kıvamlı bir beton türüdür. SSB; geleneksel beton gibi çimento, su, ince ve iri agregalardan oluşur ancak karışım oranları bakımından farklıdır. Geleneksel betona kıyasla daha az su ve daha düşük çimento içeriğine sahiptir ve sıfır çökme değeri gösterir (Yazıcı, 2008; Harrington ve ark., 2010; Yaman ve Ceylan, 2013; Baradan ve ark., 2015).

SSB, ilk kez 1940'ların başında Washington'da bir havaalanı pisti kaplamasında kullanılmıştır. İlk SSB yol kaplaması olarak 1970 yılında İspanya'da düşük trafikli yollarda ve 1976 yılında ise Kanada'da ağır trafikli yollarda uygulanmıştır (Yaman ve Ceylan, 2013). İlk SSB baraj ise İtalya'da, 1960-1965 yılları arasında inşa edilen Alpe Gere barajıdır (Yazıcı, 2008). SSB, birçok farklı alanda Avrupa'da ve Amerika'da 50 yıldır başarılı bir şekilde kullanılmış olup son 10 yıldır kullanımı dahada yaygınlaşmıştır (Gür ve ark., 2019).

Türkiye'de SSB uygulaması, ekonomik ve hızlı imal edilmesi gibi avantajlarından dolayı ilgi görmüş ve giderek kullanımı artan bir teknolojidir. Ülkemizde SSB teknolojisi, ilk olarak Karakaya Barajı'nın mansap batardosu kısmında kullanılmıştır ve ardından Atatürk, Sır, Berke, Suçatı, Beydağı, Çine, Cindere ve Kürtün barajlarının belirli yapılarında uygulamıştır (Pektaş, 2015; Baradan ve ark., 2015). SSB yol uygulaması ilk olarak 2009 yılında AB projesi kapsamında Antalya Büyükşehir Belediyesi tarafından Antalya'da yapılmıştır. Sonraki yıllarda ise SSB yollar; Denizli, Samsun, Tekirdağ ve Kocaeli Belediyeleri tarafından belirli bölgelerde uygulanmaya başlanmış ve günümüzde de uygulamaları devam etmektedir (Gür ve ark., 2019).

SSB'nin kıvamı, titreşimli bir silindirin ağırlığını taşıyacak kadar kuru ancak çimento hamurunun düzgün bir şekilde dağılmasını sağlayacak kadar yeterince ıslak

olmalıdır (Rashed, 2000). Geleneksel betonun basınç dayanımı, büyük ölçüde çimento hidratasyonundan etkilenir. SSB'nin basınç dayanımı ise hem çimento hidratasyonundan hem de sıkıştırmadan etkilenir. Sıkıştırmaya bağlı olarak beton karışımının içerisindeki malzemeler arasında sürtünme artarak başlangıçtaki yük taşıma kapasitesini ve dayanımını arttırır. Yeterli sıkıştırma veya yoğunluk, SSB'de maksimum dayanımı elde etmek için çok önemlidir (Chhorn ve ark., 2017).

Geleneksel beton uygulamalarındaki gibi kalıplama, çelik donatı yerleştirilmesi ve yüzey düzeltme gibi işlemlere SSB uygulamalarında ihtiyaç yoktur. SSB, asfalt yapımında kullanılan ekipmanlarla veya titreşimli silindir kompaktörler ile tabakalar halinde sıkıştırılarak uygulanır (Vahedifard ve ark., 2010; Yaman ve Ceylan, 2013; Baradan ve ark., 2015).

Düşük maliyetli ve düşük hidratasyon ısısına sahip olan SSB, hızlı ve kolay uygulanılabilir olması nedeniyle genellikle barajlarda, havaalanı pistlerinde ve otoyol kaplamalarında tercih edilir (Aghabaglou ve ark., 2013). SSB'nin uygulandığı diğer alanlar ise; endüstriyel tesis erişim yolları, otoparklar, limanlar, yükleme iskeleleri, kamyon yük terminalleri, mal depo ve dağıtım alanları, araç bakım alanları, büyük ticari otoparklar, karayolu güvenlik şeritleri ve yüksek trafik hızlarına hizmet veren yollar örnek olarak gösterilebilir (Harrington ve ark., 2010; Yaman ve Ceylan, 2013).

SSB, karışımındaki düşük çimento hamuru içeriğinden dolayı daha az büzülmeye ve büzülmeden oluşan çatlaklara neden olması, düşük geçirgenliği sayesinde donma-çözülme koşullarında bile mükemmel dayanıklılık ve kimyasal saldırılara karşı direnç sağlayabilmesi, asfalt ve geleneksel beton gibi diğer kaplamalara göre onarım maliyetinin daha az olması, geleneksel beton kaplamalara göre ağır yükler ve yüksek trafik yoğunluğu altında aşınmaya karşı daha dayanıklı olması ve açık renkli yüzeyi nedeniyle park ve depolama alanları için aydınlatma gereksinimlerinin azaltılmış olması gibi pekçok avantajlara sahiptir (Harrington ve ark., 2010).

Elyafın beton performansını veya özelliklerini geliştirme potansiyeli, elyafın miktarına, türüne, çap/boy oranına, pürüzlülüğüne ve çekme dayanımına bağlıdır. Sentetik elyaflar cinsine göre; aramid, poliolefin, akrilik ve karbon olarak dört çeşittir fakat boyut ve uygulama bakımından, mikro sentetik elyaf (5-30 mm uzunluğunda) ve makro sentetik elyaf (30-60 mm uzunluğunda) olarak iki gruba ayrılır. Mikro sentetik elyaf erken yaşta büzülmeyi sınırlamak ve büzülme çatlağını azaltmak için makro sentetik elyaf ise betonun nispeten düşük çekme dayanımını ve çatlama sonrası davranışını iyileştirmek için kullanılır (Rooholamini ve ark., 2018).

Soğuk iklimlerde, don etkisine maruz kalan beton kaplamalarında oluşan hasarlarınonarımı ve değiştirilmesi, yüksek maliyet gerektiren en büyük sorunlardandır (Aghabaglou, 2013). Donma-çözülme çevrimlerine maruz kalan SSB kaplamalarda genellikle iç çatlaklar ve yüzey parçalanmaları olarak iki tür hasar meydana gelmektedir. Aynı anda meydana gelebilen bu iki hasar, birbirinden farklı ve bağımsızdır. SSB betonu içerisindeki su, tekrarlanan donma-çözülme çevrimleri etkisi altında hidrolik basınç oluşturarak dinamik elastisite modülünü düşüren ve genleşmeye neden olan iç çatlaklar üretebilir. Yüzey parçalanması ise, beton yüzeysel olarak fazla miktarda neme maruz kaldığında donma-çözülme çevrimleri sırasında gerçekleşir. Bu nedenle, SSB karışımları, donma-çözülme çevrimlerinin neden olduğu her iki hasar oluşumuna karşı dayanacak şekilde tasarlanmalıdır (Harrington, 2010). Suyun donma hızı, betonun bulunduğu ortam, oluşan sıcaklık farkları ve betonun nem durumu gibi etkenlere bağlı olarak donma-çözülme çevrimlerinin şiddeti değişiklik gösterir (Şengül ve ark., 2003).

SSB'de makro sentetik elyaf kullanımı ile ilgili olarak yapılmış olan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Yapılan literatür araştırılmaları sonucunda SSB'de makro sentetik elyaf kullanımının donma-çözülme direnci ve geçirimlilik özellikleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmaya rastlanılmamıştır. Literatürdeki bu eksikliği gidermek amacıyla bu tez çalışmasında makro sentetik elyaf miktarının SSB'nin donma-çözülme direncine ve geçiririmlilik özelliklerine olan etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında, ilk olarak SSB karışım içeriğini oluşturan agrega, çimento ve elyafın özellikleri tespit edilmiştir. Çimento miktarı agrega ağırlığının %14'ü olarak ve biri elyafsız olmak üzere, elyaf oranı beton hacminin %0.2, %0.4 ve %0.6 oranlarında kullanılmıştır. Her bir karışım için zemin sıkıştırma yöntemi kullanılarak optimum su içerikleri belirlenmiştir. Karışım oranları belirlenen dört farklı karışımdan; 100x100x400 mm, 150x150x150 mm ve 100x100x100 mm boyutlarında SSB numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde, donma-çözülme deneyi kapsamında ağırlık değişimi, ultrasonik geçiş hızı, dinamik elastiste modülü tayini, pandül, basınç ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca elyaf miktarının SSB'nin geçirimlilik özelliklerine etkisini incelemek için SSB numuneleri üzerinde su emme, basınçlı su işleme derinliği ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

SSB kaplamalar maliyet bakımından asfalt kaplamalara kıyasla daha uygundur. Asfalt kaplamalarda bağlayıcı olarak bitüm kullanılırken beton yollarda bağlayıcı olarak çimento kullanılmaktadır. Çimentonun yerli üretim olması ve bir petrol atığı olan bitüm bakımından ise dışa bağımlı olunmasından dolayı ülkemiz için beton kaplamalar asfalt kaplamalara göre daha ekonomik bir alternatiftir. Ayrıca beton kaplamalar daha uzun ömürlü ve daha dayanıklıdır. Beton kaplamaları ise geleneksel beton ve SSB kaplama olarak kıyasladığımızda, SSB kaplamaların hızlı uygulanabilirliği ve işçilik gerektirmemesi gibi avantajları onu ekonomik yönden üstün kılar (Yaman ve Ceylan, 2013).

Türkiye Çimento Mühtasiller Birliği'nin (TÇMB) (2018) teknik ve analiz raporu kapsamında, aynı özelliklere sahip SSB ile bitümlü sıcak karışım (BSK) yolların maliyeti karşılaştırılmıştır. BSK ve SSB yollar; taban zeminleri, tüm yol sınıfları ve trafik grupları bazında kıyasladıklarında, SSB yolların BSK yollara göre daha ekonomik olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Çizelge 2.1 ve 2.2).

Çizelge 2.1. Yol Sınıfları Bazında SSB Yolların BSK Yollara Göre Ekonomiklik Oranı (Tüm Zemin ve Trafik koşullarında ortalama olarak) (TÇMB, 2018)

Yol Sınıfı	SSB Yolların BSK Yollara Göre Ekonomiklik Oranı	
	Alttemelli	*Alttemelsiz*
I. Sınıf Yollar	% 45	% 54
II. Sınıf Yollar	% 40	% 47
III. Sınıf Yollar	% 27	% 29

Çizelge 2.2.Taban Zemin Özellikleri Bazında SSB Yolların BSK Yollara Göre Ekonomiklik Oranı (Tüm Yol Sınıfı ve Trafik koşullarında ortalama olarak) (TÇMB, 2018)

Taban Zemini	SSB Yolların BSK Yollara Göre Ekonomiklik Oranı					
	I. Sınıf Yollar		II. Sınıf Yollar		III. Sınıf Yollar	
	Alttemelli	Alttemelsiz	Alttemelli	Alttemelsiz	Alttemelli	Alttemelsiz
3<CBR<8	41.5	57.6	39.1	51.4	25.2	34.6
8≤CBR<50	42.1	52.4	37.3	44.6	28.0	29.0
CBR≥50	46.0	50.0	41.2	44.3	27.8	34.3

Michel ve Delhez (2009) yaptıkları çalışmalarında beton yoldan elde edilen geri kazanılmış agregaların, SSB'de kullanımını incelemişlerdir. Kalker ve geri kazanılmış agregaların özelliklerini belirlemek için; aşınma, su emme ve özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Özellikleri belirlenen, kalker ve geri kazanılmış agregalarla SSB numuneleri üretilmiştir. Sonuç olarak; iki farklı agregayla üretilen karışımların su ve çimento içeriklerinde önemli bir farklılık olmamıştır. Bununla birlikte kalkerle üretilen SSB numunelerinin basınç dayanımının daha yüksek olduğu ifade edilmiştir.

Polat (2018), yaptığı çalışmasında CEM I 42,5 R ve CEM II B-M (V-L) 42.5 R çimento tiplerinin SSB'nin basınç dayanımı üzerindeki etkisini incelemiştir. İki çimento tipinide; 130, 135, 140, 145 ve 150 olarak beş farklı dozajda kullanarak, titreşimli tokmak metoduyla silindir SSB numuneleri üretilmiştir. Üretilen SSB numunelerine yoğunluk, vebe ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Her iki çimento tipinde de dozajın artmasıyla birlikte yoğunluğun arttığı ve vebe süresinin azaldığı gözlemlenmiştir. Üretilen silindir SSB numuneler 7 ve 28 gün kürlendikten sonra yapılan basınç dayanımı deneyleri sonucunda ise; iki çimento tipi için de dozajın fazla olması durumunda dayanımın arttığını ancak CEM I 42,5 R tipi çimento ile üretilen SSB'lerin dayanımının daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Şengün ve ark. (2017), çalışmalarında sahadan alınan ve laboratuvarda üretilen SSB numunelerin arasındaki mekanik özellikleri kıyaslamışlardır. Bu çalışma kapsamında Bursa Beton A.Ş. tarafından, 2 ve 10 ton tonajında iki farklı çelik

tamburlu silindirle sıkıştırılmış SSB yol uygulamasından kiriş karot alınmıştır. Laboratuvarda ise maksimum agrega boyutu 12 ve 22 mm olan iki farklı karışımdan SSB kiriş numuneler üretilmiştir. ODTÜ yapı malzemeleri laboratuvarında yapılan eğilme dayanımları kıyaslandığında, laboratuvarda üretilen numunelerin eğilme dayanımının sahadan alınan kiriş numunelere göre %20 oranında daha yüksek olduğunu belirtilmiştir. Bununla birlikte, üretilen SSB kiriş numunelerin eğilme dayanımları ve sahadan alınan kiriş numunelerin basınç dayanımları, agrega boyutu 12 mm olan numunelerde daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Pektaş (2015), mineral katkı maddesi olarak uçucu kül (UK) ve yüksek fırın cürufu (YFC) ekleyerek farklı SSB karışımları üretmiştir. Böylece endüstriyel atık olan bu mineral katkıları kullanarak çevre kirliliğini azaltmayı amaçlamıştır. SSB üretiminde UK ve YFC kullanılmasının SSB'nin özelliklerini iyileştirdiği ve ekonomik fayda sağladığı belirtilmiştir. Üretilen SSB numunelerinde taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Bunun yanı sıra dayanıklılık özelliklerini belirtmek için aşınma, donma-çözülme ve buz çözücü tuz etkisi deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre UK ve YFC kullanımının SSB'nin özelliklerinde olumlu etkileri olduğu ve bu mineral katkıların kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Rao ve ark. (2016), yaptıkları çalışmada YFC kullanımının SSB'nin mekanik özellikleri ve aşınma direnci üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çimentonun yüksek fırın cürufuyla, %0, %10, %20, %30, %40, %50 ve %60 oranlarında kısmen yer değiştirmesiyle 7 farklı karışım üretilmişdir. Üretilen SSB numuneleri 3, 7 ve 90 gün kürlendikten sonra eğilme dayanımı, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve aşınma direnci deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda YFC içeriğinin artışıyla 3 günlük SSB numunelerinin dayanımlarının azaldığı tespit edilmiştir. Ancak 7 ve 28 günlük yaşlarda%50 oranına kadar YFC değişimi olan numuneler kontrol numunesi ile kıyaslandığında dayanım değerleri daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca 90 günlük yaşta ise tüm YFC değişimi oranlarında üretilen numunelerin dayanımlarının arttığı belirtilmiştir. YFC'nin tüm yer değiştirme oranlarında ki

SSB'lerde aşınma direnci artmıştır. YFC içeriği ile SSB'nin basınç, eğilme ve yarmada çekme dayanımı arasında bir ilişki olduğu belirtilmiştir.

Karakurt ve Pektaş (2015), çalışmalarında yol uygulamaları için yapılan SSB'de çimentonun %10'u, %20'si ve %30'u oranlarında uçucu kül (UK) ve yüksek fırın cürufu (YFC) kullanarak kontrol karışımı ile birlikte 7 farklı SSB karışımı hazırlamışlardır. Hazırlanan SSB karışımlarının kıvamını belirlemek için vebe ve sıkıştırma faktörü deneyleri yapılmıştır. Üretilen numuneler 7, 28 ve 90 gün kürlendikten sonra sertlemiş beton deneyleri olan basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Taze beton deneyleri sonucunda UK kullanılan SSB numunelerinin YFC kullanılan SSB numunelerine göre daha olumlu bir etkiye sahip olduğu ve buna uçucu külün yapısındaki homojenliğin ve küreselliğin sebep olabileceği belirlenmiştir. Sertleşmiş beton deneylerinde ise hem UK hem de YFC'nin ileriki yaşlardaki dayanımları kontrol numunesine göre daha yüksek çıkmıştır. Tüm deneyler birlikte değerlendirildiğinde en uygun katkı kullanımının %20 UK ve %10 YFC oranlarında olduğu belirlenmiştir.

Aghabaglou ve ark. (2013), yüksek hacimli uçucu külün, SSB'nin dayanıklılık özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Uçucu kül içermeyen kontrol karışımına ek olarak, agrega ve çimento ağırlığının belli oranlarında uçucu külle yer değiştirilmesiyle iki tür karışım hazırlanmıştır. Optimum su/bağlayıcı oranını belirlemek için 0.30, 0.35, 0.40 ve 0.45 su/bağlayıcı oranlarına sahip 28 karışım hazırlamışlardır. Hazırlanan karışımlar arasında optimum su içeriğine sahip 7 karışım belirlenmiştir. Sonuç olarak; çimento ağırlığının farklı oranlarında uçucu kül ile yer değişimi yapılmış karışımlarda SSB'nin dayanıklılığının 90 güne kadar olumsuz etkilendiğini ve agreganın belli oranlarında uçucu kül ile değişimi olan karışımlarda ise uçucu kül arttıkça SSB'nin dayanıklılık özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir.

Rooholamini ve ark. (2017), yaptıkları çalışmalarında makro sentetik elyaf eklenmiş SSB kaplamalarının mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Hacimsel olarak % 0-0.5 oranında elyaf, 300-350 kg/m^3 oranlarında çimento ve 120-150 kg/m^3 oranlarında su kullanılarak SSB karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlara vebe süresi deneyi ve üretilen numunelere ise basınç, eğilme ve kırılma enerjisi deneyleri yapılmıştır. SSB kaplamalarına makro elyaf eklenmesiyle vebe süresi azalmış ancak basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Bununla birlikte elyaf artışıyla eğilme dayanımı arasında doğrusal bir artış olduğu, ancak elyafın, kırılma enerjisi üzerinde daha olumlu bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Harç-elyaf etkileşiminin SSB kaplamalarının çatlak davranışı üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Madhkhan ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada farklı miktarlarda puzolan, çelik elyaf ve polipropilen elyaf kullanımının SSB'nin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Puzolan eklenmiş SSB numunelerinin 28 ile 90 günlük yaşlarında basınç dayanımları artmıştır, kırılma modülü azalmış ve tokluk indekslerinde belirgin bir değişim olmamıştır. Çelik elyaf eklenmiş SSB numunulerinin basınç dayanımının polipropilen elyaf eklenmiş SSB numunelerine göre daha yüksek olduğu ve her iki elyaf türünün eklenmesinde de kırılma modülünde bir artış olmadığı ifade edilmiştir. Ayrıca, çelik elyaf eklenen SSB numunelerde tokluk indekslerinin arttığı belirtilmiştir.

Öztürk (2018), farklı boyutlardaki sentetik elyafların SSB kaplamalarının mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. İlk aşamada ağırlık olarak %11, %12 ve %13 oranlarında çimento içeren ve beton sınıfı C30/37 olan SSB karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere basınç dayanımı testi yapılmış ve sonuç olarak ağırlıkça %12 çimento içeren karışımın istenen dayanıma uygun olduğu bulunmuştur. Uygun çimento oranı ile hacimce %0.5 oranında, 54 mm ve 36 mm boyutlarında iki farklı sentetik elyaf eklenerek SSB karışımları hazırlanmıştır. Elyaflı ve elyafsız olarak üretilen numunelere; basınç dayanımı, elastiste modülü, eğilme dayanımı ve darbe dayanımı deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda

maksimum kuru yoğunluk, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerinin sentetik elyaf eklenmesiyle azaldığı ve bu değerlerin birbiriyle ilişkili olduğu belirtilmiştir.

Yazici ve ark. (2014), SSB'ye polipropilen elyaf ekleyerek mekanik ve darbe dayanımı özelliklerini incelemiştir. Polipropilen elyaf oranları hacimce %0, %0.25, %0.50 ve %0.75 olmak üzere dört farklı karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan farklı elyaf oranlarına sahip SSB karışımlarının su içeriği zemin sıkıştırma yöntemiyle belirlenmiştir. 7, 28 ve 90 gün kürlenmiş SSB numunelere basınç, yarma, eğilme, elastiste modülü ve darbe dayanımı deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda SSB karışımlarında polipropilen elyaf kullanımının su ihtiyacını ve su/çimento oranını arttırdığı gözlemlenmiştir. Elyaflı SSB numunelerinin mekanik özelliklerinin kontrol karışımına göre %20 daha az olduğu ve bunun elyaf eklenmiş SSB karışımlarındaki su/çimento oranının artışına bağlı olabileceği belirtilmiştir.

Rao ve ark. (2016), çalışmalarında mineral katkı maddesi olarak F sınıfı uçucu kül içeren SSB kaplamaları üzerinde ultrasonik geçiş hızı deneyi yapmışlardır. Bu çalışmada nehir kumu (Seri A), üretilmiş kum (Seri B) ve %50 oranlarında hem nehir kumu hem de üretilmiş kum birleşimi (Seri C) olarak 3 farklı ince agrega çeşidi kullanılmıştır. Üç farklı ince agrega tipiyle üretilen SSB karışımlarında çimento yerine %0 ile %60 oranları arasında F sınıfı uçucu kül eklenmiş ve toplamda 42 küp numune üretilmiştir. Üretilen her serideki SSB numuneleri 3, 7, 28 ve 90 gün kürlenerek basınç dayanımı ve ultrasonik geçiş hızı deneyi yapılmıştır. Tüm kürlenme yaşlarında uçucu kül içeren SSB numunelerinin ultrasonik geçiş hızı sonuçları, uçucu kül içermeyen kontrol karışımlarıyla kıyaslandığında daha düşük elde edilmiştir (Şekil 2.1). Bununla birlikte uçucu kül içeren Seri B ve Seri C karışımlarının ultrasonik geçiş hızı, basınç dayanımı ve dinamik elastiste modülü değerlerinin, uçucu kül içeren Seri A karışımlarına kıyasla daha yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.

Series	Type of fine aggregate	Mix designation	UPV, Km/s			
			3 days	7 days	28 days	90 days
A	River Sand – 100%	F0	3.50	3.95	4.42	4.65
		F10	3.42	3.78	4.33	4.50
		F20	3.25	3.55	4.10	4.45
		F30	3.15	3.30	3.75	4.25
		F40	2.90	3.24	3.35	4.10
		F50	2.76	2.95	3.25	3.80
		F60	2.45	2.65	2.95	3.65
B	M-Sand – 100%%	F0	3.44	3.882	4.32	4.50
		F10	3.32	3.61	4.10	4.50
		F20	3.11	3.42	3.90	4.40
		F30	2.90	3.22	3.40	4.10
		F40	2.65	3.10	3.25	3.90
		F50	2.50	2.85	3.10	3.60
		F60	2.10	2.40	2.80	3.40
C	River Sand 50% and M-Sand 50%	F0	3.88	4.12	4.55	4.90
		F10	3.52	4.05	4.40	4.60
		F20	3.42	3.95	4.40	4.60
		F30	3.25	3.75	4.10	4.20
		F40	3.05	3.50	3.85	4.00
		F50	2.85	3.25	3.50	3.80
		F60	2.45	3.10	3.40	3.60

Şekil 2.1.Ultrasonik geçiş hızı deneyi sonuçları (Rao ve ark., 2016)

Hazaree (2007), kaplama uygulamaları için üretilen 12 SSB karışımı hazırlayarak SSB'nin mekanik ve dayanıklılık özelliklerini incelemiştir. Karışımların çimento içeriği 100 kg/m^3 ile 450 kg/m^3 arasında belirlenmiştir. Agrega olarak olitik kireçtaşı kullanılmış ve karışım oranları zemin sıkıştırma yöntemiyle belirlenmiştir. Üretilen numuneler üzerinde vebe, basınç dayanımı, su emme, geçirgen boşluk içeriği, kılcal su emme ve hızlı donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. SSB numuneleri içerisindeki hava boşluklarının analizi taramalı elektron mikroskobuyla (SEM) yapılmıştır. Maksimum kuru yoğunluğun bulunduğu bir optimum çimento içeriğinin olduğu ve bunun işlenebilirlik, mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin optimizasyonuna sebep olduğu belirtilmiştir. Üretilen numuneler donma-çözülme deneyine maruz bırakıldığında kırık kireçtaşı ve çimento hamurunun iç heterojenliği nedeniyle iç çatlakların oluştuğunu gözlemlenmiştir. SEM analizleri sonucunda ise SSB karışımlarında hava boşlukları bulunduğu ve hava sürüklenme ihtimali olabileceği belirtilmiştir.

Sarsam ve ark. (2013), portland çimentosu ve sülfata dayanıklı çimento olarak iki çeşit çimento tipinin ve çimento içeriğinin SSB'nin dayanıklılığına etkisini ve davranışını incelemişlerdir. 180 adet kiriş numune üretilmiştir. Üretilen numunelerde donma-çözülme, sülfat etkisine karşı dayanıklılık ve ıslanma-kuruma deneyleri

yapılmıştır. Yapılan deneylere göre; sülfata dayanıklı çimento içeren SSB numunelerinin portland çimento içeren SSB numunelerine göre daha dayanıklı olduğu sonucuna varılmıştır. SSB numunelerinin donma-çözülme, ıslanma-kuruma ve sülfat etkisine karşı direncinin çimento içeriği arttıkça arttığı belirtilmiştir. Ayrıca kırılmış agrega kullanılan SSB'nin, yuvarlak agrega içeren SSB'ye göre genel özellikleri üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir.

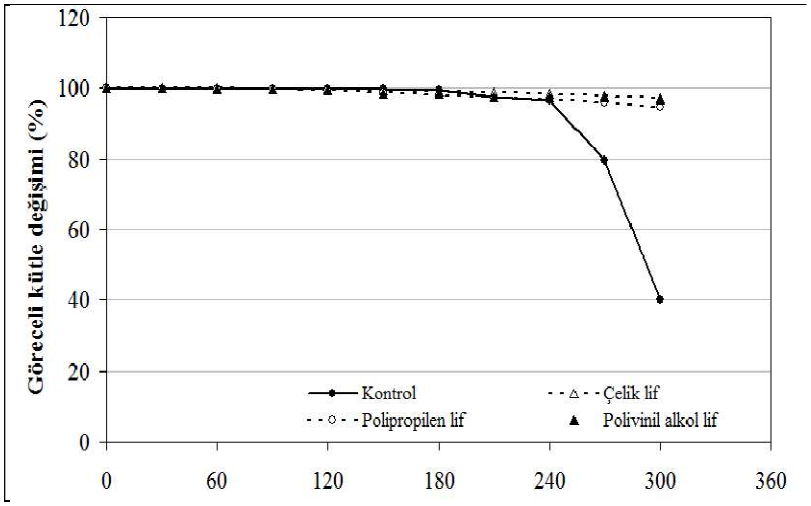
Abbaszadeh ve Modarres (2017), bağlayıcı olarak; çimentoyla %2, %4 ve %6 oranlarında çimento fırın tozunun yer değiştirmesiyle üretilen SSB kaplamaların fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. 7, 28 ve 90 gün kürlenmiş numuneler üzerinde basınç, çekme ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca 28 gün kürlenmiş numuneler üzerinde su emme, geçirimli boşluk içeriği ve cıva püskürtmeli porozimetre deneyleri yapılmıştır. Kiriş olarak üretilen numuneler ASTM C666 standardının A prosedürüne göre donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılmıştır. Donma-çözülme maruziyetinden önceki ve sonraki dinamik elastiste modülleri ultrasonik geçiş hızı testi ile tespit edilmiş ve dayanım kayıpları hesaplanmıştır. Sonuçlara göre en iyi mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin, çimento yerine %2 oranında çimento fırın tozu kullanılan numunelerde olduğu, bununla birlikte çimento fırın tozunun arttırılmasının mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerinde olumlu bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

Zhang ve ark. (2018), kauçuk parçacıkları ve çelik elyaf eklenmiş SSB numunelerin ağırlıkça %25 oranında potasyum asetat (KAc) içeren bir çözelti içerisinde, donma-çözülmeye karşı direncini araştırmışlardır. Üretilen SSB numunelerinin kütle kaybı, dinamik elastisite modülü, mikro yapıları ve gözenek yapıları incelenmiştir. Tekrarlı donma-çözülmeye maruz bırakılan numunelerin toplamda 300 donma-çözülme çevrimleri sonucunda en fazla kütle kaybının çelik elyaf ve kauçuk parçacıklarının aynı karışımda bulunduğu numunelerde meydana geldiği ve en fazla 155.17 g/m^2 kadar bir kayıp olduğu belirtilmiştir. Kauçuk parçacıkların ve çelik elyafların eklenmesinin; donma-çözülme çevriminin neden olduğu çatlamaları ve gözeneklik artışını etkili bir şekilde azaltmadığı, tüm

numunelerde mikro çatlaklar olduğu ve dinamik elastiste modülünü azaltmasına yönelik ise olumlu bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir.

Özbay (2016), hacimce %1 oranındaçelik, polipropilen ve polivinil alkol elyafların kullanıldığı beton numunelerinin basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve donma-çözülme direncine etkisini araştırmıştır. Karışımların hepsinde ağırlıkça %40 oranında uçucu kül kullanılmıştır. Elyafsız ve elyaflı olarak üretilen beton numuneler üzerindebasınç ve eğilme dayanımı testleri yapılmıştır. Ayrıca üretilmiş olan numuneler toplamda 300 çevrim olacak şekilde tekrarlı donma-çözülme çevrimine maruz bırakılmıştır.

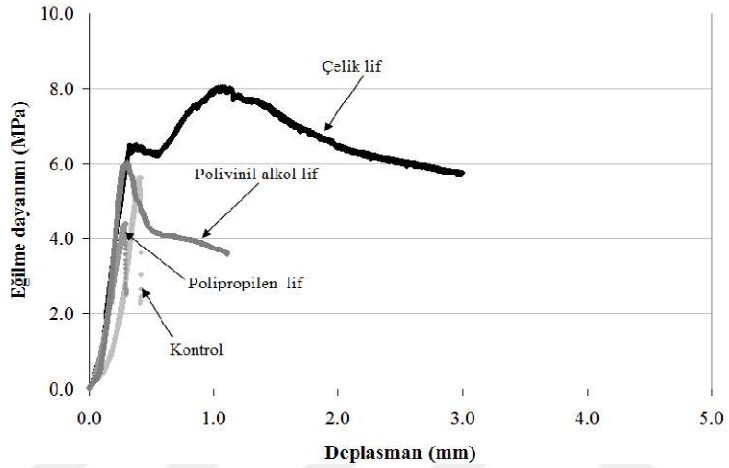
Her 30 çevrimde bir ağırlık kayıpları ve 300 çevrim sonucunda ise numunelerde meydana gelen ağırlık ve dayanım kayıpları tespit edilmiştir. Ağırlık kayıpları, çelik elyaflı numunelerde %2.6, polipropilen elyaflı numunelerde %5.1 ve polivinil alkol elyaf eklenmiş numunelerde %3.1 olarak belirlenmiştir. En fazla ağırlık kaybı kontrol numunelerinde ve %60 olarak tespit edilmiştir (Şekil 2.2).



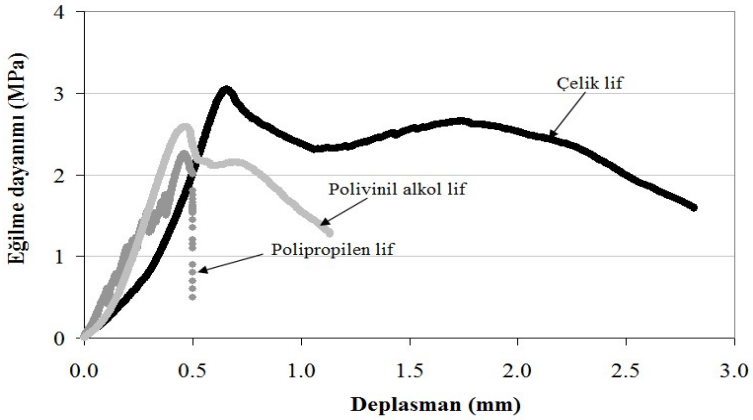
Şekil 2.2. Donma-çözülme çevrimlerine karşı ağırlık değişimi (Özbay, 2016)

Eğilme dayanım kayıpları, kontrol numuneleri ağır hasar gördüğünden hesaplanamamıştır. Elyaflı numuneler arasında eğilme dayanımı kaybı en fazla çelik

elyaf eklenmiş numunelerde meydana gelmiştir. Çelik elyaf eklenmiş numunelerin 28 günlük eğilme dayanımı polipropilen ve polivinil alkol elyaf eklenmiş numunelere göre daha yüksek olmasına rağmen donma-çözülme çevrimleri sonunda en fazla dayanım kaybı çelik elyaflı numunelerde meydana gelmiştir (Şekil 2.3 ve Şekil 2.4)



Şekil 2.3. 0 donma-çözülme çevrimindeki eğilme dayanımı-deplasman (Özbay, 2016)



Şekil 2.4. 300 donma-çözülme çevrimindeki eğilme dayanımı-deplasman değişimi (Özbay, 2016)

Esen (2003), yaptığı çalışmada farklı boyutlarda poliakrilonitril elyaf kullanımının beton numunelerinin donma-çözülme direncine etkisini incelemiştir. Kesik (6 mm) ve uzun (24 mm) olmak üzere iki farklı boyutda poliakrilonitril elyaf

kullanılmıştır. Biri elyafsız olmak üzere, her iki elyaf uzunluğu için de hacimce %1, %2, %3 ve %4 oranlarında elyaf kullanarak toplamda 9 farklı karışım hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlardan üretilen numuneler üzerinde ASTM C666 standardına göre toplamda 100 donma-çözülme çevrimi yapılmış ve 4 çevrimde bir ağırlık, ultrasonik geçiş hızı ve dinamik elastiste modülü değişimleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, uzun elyaf eklenmiş numunelerin, kesik elyaflı numuneler ve elyafsız numunelere göre daha iyi donma-çözülme direncine sahip olduğunu tespit edilmiştir.

Omran ve ark. (2016), Kanada'daki Tricentris tesisinin inşası sırasında iç ve dış kaplama olarak kullanılan SSB'nin çimento içeriğinin %20'si yerine geri dönüştürülemeyen cam tozu kullanarak SSB'nin mekanik ve dayanıklılık özelliklerini incelemişlerdir. Cam tozu eklenmiş SSB kontrol karışımı ile kıyaslandığında; 7 günlük kürleme sonunda basınç dayanımı ve çekme dayanımında azalma gözlemlenirken, 91 günlük kürlenme sonunda ise çekme dayanımında %15 ve basınç dayanımında %5 artış gözlemlenmiştir. Cam tozu eklenmiş SSB'nin donma-çözülme çevrimlerine karşı daha dayanıklı olduğu belirtilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan incelemelerde SSB'nin özelliklerinin sıkıştırma işlemiyle doğrudan bağlantılı olduğu ve cam tozu ilavesinin daha yüksek derecede çimento hidratasyonu sağladığı belirtilmiştir.

Xiao-fei ve ark. (2011), soğuk bölgelerde, ısı yalıtımı olmadan ve ısı yalıtımı sağlayan 5 veya 8 cm'lik bir polistiren uygulamasının SSB ağırlık barajları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. SSB barajların sıcaklık alanlarını ve ısıl gerilmelerini, üç boyutlu sonlu elemanlar yer değiştirme ağı yöntemiyle simülasyonu ve analizi yapılmıştır. Ayrıca, farklı kalınlıktaki ısı yalıtımlarının, sıcaklık alanı ve ısıl gerilmeleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Uygulanan ısı yalıtımının, soğuk bölgelerdeki SSB barajlarının yüzeysel sıcaklığını önemli ölçüde artırabileceği, böylece yüzeysel sıcaklık farkını ve maksimum gerilmeyi azalttığı gözlemlenmiştir. Bunların sonucunda, SSB'de uygulanan ısı yalıtımı uygulmasının yüzey çatlaklarını önleyebileceği belirlenmiştir.

Richardson ve ark (2012), polipropilen elyaf eklenerek üretilen betonların erken yaşta dayanıklılık performansını incelemeyi amaçlamışlardır. 5 gün kürlenmiş elyaflı ve elyafsız olarak üretilen beton numuneleri ASTM C666 standardının B prosedürüne göre tekrarlanan donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılmışdır. Donma-çözülme çevrimi maruziyeti öncesi ve sonrası; ağırlık kaybı, ultrasonik geçiş hızı ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır. 300 donma-çözülme çevrimi sonunda elyaflı ve elyafsız numuneler karşılaştırıldığında elyaf kullanımının numunelerin dayanıklılığını olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir.

Ragan (1986), SSB kaplamalarından alınan numunelerin donma direncine olan etkisini incelemiştir. Yaşları 1 ay ile 8 yıl arasından değişen mevcut durumdaki 9 adet kaplamadan karot alınmıştır. Alınan karot numunelerin hava boşluğu içeriği ve parametreleri mikroskobik olarak belirlenmiştir. Ayrıca hızlı donma-çözülmeye karşı dayanıklılık, kritik genleşme, basınç ve eğilme dayanımı testleri yapılmıştır. Hava boşluğunun beklenen durumdan daha az olmasının sebebinin sıkıştırma yöntemiyle ve karışımın kıvamıyla ilişkili olabileceği açıklanmıştır. Genleşme ve hızlı donma-çözülme testlerinin sonuçları değerlendirdiğinde numunelerin belli bir dereceye kadar donmaya karşı dayanıklı olabildiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca SSB numunelerinin donma-çözülmeye karşı dayanıklı olup olamayacağını ve donmadan etkilenme süresini tespit etmek için genleşme testinin uygun olabileceği belirtilmiştir.

Naik ve ark. (2001), SSB kaplamasının donma-çözülme direncine etkisini belirlemek için ABD'nin Winconsin eyaletinde iki farklı yol kaplama projesini incelemişlerdir. İlk uygulama olarak kuru kükürt giderme işleminden elde edilen yüksek hacimli uçucu kül içeren, sıkıştırılmış ve geçirimsiz geleneksel betonun performansı ve ikinci uygulama olarak %30 oranında ASTM C sınıfı uçucu kül içeren SSB yol kaplamasının performası incelenmiştir. Hava sürüklenmeyen SSB donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakıldığında, kritik derecede suya doymuşsa donma-çözülme hasarlarına karşı hassas olduğu belirtilmiştir.

Timur (2017), farklı oranlardaki polipropilen elyaf ve su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımının yol uygulamaları için üretilen SSB'nin mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Maksimum agrega çapı 13 mm olarak belirlenmiştir. Kontrol karışımına ek olarak çimento ağırlığının %1, %1.5 ve %2'si oranında polipropilen elyaf ve çimento ağırlığının %1 ve %2'si oranında süper akışkanlaştırıcı katkı eklenerek farklı SSB karışımları hazırlanmıştır. Su/çimento oranı 0.53 ve 0.42 olarak belirlemiş ve toplamda 144 adet 150x150x150 mm boyutunda küp numune üretilmiştir. Üretilen numuneler 7 gün ve 28 gün kürledikten sonra tek eksenli basınç, donma-çözülme ve aşınma deneyleri yapılmıştır. SSB'ye polipropilen elyaf eklenmesinin; basınç, donma-çözülme ve aşınma dayanımına olumlu etkisi olduğu ancak su içeriğinin artmasına sebep olduğu belirtilmiştir. Eklenen polipropilen elyaf çimento oranının %2'sini aştığı durumda ise dayanımı olumsuz yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çimento

Deneysel çalışmaların tümünde özgül ağırlığı 3,17 g/cm^3 ve blaine inceliği 3430 cm^2/g olan CEM-I 52.5N tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan Portland çimentosuna ait kimyasal özellikler Çizelge3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1.Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Analiz(%)	**Portland Çimentosu**
CaO	63,28
SiO_2	18,91
Al_2O_3	5,02
Fe_2O_3	3,12
MgO	1,6
SO_3	2,42
K_2O	0,68
Na_2O	0,14

3.1.2. Agrega

Yapılan çalışmada maksimum dane boyutu 25 mm olan bazalt agrega kullanılmıştır. SSB karışımlarında kullanılan agregaların, özgül ağırlıkları ve su emme oranları belirlenmiş olup Çizelge 3.2'de verilmiştir. Agrega karışım oranları, Amerikan Beton Enstitüsü komitesi tarafından hazırlanan çökmesi olmayan beton için karışım oranları rehberinde önerilen alt ve üst sınır limit değerlerine uygun olacak şekilde belirlenmiştir (ACI 211.3R-02, 2009). SSB'de kullanılan agrega karışımına ait elek analizi sonuçları Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Agregaların özgül ağırlığı ve su emme oranları

Elek aralığı	Özgül ağırlık	Su emme (%)
4.75-25 mm	2.74	2.46
0.075-4.75 mm	2.63	3

Çizelge 3.3.Kullanılan agrega karışımına ait dane dağılım oranları ve ACI 211.3R-02 (2009) rehberinde önerilen sınır değerler

Elek No (mm)	**Elekten geçen (%)**	**Alt sınır (%)**	**Üst sınır(%)**
25	100	100	100
19	93	82	100
12.5	74	72	93
9.5	70	66	85
4.75	54	51	69
2.36	41	38	56
1.18	32	28	46
0.6	25	18	36
0.3	16	11	27
0.15	9	6	18
0.075	5	2	8

3.1.3. Makro sentetik elyaf

Çalışmada 54 mm uzunluğuna ve 0.677 mm çapına sahip makro sentetik elyaf kullanılmıştır. Elyafın yoğunluğu 0.91 g/cm^3'tür. Ayrıca elastiste modülü 5.75 GPa ve çekme gerilmesi 550-750 MPa aralığındadır. Elyafın belirtilen özellikleri üretici firmanın kataloğundan alınmıştır. Kullanılan makro sentetik elyaf Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan makro sentetik elyaf

3.1.4. Su

Tez çalışması kapsamında üretilen SSB karışımlarının tümünde içilebilir şehir şebekesi musluk suyu kullanılmıştır.

3.2. Deneysel Çalışma

3.2.1. Numunelerin hazırlanması

Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılacak olan malzemelerin özellikleri ve karışım oranları belirlendikten sonra SSB karışımları hazırlanmaya başlanmıştır. Elyaf oranları beton hacminin %0 (kontrol), %0.2, %0.4 ve %0.6'sı olarak belirlenmiştir. Tüm SSB karışımlarındaki çimento miktarı kuru agrega ağırlığının %14'ü olarak sabit tutulmuştur. Her bir elyaf oranı için zemin sıkıştırma yöntemi kullanılarak maksimum kuru yoğunluğuna denk gelen optimum su içerikleri hesaplanmıştır. Kontrol, %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranlarına sahip SSB karışımlarının maksimum kuru yoğunlukları sırasıyla 2406, 2376, 2356 ve 2357 kg/m^3 olarak belirlenmiş olup, buna denk gelen optimum su içerikleri ise sırasıyla %7.3, %7.4, %7.5 ve %7.8 olarak tespit edilmiştir. SSB'nin karışım oranları, Amerikan Beton Enstitüsü komitesi tarafından hazırlanan çökmesi olmayan beton için karışım oranları rehberi baz alınarak belirlenmiştir (ACI 211.3R-02, 2009).

Hazırlanan SSB karışımlarında çökme ve modifiye vebe deneyi yapılmıştır. Tüm elyaf oranlarına sahip karışımlarda yapılan çökme deneyinde çökme değeri sıfır olarak belirlenmiştir. Modifiye vebe deneyi sonucunda ise elyaf oranı arttıkça vebe süresinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

SSB numuneleri ASTM C 1435 prosedürüne uygun olacak şekilde darbeli çekiç yöntemiyle sıkıştırılarak üretilmiştir (Şekil 3.2). Üretilen numuneler kürlenmek üzere 28 gün kirece doygun suda bekletilmiştir. Donma- çözülme deneyinde kullanılmak üzere 48 adet 100x100x400 mm boyutlarında ve basınçlı su işleme derinliği deneyi için 9 adet 150x150x150 mm boyutlarında SSB numune üretilmiştir. Su emme ve kılcal su emme deneyleri için ise 100x100x100 mm boyutlarında her biri için 8 adet olmak üzere toplamda 16 numune üretilmiştir.



Şekil 3.2.SSB numunelerinin üretimi

3.2.2. Yapılan deneyler

Tez kapsamında üretilen numunelere donma-çözülme, basınçlı su işleme derinliği, su emme ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca donma-çözülme deneyi kapsamında ağırlık değişimi, ultrasonik geçiş hızı, dinamik elastiste modülü tayini, pandül, basınç ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır.

3.2.2.1. Donma-çözülme deneyi

Donma-çözülme deneyi için 100x100x400 mm boyutunda prizma şeklindeki SSB numuneler üretilmiş ve 28 gün kürlenmiştir. Farklı oranlarda makro sentetik elyaf miktarlarına sahip 4 karışımın her birinden 12 adet olmak üzere toplamda 48 adet numune üretilmiştir. Üretilen numunelere ASTM C666 stardardının B prosedürüne göre hızlı donma-çözülme deneyi uygulanmıştır.

Hazırlanan SSB numuneleri donma-çözülme kabinine (Şekil 3.3) yerleştirildikten sonra -18±2 ºC'de havada dondurulmuş ve 5±2 ºC'de suda çözdürülecek şekilde toplamda 300 donma-çözülme çevrimine maruz bırakılmıştır. Numunelere 100 çevrimde bir basınç, eğilme ve pandül deneyi yapılmıştır. Ağırlık kaybı 25 çevrimde bir, ultrasonik geçiş hızı ve dinamik elastiste modülü değişimleri ise 50 çevrimde bir ölçülmüştür.



Şekil 3. 3. Donma-çözülme cihazı

3.2.2.1.1 Ağırlık değişimi

Ağırlık değişimi tespiti için her 25 donma-çözülme çevrimi sonunda SSB numuneler tartılmış ve ağırlık değişimleri Denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Donma-çözülme çevrimleri sonunda SSB numunelerin ağırlık tartımı

$$W_{\text{degisim}} = \left(\frac{W_2 - W_1}{W_1} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

$W_{\text{değişim}}$: Ağırlık değişimi (%)

W_1: Deney başlangıç ağırlığı (g)

W_2: Her 25 çevrimden sonraki ağırlık (g)

3.2.2.1.2 Ultrasonik geçiş hızı deneyi

Ultrasonik geçiş hızı deneyi, sertleşmiş beton numunelerin içerisinden geçen ultrases dalga hızını ölçerek dayanımının belirlenmesinde kullanılır. Ultrasonik geçiş hızı cihazı (Şekil 3.5), alıcı olan transdüserin verici transdüsere gönderdiği ses

dalgalarının beton içerisindekigeçiş hızını ölçmektedir. Bu geçiş hızı değeri betonun kalitesini belirler.

Ultrasonik geçiş hızı deneyi ASTM C 597 standardına göre SSB kiriş numunelerin beton döküm yönüne dik yan yüzleri üzerinde yapılmıştır. Herbir numunede, birbirine paralel olacak şekilde üç farklı noktada üç farklı geçiş hızı değeri belirlenmiş ve bu üç değerin ortalaması alınarak değerlendirilmiştir. Ölçüm alınırken transdüserlerin birbirleri ile tam olarak karşılıklı denk gelmeleri sağlanmıştır. Transdüserler ile numune arasında boşluk kalmamasını sağlamak için ultrason jel kullanılmıştır. Ölçümler 4 farklı karışımın her birinden belirlenen 3 adet numune üzerinde ve her 50 donma-çözülme çevriminde bir tekrarlanmıştır.



Şekil 3.5.Ultrasonik geçiş hızı deneyi

3.2.2.1.3 Dinamik elastiste modülü tayini

SSB numunelerinin her 50 çevrimde bir belirlenen ultrasonik geçiş hızı değerleriyle ASTM C597 standardına göre Denklem 3.2 kullanılarak dinamik elastiste modülü (E_{dn}) hesaplanmıştır.

$$E_{dn} = \rho c^2 \left(\frac{(1+\upsilon)(1-2\upsilon)}{1-\upsilon} \right) \times 100 \quad (3.2)$$

Burada;

E_{dn}: Dinamik elastiste modülü (GPa)

ρ: Betonun yoğunluğu (kg/m^3)

c: Ultrasonik geçiş hızı (km/sn)

υ: Poisson oranı (Tüm karışımlarda 0.2 olarak kabul edilmiştir)

ASTM C666'ya göre bağıl dinamik elastiste modülü (P_n) Denklem 3.3'e ve buna bağlı olarak durabilite faktörü (D_f) Denklem 3.4'e göre hesaplanmıştır

$$P_n = \left(\frac{f_n^{\,2}}{f_1^{\,2}} \right) \times 100 \quad (3.3)$$

$$D_f = P_n \times \left(\frac{N}{M} \right) \quad (3.4)$$

Burada;

P_n: Bağıl dinamik elastiste modülü

f_1: Donma-çözülme deneyinin başlangıcındaki ultrasonik geçiş hızı değeri

f_n: Donma-çözülme deneyinin n çevrimindeki ultrasonik geçiş hızı değeri

D_f: Dayanıklılık faktörü

N: Bağıl dinamik modülünün 0.60'dan az olduğu çevrim sayısı veya maruz kalacağı çevrim sayısı (hangisi küçük ise)

M: Maruz kalmanın sonlandıralacağı çevrim sayısı (300)

3.2.2.1.4 Pandül deneyi

Pandül deneyi, zemin kaplamalarının kayma direncinin tespiti için kullanılır. Bu çalışmada deney, donma-çözülmeye maruz bırakılan 4 farklı elyaf oranına sahip 100x100x400 mm boyutundaki SSB numunelerinde ASTM E303 standardına göre

her 100 çevrimde bir aynı numuneye uygulanmıştır. Deneyin uygulanması için numuneler donma-çözülme kabininden çıkarıldıktan sonra bir fırça yardımıyla yüzeyi temizlenerek oda koşullarında yaklaşık 2 saat bekletilmiştir. Cihazın, pandül kolu yatay olarak serbest bırakıldığında ibre üzerindeki değer sıfırı gösterecek şekilde ve pandül kolunun yüksekliği numunenin yüksekliğine göre kalibre edilmiştir. Daha sonra, pandül kolu üzerindeki 76 mm uzunluğundaki lastik kaydırıcının numunenin orta kısmından 12.6 cm uzunluğundaki bir bölüme temas etmesi sağlanacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3.6). Numune üzerinde her iki yönde de 5 ölçüm yapılmış ve ortalaması alınarak pandül değeri belirlenmiştir. Numunelerin ıslak durumdaki kayma direncini hesaplamak için ise numunelerin yüzeyi ıslatılarak deney aynı şekilde tekrarlanmıştır.



Şekil 3.6. Pandül deney cihazı

3.2.2.1.5 Eğilme dayanımı deneyi

3 noktalı eğilme dayanımı deneyi, ASTM C 293 standardına göre donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılan 100x100x400 mm boyutlarındaki SSB numuneler üzerinde yapılmıştır (Şekil 3.7). 0, 100, 200 ve 300 donma-çözülme çevrimleri sonunda, 4 farklı elyaf oranına sahip numunelerin her birinden 3'er adet

numune üzerinde deney yapılmış ve ortalamaları alınarak eğilme dayanımı belirlenmiştir.



Şekil 3.7. Eğilme dayanımı deneyi

3.2.2.1.6 Basınç dayanımı deneyi

Basınç dayanımı deneyi, eğilme dayanımı deneyi yapıldıktan sonra iki parçaya ayrılan numunelerin üst ve alt kısmına 100x100 mm'lik plaklar yerleştirilerek yapılmıştır (Şekil 3.8). Deney ASTM C39 standardına göre 0, 100, 200 ve 300 donma-çözülme çevrimleri sonunda, 4 farklı elyaf oranına sahip numunelerin her birinden 6 adet numune üzerinde deney yapılmış ve ortalamaları alınarak basınç dayanımı belirlenmiştir



Şekil 3.8. Basınç dayanımı deneyi

3.2.2.2 Basınçlı su işleme derinliği deneyi

Basınçlı su işleme derinliği deneyi, sertleşmiş SSB numunelerde basınçlı suyun betonun iç kısmına işleme derinliğinin belirlenmesinde kullanılır. Çalışma kapsamında yapılan bu deney TS EN 12390–8 standardına uygun olacak şekilde yapılmıştır. Basınçlı su işleme derinliği deneyi, her elyaf oranından 3'er adet 150x150x150 mm boyutlarında SSB numune kullanlarak yapılmıştır. Su basıncının uygulanacağı beton numunenin yüzeyi tel fırça ile pürüzlendirilmiştir. Numuneler, basınçlı su işleme derinliği cihazına (Şekil 3.9) standarda uygun olacak şekilde yerleştirilmiştir. Cihaza yerleştirilen SSB numuneleri 72±2 saat süre içersinde 500±50 kPa su basıncı uygulanmıştır. Belirtilen süre sonunda numuneler cihazdan çıkartılmış ve su basıncı uygulanan yüzeye dik olacak şekilde ortadan ikiye ayrılmıştır. İkiye ayrılan numunelerin iç yüzeyi kurulandıktan sonra ıslaklığın belirgin olduğu en yüksek derinlik dijital kumpas ile ölçülmüştür.



Şekil 3.9. Basınçlı su işleme derinliği cihazı

3.2.2.3. Kılcal su emme deneyi

Kılcal su emme deneyini yapmak için her elyaf oranından 2 adet olmak üzere 100x100x100 mm boyutlarında toplam 8 adet SSB numune üretilmiştir. Üretilen numuneler 24 saat kalıpta bekletilmiş ve numuneler kalıptan alındıktan sonra 28 gün kirece doygun kür havuzunda bekletilmiştir. Suya doygun olan numuneler 24 saat 105±5°C'de etüvde sabit ağırlığa gelmesi sağlanmış ve dijital tartı ile ağırlıkları tespit edilmiştir. Sabit ağırlığa gelen SSB numunelerinin sadece alt yüzeyleri suyla temas edeceği için yan yüzeyleri yaklaşık 5 mm kadar silikon ile kaplanmış ve silikonla kaplanmış numunelerin ağırlıkları tekrar tartılmıştır. Daha sonra Şekil 3.10'daki düzeneğe numunelerin sadece temas yüzeyi değeceği kadar su doldurulmuştur. Düzeneğe yerleştirilen SSB numuneleri kronometre yardımıyla; 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49 ve 64. dakikalarda alınmış ve numunenin suya temas eden yüzeyindeki serbest su bir havlu ile kurutularak ağırlıkları tespit edilmiştir. Daha sonra belirtilen her dakika için su emme miktarları (Q) hesaplanmış ve bu su emme miktarının, numunenin suya temas eden yüzey alanına oranıyla (Q/A) geçen zamanın karekökü (√t) arasında lineer bir ilişki elde edilmiştir (Denklem 3.5). Bu lineer ilişkiden elde edilen doğrunun eğimi ise SSB numunelerinin kılcal su emme katsayısını vermektedir.

$$\frac{Q}{\mathrm{A}} = K \times \sqrt{t} \tag{3.5}$$

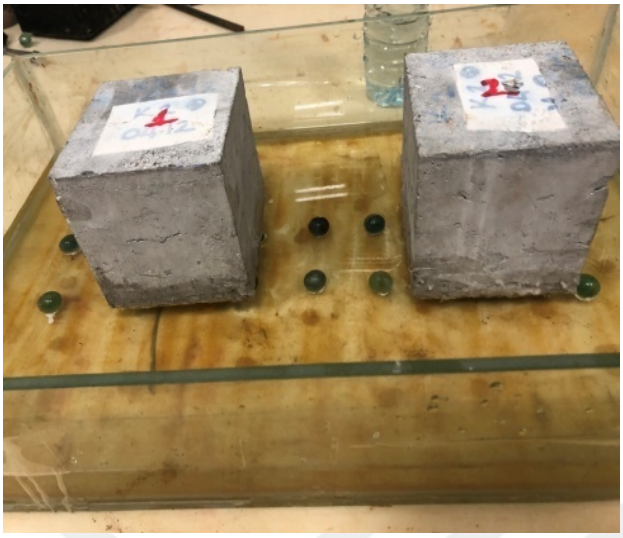
Burada;

Q: Emilen su miktarı (mm^3)

A: Su ile temas eden yüzey alan (mm^2)

K: Kılcal su emme katsayısı ($mm/dak^{½}$)

t: Geçen zaman (dak)



Şekil 3.10. Kılcal su emme deney düzeneği

3.2.2.4. Su emme deneyi

Su emme deneyini yapmak için her elyaf oranından 2 adet olmak üzere 100x100x100 mm boyutlarında toplamda 8 adet küp SSB numune üretilmiştir. 24 saat süre ile kalıpta bekletilen numuneler kürlenmesi için 28 gün kür havuzunda bekletilmiştir. 28 gün sonunda havuzdan çıkarılan numuneler bir havlu yardımıyla yüzeyindeki serbest su kurulandıktan sonra suya doygun yüzey kuru hale getirilmiş ve bu durumda dijital tartı ile ağırlığı belirlenmiştir. Daha sonra numuneler 24 saat 105±5 ºC'de etüvde sabit ağırlığa gelmesi sağlanmıştır. Etüvden çıkarılan numuneler soğuduktan sonra tekrar tartılmıştır. Denklem 3.6 kullanılarak SSB numunelerinin su emme oranları belirlenmiştir.

$$\Delta = \left(\frac{W_{dyk} - W_k}{W_k} \right) \times 100 \qquad (3.6)$$

Burada;

Δ: Su emme oranı (%)

W_{dyk}: Doygun yüzey kuru ağırlık (gr)

W_k: Kuru ağırlık (gr)

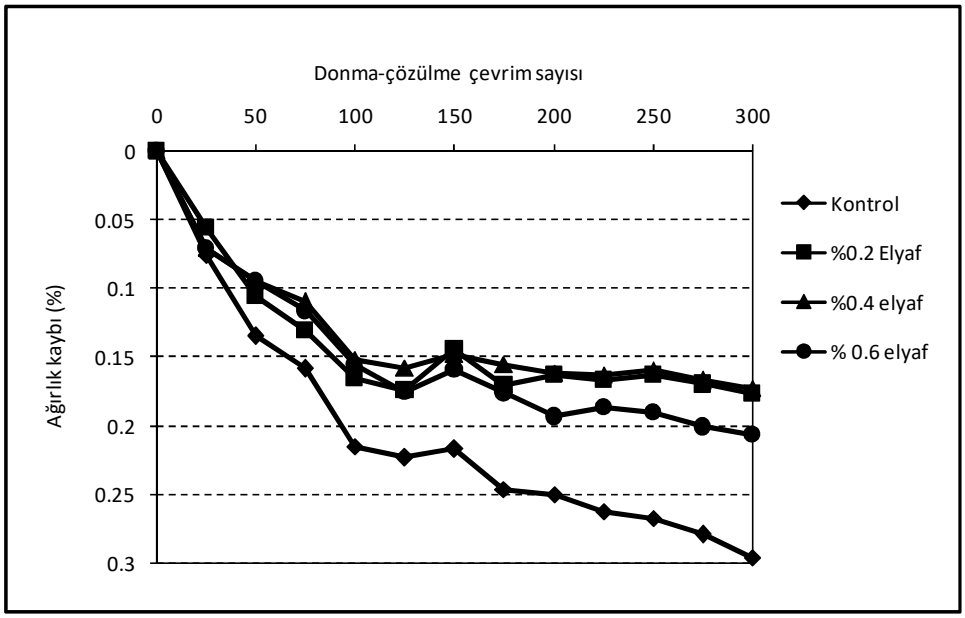
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1 Donma-çözülme deneyi

ASTM C666 standardının B prosedürüne göre 100x100x400 mm boyutundaki %0 (kontrol), %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranlarına sahip SSB numuneleri üzerinde hızlı donma-çözülme deneyi yapılmıştır. Bu deney kapsamında; ağırlık değişimi, ultrasonik geçiş hızı, dinamik elastiste modülü, pandül, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

4.1.1 Ağırlık kaybı

Tekrarlı donma-çözülme çevrimine maruz bırakılan SSB numunelerinin ağırlık değişimi Denklem 3.1'e göre 25 çevrimde bir belirlenmiştir. Donma-çözülme çevrim sayısına bağlı olarak kontrol, %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranlarına sahip SSB numunelerininin ağırlık kayıpları Şekil 4.1'de verilmiştir.

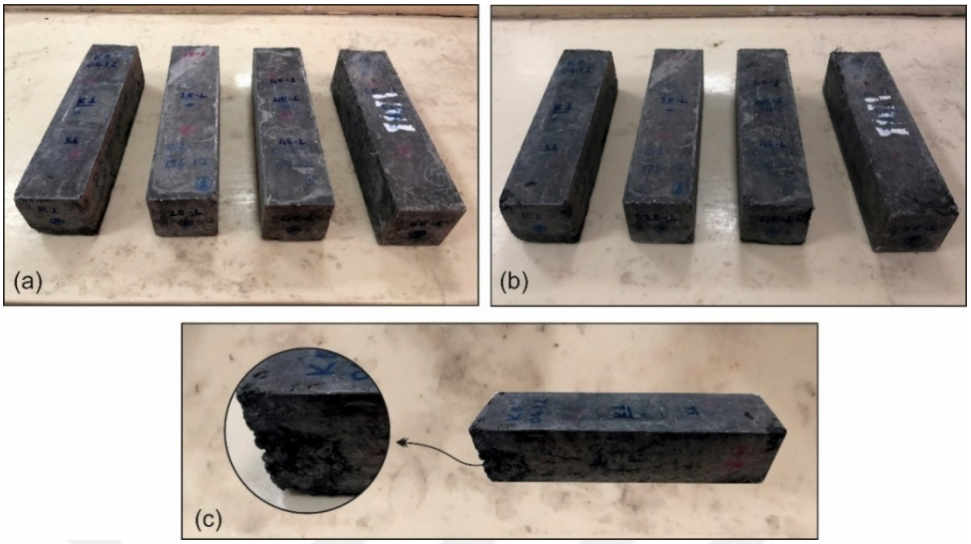


Şekil 4.1.Donma-çözülme çevrim sayısına göre SSB numunelerinin ağırlık kaybı

Şekil 4.1'de 300 donma-çözülme çevrimi sonunda tüm SSB numunelerinin ağırlık kaybı %0.15 ile %0.3 aralığında olduğu görülmektedir. Donma-çözülme çevrimlerindeki artışla beraber tüm numunelerde ağırlık kaybı artmıştır. Elyaf katkılı SSB numunelerinin ağırlık kaybı kontrol numunesiyle kıyaslandığında daha az olduğu görülmüştür. Şekil 4.1'de en fazla ağırlık kaybının kontrol numunesinde %0.3 oranında olduğu görülmektedir.

Betona elyaf eklenmesi, donma-çözülme çevrimlerinden dolayı betonda oluşabilecek çatlakların oluşumunu ve gelişmesini engeller. Öte yandan, donma basıncını azaltarak zararsız boşlukların oluşmasını sağlar ve buda betonda donma-çözülme nedeniyle oluşabilecek hasarların derecesini azaltır (Zhao ve ark., 2017).

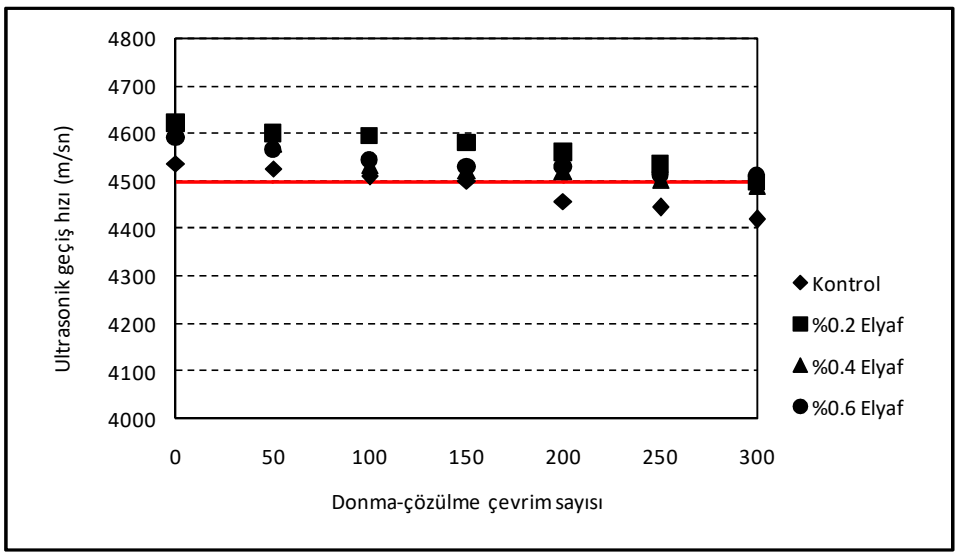
SSB'de elyaf kullanımının beton yüzeyindeki kopmaları engelleyerek ağırlık kaybı üzerinde olumlu etkisinin olduğu ancak elyaf miktarındaki artışın donma-çözülme direncine karşı belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Donma-çözülme çevrimine maruz bırakılan kontrol, %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranlarına sahip numunelerin 0 ve 300 çevrimdeki fotoğrafları çekilmiş olup Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.2'de en fazla yüzey bozulmasının kontrol numunesinde meydana geldiği görülmektedir. Elyaf katkılı numunelerin yüzeyinde ise belirgin bir değişiklik olmamıştır.



Şekil 4.2. Donma-çözülme çevrimine maruz kalan elyaf katkılı ve katkısız SSB numuneleri a) 0 çevrim b)300 çevrim c) 300 çevrim sonundaki kontrol numunesi

4.1.2 Ultrasonik geçiş hızı deneyi

Toplamda 300 donma-çözülme çevrimine tabi tutulan elyaf katkılı ve katkısız SSB numuneleri üzerinde 50 çevrimde bir ultrasonik geçiş hızı ölçülmüştür. Belirlenen ölçüm değerleri Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3.Donma-çözülme çevrim sayısına göre SSB numunelerinin ultrasonik geçiş hızı

Kontrol, %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranlarına sahip SSB numunelerin donma-çözülme deneyine başlanmadan önce ultrasonik geçiş hızının yaklaşık değerleri sırasıyla 4538, 4621, 4610 ve 4590 m/sn olarak ölçülmüştür. 300 donma-çözülme çevrimi sonunda ise kontrol, %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranlarına sahip SSB numunelerin yaklaşık ultrasonik geçiş hızı değerleri 4420, 4497, 4490 ve 4510 m/sn olarak belirlenmiştir. Tüm SSB numuneleri donma-çözülme çevrimlerine maruz kaldıktan sonra ultrasonik geçiş hızlarında azalma olmuştur. Bunun nedeni donma-çözülme çevrimlerindeki artışın SSB içerisindeki boşlukları arttırmasıdır (Esen 2003).

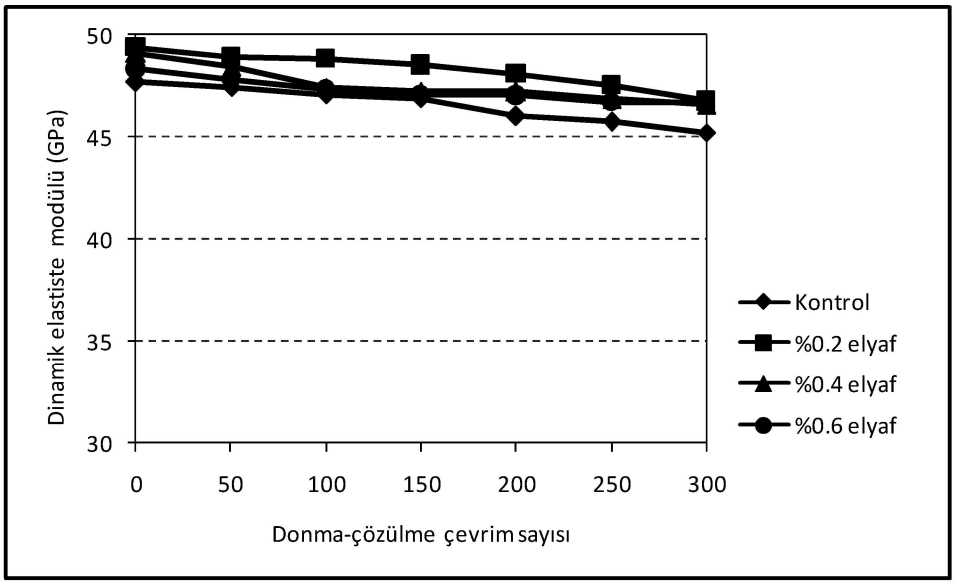
Ultrasonik dalgaların beton içerisindeki geçiş hızı büyüklüğü betonun iç yapısı hakkında bilgi vermektedir (Esen, 2003). Tüm SSB numunelerin ultrasonik geçiş hızı deney sonuçlarına göre beton kalitesi Çizelge 4.1'deki ultrasonik geçiş hızı aralıkları göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir (CEB-FIP, 1989). Deney başlamadan önce elyaf katkılı ve katkısız tüm numunelerin ultrasonik geçiş hızı deney sonuçlarına göre 1. derece beton kalitesinde olduğu belirlenmiştir. 150. çevrimden sonra kontrol, %0.2 ve %0.4 elyaf oranlarına sahip numunelerin 2. derece beton kalitesine düştüğü ancak elyaf oranının %0.6 olduğu numunede kalite derecesinin değişmediği belirlenmiştir.

Çizelge 4.1.Ultrasonik geçiş hızı değerlerine göre betonun kalite değerlendirilmesi (CEB-FIP, 1989)

Beton kalite derecesi	Ultrasonik geçiş hızı (m/sn)	Beton kalite durumu
1	> 4500	Mükemmel
2	3500–4500	İyi
3	3000–3500	Orta
4	< 3000	Kötü

4.1.3 Dinamik elastiste modülü tayini

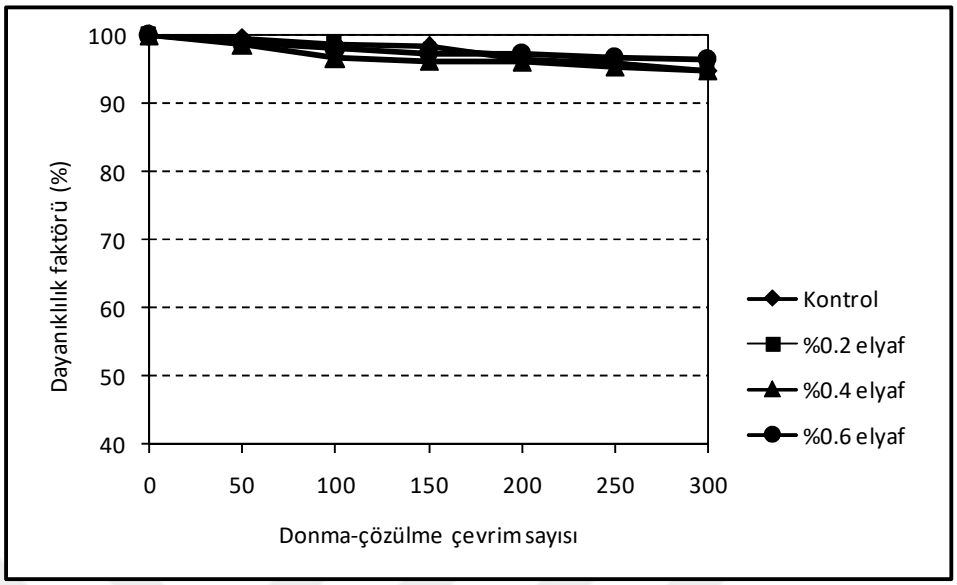
Her 50 donma-çözülme çevriminde bir belirlenen ultrasonik geçiş hızı değerleri kullanılarak elyaf katkılı ve katkısız SSB numunelerin dinamik elastiste modülü değerleri Denklem 3.2'ye göre hesaplanmıştır. Donma-çözülme çevrimlerinin dinamik elastiste modülü üzerindeki etkisi Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.4. Donma-çözülme çevrim sayısına göre SSB numunelerinin dinamik elastiste modülü

Şekil 4.4'e göre; donma-çözülme çevrimleri başlamadan önce kontrol, %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranlarına sahip SSB numunelerinin E_{dn} değerleri sırasıyla 47.69, 49.37, 49.1 ve 48.3 GPa olarak belirlenmiştir. 300 çevrim sonunda %0.2 elyaf katkılı numunenin dinamik elastisite modülü %5.3 oranında azalmış olup en çok etkilenen numune olmuştur. Elyaf oranı %0.6 oranında olan SSB numunenin ise E_{dn} değeri %3.45 oranında azaldığı ve en az etkilenen numune olduğu belirlenmiştir.

Denklem 3.3 kullanılarak bağıl dinamik elastiste modülü (P_n) değerleri belirlendikten sonra Denklem 3.4'e göre dayanıklılık faktörü (D_f) hesaplanmış ve donma-çözülme çevrim sayısına bağlı olarak dayanıklılık faktöründeki değişim Şekil 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Donma-çözülme çevrim sayısına göre SSB numunelerinin dayanıklılık faktörü

Literatürde, D_f değerleri %60'dan daha fazla ise beton karışımı tatmin edici, %40-%60 aralığındaki ise şüpheli ve %40'ın altındaki ise tatmin edici değil olarak sınıflandırılır (Neville, 2010). Şekil 4.5'e göre tüm SSB karışımlarının 300 donma-çözülme çevrimi sonundaki D_f değerlerinin %60'dan daha fazla olduğu görülmektedir. Belirtilen kriterler göz önüne alındığında ise tüm karışımlar tatmin edici olarak sınıflandırılabilir.

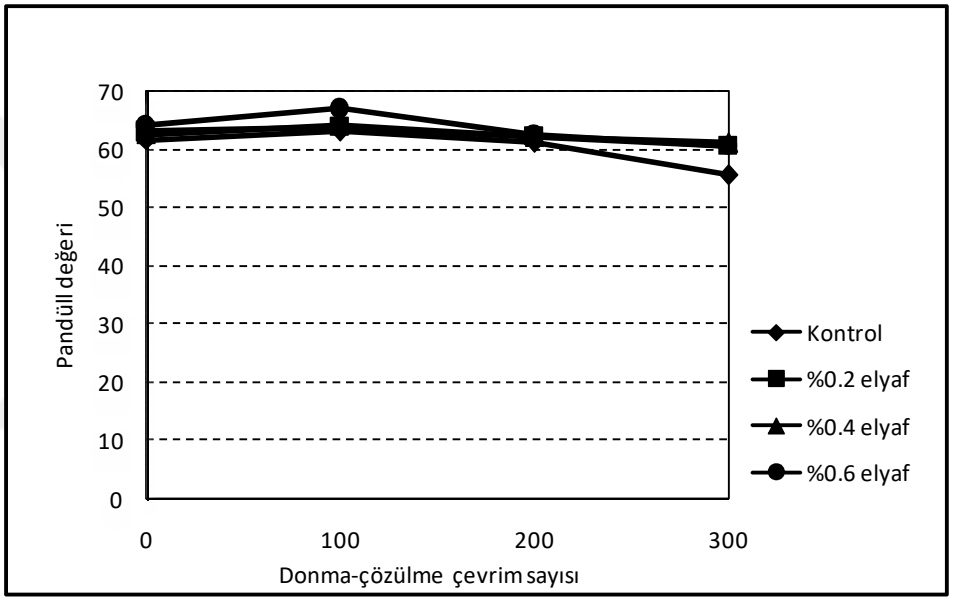
Genel olarak incelendiğinde ise, elyaf oranının artması ile D_f değerlerinde kayda değer bir değişim olmadığı ve tüm karışımlarda ihmal edilebilecek bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.

4.1.4 Pandül deneyi

Pandül deneyi kontrol, %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf içeren 100x100x400 mm boyutundaki SSB numuneler üzerinde her 100 donma-çözülme çevriminde bir yapılmıştır. Islak ve kuru durumdaki her bir numunenin pandül değeri, numune 180º döndürülerek 2 yönlü olarak ve her yön için beş ölçüm alınarak belirlenmiştir. Bu ölçümlerin ortalamaları alınarak, donma-çözülme çevrimlerine karşılık gelen kuru ve

ıslak durumdaki pandül değeri değişimleri sırasıyla Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

Bu deney ile SSB numuneleri üzerinde, donma-çözülme çevrimlerinin sebep olduğu yüzey bozulmalarına karşı numunelerin kayma potansiyeli değişiminin belirlenmesi amaçlanmaktadır. TS EN 13036-4'e göre kayma potansiyelinin sınıflandırılması Çizelge 4.2' de gösterilmiştir.



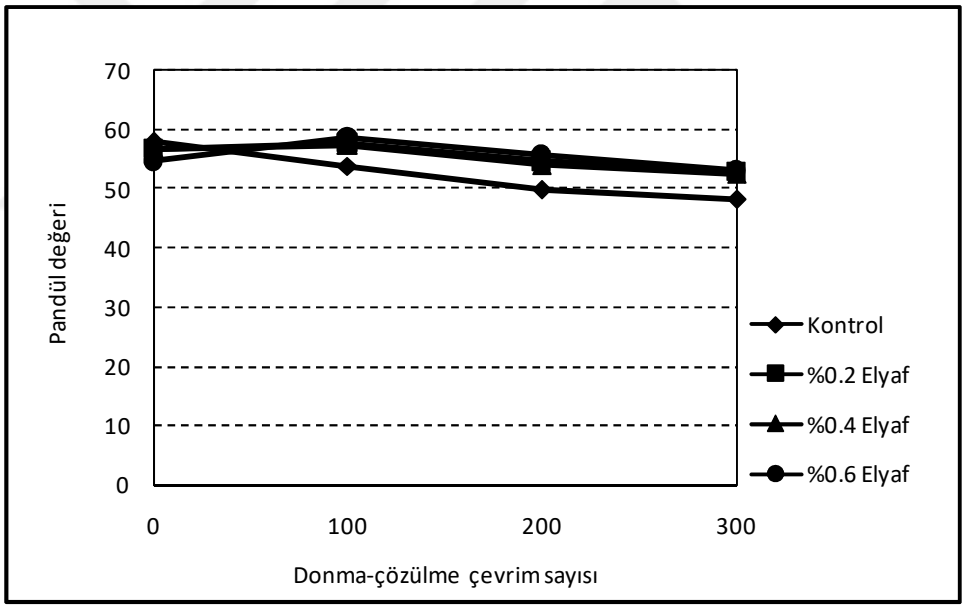
Şekil 4.6. Donma-çözülme çevrim sayısına göre kuru SSB numunelerinin pandül değeri

Çizelge 4.2.Pandül değerlerine göre kayma potansiyelinin sınıflandırılması (TS EN 13036-4)

Sınıflandırma	Pandül Değeri	Kayma Potansiyeli
Z	<24	Çok yüksek
Y	25-34	Yüksek
X	35-44	Orta
W	45-54	Düşük
V	>54	Çok düşük

Şekil 4.6 incelendiğinde elyaf katkılı ve katkısız tüm numunelerin donma-çözülme çevrimleri başlamadan önceki pandül değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. 300 donma-çözülme çevrimi sonunda ise kontrol numunesinin pandül değerinde azalma meydana geldiği ancak elyaflı numunelerde önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

Kuru durumdaki tüm SSB numunelerinin donma-çözülme çevrimleri maruziyeti sonucunda pandül değerlerinin 54'den büyük olduğu belirlenmiştir. Elde edilen pandül değerleri ile kuru durumdaki SSB numunelerini kayma potansiyeline göre sınıflandırdığımızda ise, tüm karışımların V sınıfında yani kayma potansiyelinin çok düşük olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. Donma-çözülme çevrim sayısına göre ıslak SSB numunelerinin pandül değeri

Şekil 4.7 incelendiğinde ıslak durumdaki tüm SSB numunelerinin donma-çözülme çevrim sayısına bağlı olarak pandül değerleri 48-59 aralığında değiştiği görülmektedir. 300 donma-çözülme çevrimi sonucunda en düşük pandül değeri kontrol SSB numunesinde elde edilmiştir.

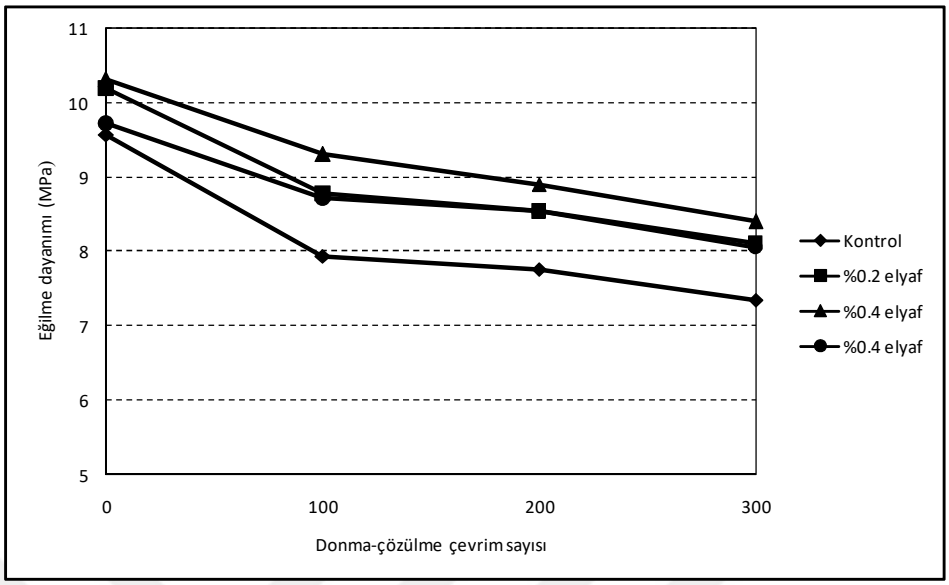
Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 karşılaştırıldığında tüm SSB numunelerinin ıslak durumdaki pandül değerleri kuru durumdaki pandül değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

Islak durumdaki SSB numunelerinin kayma potansiyeli durumları incelendiğinde, ilk 100 çevrime kadar kontrol numunesinin pandül değerinin 54'den büyük olduğu sonrasında ise 45-54 aralığında kaldığı gözlemlenmiştir. Elyaflı numunelerin hepsinde pandül değerinin 200 çevrime kadar 54'den büyük olduğu fakat 300 çevrim sonunda 45-54 aralığına düşmüş olduğu görülmüştür. Tüm SSB numunelerin kayma potansiyelleri V sınıfından W sınıfına düşmüş yani çok düşük olan kayma potansiyelleri 300 çevrim sonunda düşük olarak sınıflandırılmıştır.

Betona elyaf ilavesi, tekrarlanan donma-çözülme koşullarında ortaya çıkan hasarı azaltmada etkilidir (Richardson ve ark., 2012). Elyaflı SSB'lerin yüzeylerinin bozulmaları çok az olduğundan hem ıslak hem de kuru durumdaki kayma potansiyellerinde önemli bir değişiklik olmamıştır.

4.1.5 Eğilme dayanımı deneyi

Donma-çözülme çevrimine maruz bırakılan 100x100x400 mm boyutundaki SSB numuneleri üzerinde her 100 çevrimde bir ASTM C 293 standardına göre üç noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Tekrarlanan donma-çözülme çevrimlerine göre, kontrol, %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranlarına sahip numunelerin eğilme dayanımı değerlerindeki değişim Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Donma-çözülme çevrim sayısına göre SSB numunelerinin eğilme dayanımı

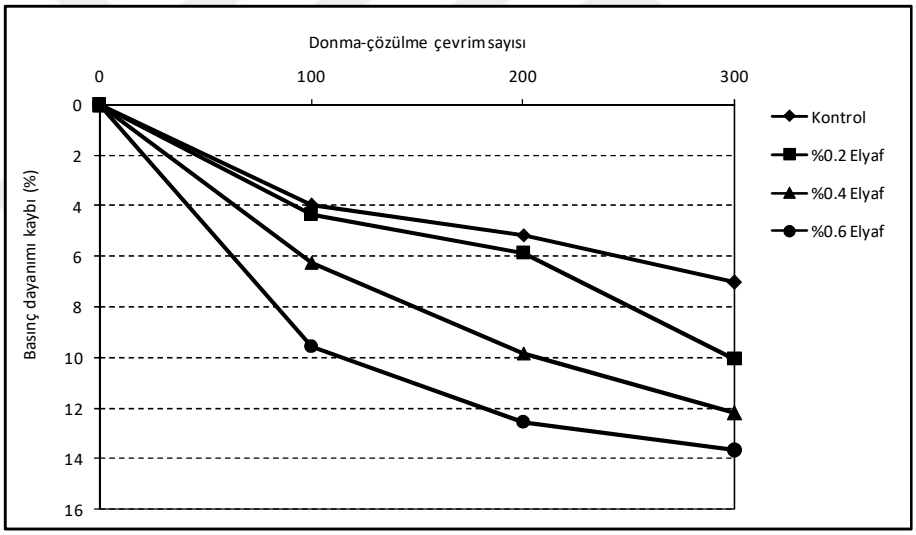
Şekil 4.8 incelendiğinde deney başlamadan önce eğilme dayanımı değerlerinin 9.6-10.3 MPa aralığında, 300 donma-çözülme çevriminin sonunda ise 7.4-8.4 MPa aralığında değiştiği görülmektedir. Tekrarlanan donma-çözülme çevrimlerindeki artışa bağlı olarak elyaf katkılı ve katkısız tüm numunelerin eğilme dayanımları aşamalı bir şekilde azalmıştır. Tüm numunelerin deney sonuçları kıyaslandığında, en fazla eğilme dayanımı kaybının yaklaşık %23 oranında kontrol numunesinde olduğu belirlenmiştir. %0.2, %0.4 ve %0.6 oranlarında elyaf kullanılan SSB numunelerinin eğilme dayanımları ise sırasıyla yaklaşık olarak, %20, %19 ve %17 oranlarında azalmıştır. SSB numunesindeki elyaf miktarı arttıkça eğilme dayanımı kaybının azaldığı belirlenmiştir. Sonuç olarak SSB'de elyaf kullanımının, donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılan numunelerin eğilme dayanımlarını olumlu yönde etkilediği söylenebilir.

Donma-çözülme çevrimleri maruziyetinden dolayı meydana gelen hasarlar, beton yapının dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden biridir ve bu hasarlar betonun iç yapısını bozarak mekanik özelliklerini zayıflatır. Betona elyaf eklenmesi donma basıncını azaltarak zararsız gözenek sayısını arttırabilir ve bu nedenle donma-çözülme çevrimlerinden kaynaklı hasarı azaltabilir (Zhao ve ark., 2018). SSB

numunelerinde elyaf kullanımı donma-çözülme çevrimleri maruziyetinden kaynaklı iç hasarın oluşumunu engellemiş ve bu numunelerin eğilme dayanımları kontrol numunesi ile kıyaslandığında daha olumlu sonuç vermiştir.

4.1.6 Basınç dayanımı deneyi

Üç noktalı eğilme deneyi sonunda ikiye ayrılan parçaların altına ve üstüne 100x100 mm'lik plaklar yerleştirilerek ASTM C39 standardına göre basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Her 100 donma-çözülme çevrimi sonunda kontrol, %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranlarına sahip SSB numunelerinin basınç dayanımındaki kayıplar Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Donma-çözülme çevrim sayısına göre SSB numunelerinin basınç dayanımı kaybı

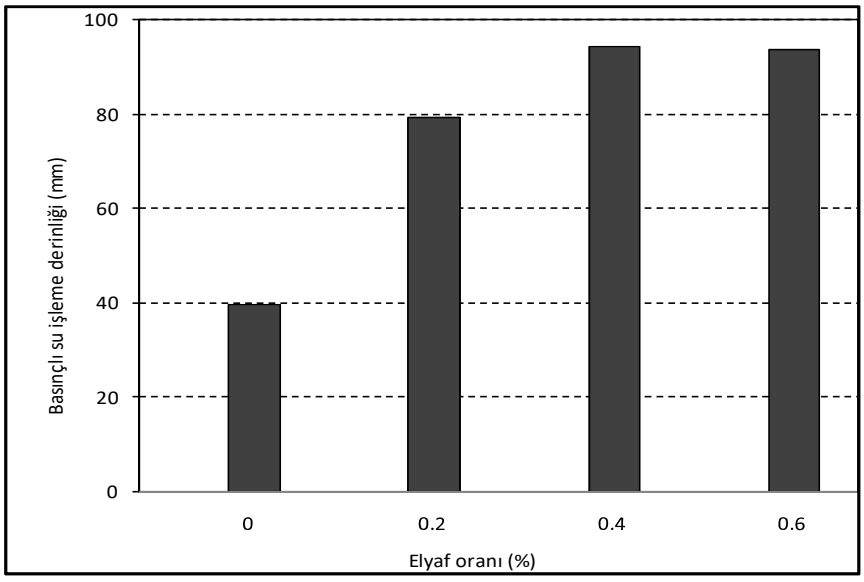
Şekil 4.9'da donma-çözülme çevrimlerindeki artışa bağlı olarak tüm karışımların basınç dayanımlarının azaldığı görülmektedir. SSB numunelerinin donma-çözülme çevrimine göre basınç dayanım kayıpları incelendiğinde en fazla kayıp %0.6 oranında elyaf içeren SSB numunesindedir. 300 çevrim sonunda başlangıç durumuna göre basınç dayanım kayıpları %0.6 oranında elyaf içeren numunede %14, %0.4 elyaf içeren numunede %12, %0.2 elyaf içeren numunede

%10 ve kontrol numunesinde %7 oranında olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak SSB numunesindeki elyaf miktarı arttıkça basınç dayanımı kaybının arttığı belirlenmiştir.

SSB karışımlarının su/çimento oranı ve sıkıştırılabilirliği toplam boşluk içeriğini etkileyebilir (Abbaszadeh ve ark., 2017). Ayrıca artan elyaf miktarına bağlı olarak elyaflar, beton içerisinde topaklaştıklarından dolayı numune içerisinde boşluk miktarının artmasına sebep olurlar (Topçu ve ark., 2017). Boşluk miktarı kontrol betonuna göre daha fazla olan elyaf katkılı SSB numunelerin boşluklarına giren suyun donması sonucunda hacim genleşmesi olmakta ve bu da beton içerisnde çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla elyaf katkılı numunelerde elyaf miktarındaki ve donma-çözülme çevrimi sayısındaki artışa bağlı olarak basınç dayanımı kaybı daha fazla olmuştur.

4.2. Basınçlı su işleme derinliği deneyi

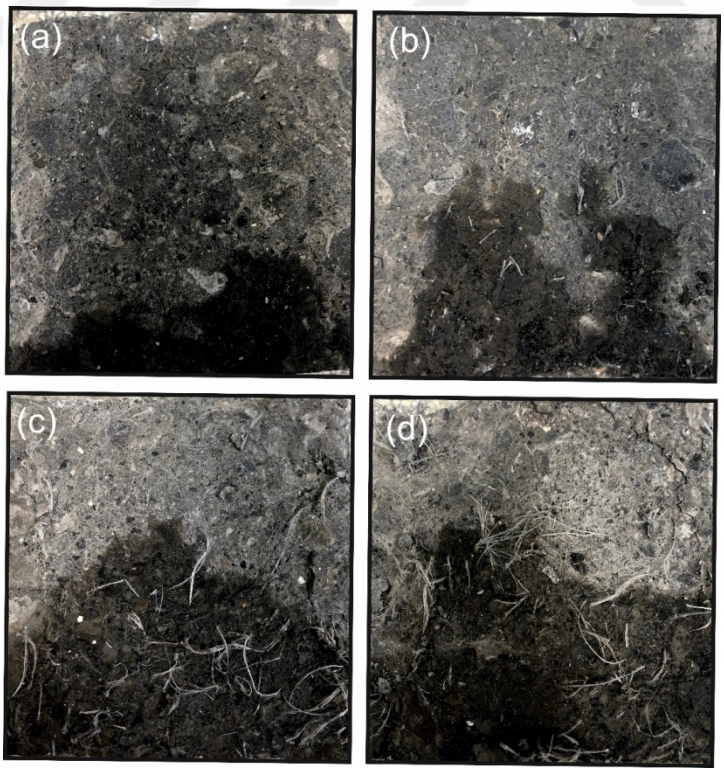
Basınçlı su işleme derinliği deneyi kontrol, %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranlarına sahip 150x150x150 mm boyutundaki SSB numunelerine uygulanmıştır. Deney sonucunda belirlenen su işleme derinlikleri Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10.Elyaf oranına bağlı olarak SSB numunelerin basınçlı su işleme derinliği

Yapılan deneysel çalışma sonucunda kontrol, %0.2, %0.4 ve %0.6 oranında elyaf içeren numunelerin su işleme derinliği sırasıyla, yaklaşık olarak 40, 79, 94 ve 94 mm olarak belirlenmiştir. Elyaf katkılı ve katkısız üretilen SSB numunelerinin basınçlı su işleme derinlikleri karşılaştırıldığında en düşük basınçlı su işleme derinliğinin kontrol numunesinde olduğu ve elyaf kullanımının basınçlı su işleme derinliğini arttırdığı tespit edilmiştir (Şekil 4.10).

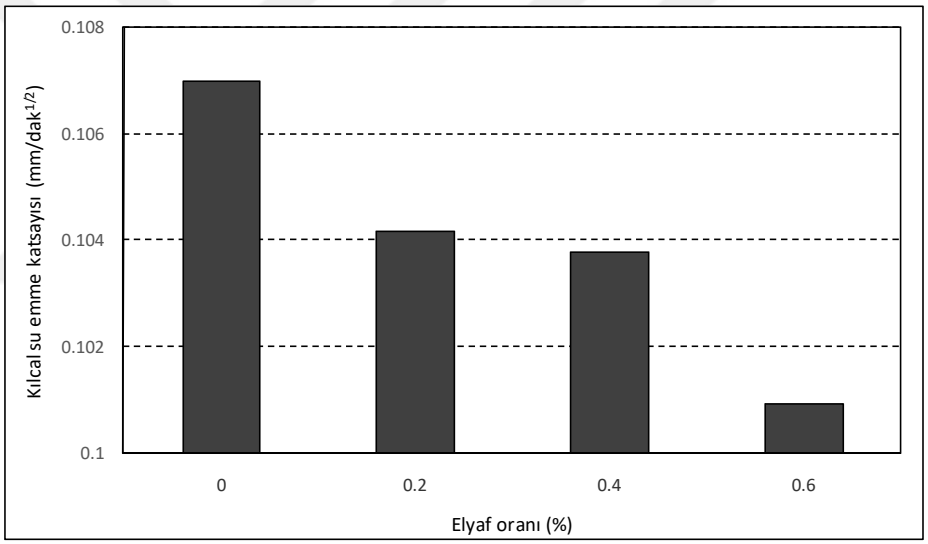
Basınçlı su işleme deneyi sonucunda yarılan elyaf katkılı ve katkısız SSB numunelerin fotoğrafları Şekil 4.11'de verilmiştir. Şekil 4.11 incelendiğinde, elyaf oranı arttıkça su işleme derinliğinin arttığı, fakat %0.4 ve %0.6 oranında elyaf içeren numunelerin su işleme derinliklerinin benzer olduğu görülmektedir. Basınçlı su işleme derinliğindeki artışın nedeni, elyaf kullanım oranındaki artışın topaklaşmayı arttırdığı ve bu durumunda beton içerisindeki boşlukları arttırması ile açıklanabilir (Topçu ve ark., 2017).



Şekil 4.11. Basınçlı su işleme derinliği deneyi uygulanan a) kontrol b) %0.2 c) %0.4 d) %0.6 oranında elyaf içeren numuneler

4.3 Kılcal su emme deneyi

Kılcal su emme deneyi; kontrol, %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranlarındaki 100x100x100 mm boyutlu SSB numunelerin 28 gün kürlenmesinden sonra yapılmıştır. 24 saat 105±5°C'deki etüvde sabit ağırlığa gelmesi sağlanan numunelerin yan yüzeyleri su geçirmez silikon ile kaplanmış ve sadece alt yüzeyleri 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49 ve 64 dakika süreyle suyla temas ettirilmiştir. Belirtilen sürelerde su emmelerine bağlı olarak ağırlık değişimi tespit edilen numunelerin Denklem 3.5'e göre kılcal su emme katsayıları belirlenmiş ve deney sonuçları Şekil 4.12'de verilmiştir.

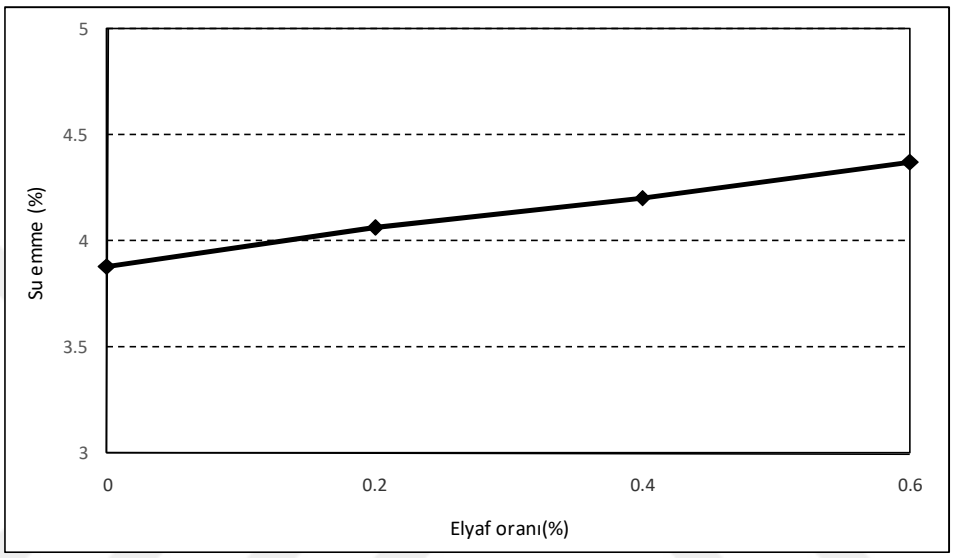


Şekil 4.12. Elyaf oranına bağlı olarak SSB numunelerin kılcal su emme katsayısı

Şekil 4.12 incelendiğinde SSB numunelerinin elyaf oranınıarttıkça kılcal su emme katsayısının azaldığı görülmektedir. %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf içeren numunelerin kılcal su emme katsayıları kontrol numunesi ile kıyaslandığında, sırasıyla %2.60, %2.99 ve %5.65 oranında azaldığı belirlenmiştir. Bu durum, elyaf kullanımının beton içerisindeki kılcal boşlukları engelleyerek kapiler su girişini azalttığı ve buna bağlı olarak kontrol betonuna göre daha düşük kılcal su emme değerine sahip olması ile açıklanabilir (Richardson, 2003).

4.4 Su emme deneyi

Su emme deneyi 100x100x100 mm boyutlarındaki numuneler üzerinde yapılmıştır. Kontrol, %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf içeren numunelerin su emme oranları Denklem 3.6'ya göre belirlenmiş ve Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.13. Elyaf oranına bağlı olarak SSB numunelerin su emme oranı

Şekil 4.13'de SSB'nin elyaf oranının artması ile su emme oranlarının arttığı görülmektedir. En düşük su emme oranı kontrol numunesinde %3.88 olarak ve en yüksek su emme oranı ise %4.37 olarak %0.6 elyaf içeren numunede gözlemlenmiştir. Şekil 4.13'e göre, elyaf oranı ile SSB'nin su emme değerleri arasında lineer bir ilişki olduğu görülmektedir. Elyaf oranına paralel olarak artış gösteren su emme oranlarının nedeninin elyafın beton içerisinde meydana getirdiği boşluklardan kaynaklı olduğu söylenebilir (Topçu ve ark., 2017).

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, SSB'de makro sentetik elyaf kullanımının donma-çözülme direncine etkisi araştırılmış olup bu kapsamda ağırlık değişimi, ultrasonik geçiş hızı, dinamik elastiste modülü tayini, pandül, basınç ve eğilme dayanım deneyleri yapılmıştır. Ek olarak; SSB numunelerinin geçirimlilik özelliklerini belirlemek için su emme, basınçlı su işleme derinliği ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1. SSB'de elyaf kullanımının beton yüzeyindeki kopmaları engelleyerek ağırlık kaybı üzerinde olumlu etkisinin olduğu ancak elyaf miktarındaki artışın donma-çözülme direncine karşı belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

2. Tüm SSB numuneleri donma-çözülme çevrimlerine maruz kaldıktan sonra içerisindeki boşlukların artmasından dolayı ultrasonik geçiş hızlarında azalma olmuştur.

3. Elyaf oranının artması ile D_f değerlerinde kayda değer bir değişim olmadığı ve tüm karışımlarda ihmal edilebilecek bir azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.

4. Elyaf katkılı ve katkısız kuru durumdaki tüm SSB numunelerin donma-çözülme çevrimleri başlamadan önceki pandül değerleri birbirine oldukça yakın değerlerdeyken, 300 donma-çözülme çevrimi sonunda kontrol SSB numunesinin pandül değerinde azalma meydana geldiği ancak elyaflı numunelerde önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

5. Kuru durumdaki tüm SSB numunelerinin donma-çözülme çevrimleri maruziyeti sonucunda pandül değerlerinin 54'den büyük olduğu ve kayma potansiyellerinin çok düşük olduğu tespit edilmiştir.

6. Islak durumdaki tüm SSB numunelerinin donma-çözülme çevrim sayısına bağlı olarak pandül değerleri 48-59 aralığında değişmiştir ve 300 donma-çözülme çevrimi sonucunda en düşük pandül değeri kontrol SSB numunesinde elde edilmiştir. Islak durumdaki tüm SSB numunelerin çok düşük olan kayma potansiyelleri 300 çevrim sonunda düşük olarak sınıflandırılmıştır.

7. Tüm SSB numunelerinin ıslak durumdaki pandül değerleri kuru durumdaki pandül değerlerinden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

8. Elyaflı SSB'lerin yüzeylerinin bozulmaları çok az olduğundan hem ıslak hem kuru durumdaki kayma potansiyellerindede önemli bi değişiklik olmamıştır.

9. Tüm numunelerin eğilme deneyi sonuçları kıyaslandığında, en fazla eğilme dayanımı kaybının yaklaşık %23 oranında kontrol numunesinde olduğu belirlenmiştir. %0.2, %0.4 ve %0.6 oranlarında elyaf kullanılan SSB numunelerinin eğilme dayanımları ise sırasıyla yaklaşık olarak, %20, %19 ve %17 oranlarında azalmıştır.

10. SSB numunelerde elyaf kullanımı donma-çözülme çevrimleri maruziyetinden kaynaklı iç hasarın oluşumunu engellemiş ve bu numunelerin eğilme dayanımları kontrol numunesi ile kıyaslandığında daha olumlu sonuç vermiştir.

11. Donma-çözülme çevrimlerindeki artışa bağlı olarak tüm karışımların basınç dayanımlarının azaldığı tespit edilmiştir.

12. Artan elyaf miktarına bağlı olarak betonun iç yapısındaki boşlukların artışından dolayı elyaf katkılı numunelerde donma-çözülme çevrimi sayısındaki artışla beraber basınç dayanımı kaybı daha fazla olmuştur.

13. Elyaf miktarındaki artışa bağlı olarak elyafın beton içerisinde topaklaşması sonucunda boşluklar arttığından dolayı basınçlı su işleme derinliğinin arttığı tespit edilmiştir.

14. Kontrol, %0.2, %0.4 ve %0.6 oranında elyaf içeren numunelerin su işleme derinliği sırasıyla, yaklaşık olarak 40, 79, 94 ve 94 mm olarak belirlenmiştir.

15. En yüksek kılcal su emme katsayısı kontrol numunesinde olduğu tespit edilmiştir. %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf içeren numunelerin kılcal su emme katsayıları kontrol numunesi ile kıyaslandığında, sırasıyla %2.60, %2.99 ve %5.65 oranında azaldığı belirlenmiştir. Bu durum, elyaf kullanımının beton içerisindeki kılcal boşlukları engelleyerek kapiler su girişini azaltığı ve buna bağlı olarak kontrol betonuna göre daha düşük kılcal su emme değerine sahip olması ile açıklanabilir.

16. SSB'nin elyaf oranının artması ile su emme oranlarının arttığı gözlemlenmiştir. En düşük su emme oranı kontrol numunelerinde %3.88 olarak ve en yüksek su emme oranı ise %4.37 olarak %0.6 elyaf içeren numunelerde gözlemlenmiştir. Bu durum elyaf oranı arttıkça beton içerisindeki boşlukların miktarındaki artışa bağlanabilir.

Yukarıdaki sonuçlar dikkate alındığında, SSB'de elyaf kullanımı genel olarak donma-çözülme direncini olumlu yönde etkilediği ancak artan elyaf miktarına bağlı olarak betonun iç yapısındaki boşlukların artışından dolayı elyaf katkılı numunelerde donma-çözülme çevrimi sayısındaki artışla beraber basınç dayanımını olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. SSB'nin geçirimlilik özellikleri incelendiğinde ise, elyaf miktarındaki artışa bağlı olarak betonun su emme kapasitesinin ve basınçlı su işleme derinliğinin arttığı, ancak kılcal su geçirimliliğinin azaldığı belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

ABBASZADEH, R., and MODARRES, A., 2017. Freeze-thaw durability of non-air-entrained roller compacted concrete designed for pavement containing cement kiln dust. Cold Regions Science and Technology, 141(5): 16–27.

ACI 211.3R-02, 2009. Guide for selecting proportions for no slump concrete, USA.

ASTM C39, 2010. Standard test method for compressive strength of cylindrical specimens. Annual Book of ASTM Standards, USA.

ASTM C 293, 2016. Standard test method for flexural strength of concrete. Annual Book of ASTM Standards, USA.

ASTM C 597, 2002. Standard test method for pulse velocity through concrete. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, PA, USA.

ASTM C 666/C666M-15, 2015 Standard test method for resistance of concrete to rapid freezing and thawing. Annual book of ASTM Standards, USA.

ASTM C 1435, 2014 Standard practice for molding roller compacted concrete in cylinder molds using a vibrating hammer. Annual Book of ASTM Standards, USA.

ASTM E303-93, 2013. Standard test method for measuring surface frictional properties using the british. Annual Book of ASTM Standards, USA.

BARADAN, B., TÜRKEL, S.,YAZICI, H.,ÜN, H., YİĞİTER, H., FELEKOĞLU, B. ,FELEKOĞLU, K.T., AYDIN, S., YARDIMCI, M.Y., TOPAL, A. ve ÖZTÜRK, A.U., 2015. Beton. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 825s.

CEB-FIP,1989. Diagnosis and assessment of concrete structures state of art report, 192:83–5

CHHORN, C., HONG, S. J. and LEE, S. W., 2018. Relationship between compressive and tensile strengths of roller-compacted concrete. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 5(3): 215–223.

COURARD, L., MİCHEL, F. and DELHEZ, P., 2010. Use of concrete road recycled aggregates for roller compacted concrete. Construction and Building Materials, 24(3): 390–395.

ESEN, Y., 2003. Poliakrilonitril lifli betonların donma-çözülme dayanımlarının deneysel olarak incelenmesi. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları 3, Muş, 82-86.

GÜR, A., ABUT, Y. ve YAMAN, İ. Ö., 2019. Kent içi yollarda silindirle sıkıştırılmış beton yol uygulamaları: kocaeli örneği. Karayolu 4. Ulusal Kongresi ve Sergisi, 217-226.

HARRİNGTON, D., ABDO, F., ADASKA, W., HAZAREE, C. V., CEYLAN, H. and BEKTAŞ, F., 2010. Guide for roller-compacted concrete pavements. ınstitute for transportation, Iowa State Univerisity, August, 104.

HAZAREE, C. V., 2007. Transport properties and freeze-thaw resistance of roller compacted concrete (RCC) for pavement applications. Iowa State University. Retrospective Theses and Dissertations, M.Sc. Thesıs, Iowa,149s.

KARAKURT, C. ve PEKTAŞ, M. R., 2015. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkılı silindirle sıkıştırılmış betonların özellikleri. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7575, 1–8.

MADHKHAN, M., AZİZKHANİ, R. and TORKİ-HARCHEGANİ, M. E., 2012. Effects of pozzolans together with steel and polypropylene fibers on mechanical properties of RCC pavements. Construction and Building Materials, 26(1): 102–112.

MARDANİ-AGHABAGLOU, A., ANDİÇ-ÇAKİR, Ö. and RAMYAR, K., 2013. Freeze-thaw resistance and transport properties of high-volume fly ash roller compacted concrete designed by maximum density method. Cement and Concrete Composites, 37(1): 259–266.

NAİK, T. R., CHUN Y. M., KRAUS, R. N., SİNGH, S. S., LORİ-LYNN C., PENNOCK, L. L. and RAMME, B. W., 2001. Strength and durability of roller-compacted hvfa concrete pavements. Practıce Perıodıcal On Structural Desıgn and Constructıon, 6(4): 154-165.

NEVİLLE, A., 2010. Concrete technology, second ed. Longman, UK.

OMRAN, A., HARBEC, D., TAGNİT-HAMOU, A. and GAGNE, R., 2017. Production of roller-compacted concrete using glass powder: Field study. Construction and Building Materials, 133: 450–458.

ÖZBAY, E., 2016. Lif türünün betonların yük - deplasman davranışı ve donma-çözülme direncine etkisi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 31(6): 273–279.

ÖZTÜRK, O., 2018. Mıxture desıgn and mechanıcal propertıes of synthetıc fıber reınforced roller compacted concrete for pavements, Istanbul Technıcal Unıversıty, Graduate School Of Scıence Engıneerıng And Technology, M.Sc. Thesıs, Istanbul, 93s.

PEKTAŞ, M. R., 2015. Silindirle sıkıştırılabilen yol betonlarının kalıcılık özellikleri. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik, 69s.

POLAT, H., 2018. Farklı çimento tipinin silindirle sıkıştırılmış betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılması. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(2): 75–81.

RAGAN, S. A., 1986. Evaluation of the frost resistance of roller-compacted concrete pavements,USA, 25s.

RASHED, M. U., 2000. Roller compacted concrete (RCC) innovations in civil constructions world, Iraq, 34s.

RAO, S. K., SRAVANA, P. and RAO, T. C., 2016. Experimental studies in ultrasonic pulse velocity of roller compacted concrete pavement containing fly ash and m-sand studies in ultrasonic pulse velocity of roller compacted concrete pavement. International Journal of Pavement Research and Technology, 9(4): 289–301.

RAO, S. K., SRAVANA, P. and RAO, T. C., 2016. Abrasion resistance and mechanical properties of roller compacted concrete with GGBS. Construction and Building Materials, 114: 925–933.

RİCHARDSON, A. E., 2003. Freeze/thaw durability in concrete with fibre additions. Structural Survey, 21(5): 225–233.

RİCHARDSON, A. E., COVENTRY, K. A. and WİLKİNSON, S., 2012. Freeze/thaw durability of concrete with synthetic fibre additions. Cold Regions Science and Technology, 83–84, 49–56.

ROOHOLAMİNİ, H., HASSANİ, A. and ALİHA, M. R. M., 2018. Evaluating the effect of macro-synthetic fibre on the mechanical properties of roller-compacted concrete pavement using response surface methodology. Construction and Building Materials, 159: 517–529.

SARSAM, I. S., AL-RAWİ, A. and TAWFEEK S. D., 2014. Assessing durability of roller compacted concrete. 9th International Conference, Concrete for Sustainable Construction, Kingdom of Bahrain20(7): 1–14.

ŞENGÜL, Ö., TAŞDEMİR, C., KORUÇ, Ş. ve SÖNMEZ, R., 2003. Agrega türünün betonun donma-çözülme dayanıklılığına etkisi. 3.Ulusal Kırma Taş Sempozyumu, 03-04 Aralık, İstanbul, 50–60.

ŞENGÜN, E., ALAM, B., SEVİN, H. L., AYTAÇ, A. H. ve YAMAN, İ. O., 2017. Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) yolların saha ve laboratuvar mekanik performansının karşılaştırılması. Hazır Beton Kongresi, 13-15 Nisan, İstanbul, 10s.

TİMÜR, O., B. 2017. Silindirle sıkıştırılmış farklı lif oranları ile güçlendirilmiş beton yolların mekanik ve durabilite özelliklerinin incelenmesi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Manisa, 49s.

TOPÇU, İ. B., DEMİREL, O. E. ve UYGUNOĞLU, T., 2017. Polipropilen lif katkılı harçların fiziksel ve mekanik özelikleri, Politeknik Dergisi, 20(1): 91–96.

TS EN 12390-8, 2010. Sertleşmiş beton deneyleri, Bölüm 8: Basınç altında su işleme derinliğinin tayini, TSE, Ankara.

TS EN 13036-4, 2012. Yol ve hava alanı yüzey karakteristikleri, Bölüm 4: Yüzeyin kayma/kızaklama direncinin ölçülmesi yöntemi: Pandül deneyi, TSE, Ankara.

TÜRKİYE ÇİMENTO MÜHTASİLLER BİRLİĞİ, 2018. Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) ve bitümlü sıcak karışım(BSK) yollar teknik ve ekonomik analiz raporu, Ankara.

VAHEDİFARD, F., NİLİ, M. and MEEHAN, C. L., 2010. Assessing the effects of supplementary cementitious materials on the performance of low-cement roller compacted concrete pavement. Construction and Building Materials, 24(12): 2528–2535.

YAMAN, İ. Ö., ve CEYLAN, H., 2013. Silindirle sıkıştırılmış beton yollar. T.H.B.B Hazır Beton Dergisi, 69–82.

YAZİCİ, Ş., MARDANİ-AGHABAGLOU, A., TUYAN, M. and ÜTE, A. A. 2015. Mechanical properties and impact resistance of roller-compacted concrete containing polypropylene fibre. Magazine of Concrete Research, 67(16): 867–875.

YAZICI, Ş., 2008. Silindirle sıkıştırılmış beton. İMA İzmir Şubesi Bülteni, İzmir, 138: 24-28.

ZHANG, W., GONG, S. and ZHANG, J., 2018. Effect of rubber particles and steel fibers on frost resistance of roller compacted concrete in potassium acetate solution. Construction and Building Materials, 187: 752–759.

ZHANG, X. F., Lİ, S. Y., Lİ, Y. L., GE, Y. and Lİ, H., 2011. Effect of superficial insulation on roller-compacted concrete dams in cold regions. Advances in Engineering Software, 42(11): 939–943.

ZHAO, Y. R., WANG, L., LEİ, Z. K., HAN, X. F. and SHİ, J. N., 2018. Study on bending damage and failure of basalt fiber reinforced concrete under freeze-thaw cycles. Construction and Building Materials, 163: 460–470.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Sümeyra GERGİNCİ
Uyruğu :T.C
Doğum Yeri ve Tarihi:Şanlıurfa, 05/05/1990
Telefon :0532 166 20 88
e-mail :sumeyragerginci@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	Şanlıurfa Anadolu Lisesi	Haliliye	Şanlıurfa	2008
Lisans	Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	Haliliye	Şanlıurfa	2013

YABANCI DİLLER

Yıl	Sınav	Puan
2018	YÖKDİL	70.000

YAYINLAR

Alğın, Z., Mermerdaş, K., Gerginci, S. ve . Zeynepli, M. S., (2018). Silindirle sıkıştırılmış betonda su içeriğinin sıkıştırılabilirlik ve basınç dayanımı üzerindeki etkisi. 6. Uluslararası GAP Mühendislik Kongresi, 08 – 10 Kasım, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.