T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELYAF KULLANIMININ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet Serhat ZEYNEPLİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2019

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELYAF KULLANIMININ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet Serhat ZEYNEPLİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2019

Dr. Öğretim Üyesi Zeynep ALĞIN'ın danışmanlığında, Mehmet Serhat ZEYNEPLİ'nin hazırladığı **"Elyaf Kullanımının Silindirle Sıkıştırılmış Beton Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması"** 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

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: 18214

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

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET ..... İ
ABSTRACT ..... İİ
TEŞEKKÜR ..... İİİ
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... İV
ÇİZELGELER DİZİNİ V
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ ..... Vİ
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
3. MATERYAL ve YÖNTEM 13
3.1. MATERYAL 13
3.1.1. Çimento 13
3.1.2. Agrega 13
3.1.3. Elyaf 14
3.2. YÖNTEM 15
3.2.1. SSB karışım oranlarının belirlenmesi 15
3.2.2. Yapılan deneyler 20
3.2.2.1.Çökme deneyi 20
3.2.2.2. Vebe deneyi 20
3.2.2.3. Basınç dayanımı deneyi 21
3.2.2.4. Yarmada çekme dayanımı deneyi 22
3.2.2.5. Eğilme dayanımı deneyi 22
3.2.2.6. Böhme aşınma deneyi 24
3.2.2.7. Pandül deneyi 25
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 27
4.1. Optimum Su İçeriği ve Maksimum Kuru Birim Ağırlıkların Belirlenmesi 27
4.2 Vebe Deneyi 32
4.3 Basınç Dayanımı Deneyi 34
4.3 Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi 34
4.3 Eğilme Dayanımı Deneyi 35
4.4 BöhmeAşınma Deneyi 36
4.5 Pandül Deneyi 37
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 40
ÖZGEÇMİŞ 44

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ELYAF KULLANIMININ SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet Serhat ZEYNEPLİ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ALĞIN
Yıl: 2019, Sayfa: 44

Bu tez çalışmasında, makro sentetik elyaf miktarının silindirle sıkıştırılmış betonun (SSB) özellikleri ve optimum su içeriği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Beton hacminin %0, %0.2, %0.4 ve %0.6 oranlarında makro sentetik elyaf kullanılmıştır. Zemin sıkıştırma yöntemi kullanılarak karışımların maksimum kuru birim ağırlıklarına karşılık gelen optimum su içerikleri tespit edilmiştir. Belirlenen optimum su içeriklerine göre üretilen numunelerin kıvamını belirlemek için modifiye Vebe deneyi yapılmıştır. Elyaf miktarının SSB'nin özelliklerine etkisini incelemek için basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı, böhme aşınma ve pandül deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda elyaf kullanımının betonun su ihtiyacını arttırdığı gözlemlenmiştir. Ek olarak makro sentetik elyaf miktarındaki artışın SSB numunelerin basınç dayanımını önemli ölçüde etkilemediği ve %0.4 oranında makro sentetik elyaf kullanımının SSB'nin hem yarmada çekme dayanımında hem de eğilme dayanımında önemli ölçüde artış sağladığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca elyaf miktarındaki artışa bağlı olarak numune içerisindeki boşluk miktarı arttığından dolayı elyaf kullanımının SSB'nin aşınma direncini azalttığı belirlenmiştir. Numune yüzeyindeki elyaflar sürtünmeyi azalttığından kaymaya karşı direncin elyaf miktarı arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir.

ANAHTAR KELİME: silindirle sıkıştırılmış beton, makro sentetik elyaf, optimum su içeriği, dayanım, aşınma ve kayma direnci

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF FIBER USAGE ON ROLLER COMPACTED CONCRETE PROPERTIES

Mehmet Serhat ZEYNEPLİ

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

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ALĞIN
Year: 2019, Page: 44

In this thesis, the effect of macro synthetic fiber amount on the optimum water content and the properties of roller compacted concrete (RCC) was investigated. Macro synthetic fiber has been used incorprating with %0, %0.2, %0.4 and %0.6 ratios of the volume of concrete. Soil compaction method was used to determine the optimum water content for maximum dry unit weight of the mixtures. In order to determine the consistency of the samples produced in terms of the optimum water content, the modified Vebe test was performed. Compressive strength, tensile strength, flexural strength, böhme abrasion and pendulum tests were performed to examine the effect of fiber amount on the properties of RCC. As a result of the experimental study, it was observed that the use of fiber increases the water demand of the concrete. In addition, it is concluded that the increase in the amount of the macro synthetic fiber does not significantly affect the compressive strength of RCC samples and the use of 0.4% macro synthetic fibers resulted in a significant increase in both the split tensile strength and the flexural strength of the RCC. Moreover it has been determined that the use of fiber reduces the abrasion resistance of RCC because the increment in the amount of fiber increases the porosity of RCC. As the fibers on the sample surface reduce the friction, it is observed that the slip resistance decreases as the amount of fiber increases.

KEYWORDS: roller compacted concrete, macro synthetic fiber, optimum water content, strength, abrasion and slip resistance

TEŞEKKÜR

Gerek laboratuvar çalışmalarında gerekse tezin yazım aşamasında vermiş olduğu destekten dolayı danışman hocam Sn. Dr. Öğr. Üyesi Zeynep ALĞIN'a, bilgi ve tecrübelerini bizimle paylaşan hocamız Sn. Prof. Dr. H. Murat ALĞIN'a, laboratuvar çalışmaları esnasında bizlere yol gösteren hocamız Sn. Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ'a, deneysel çalışmaların başından sonuna kadar birlikte çalıştığım Sn. Sümeyra GERGİNCİ'ye, deneysel çalışmada kullanılan makro sentetik elyafın temini ve nakliyesinde destek olan Forta Innovative Construction'a, agrega temininde yardımlarını esirgemeyen YILHAS Madencilikten Sn. Hasan BAYLAN'a, malzeme temini ve nakliyesi konularında yardımcı olan Sn. İbrahim AKAY'a, ihtiyaç duyduğum her an yanımda olup beni sürekli motive eden eşim Sn. Tuba ZEYNEPLİ ve kızım Sn. Ayşe Nisa ZEYNEPLİ'ye, hayatım boyunca desteklerini her zaman hissettiğim bu günlere gelmemde büyük emek sahibi annem Sn. Naime ZEYNEPLİ ve babam Sn. Mustafa ZEYNEPLİ'ye sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. İyileştirilmiş agrega gradasyonu (Chhorn ve ark., 2017) 7
Şekil 3.1. SSB'de kullanılan agreganın gradasyonu ve sınır değerler 14
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan makro sentetik elyaf 15
Şekil 3.3. (a) Kalıptan çıkarılmış taze beton (b) Etüvde 24 saat bekletilmiş beton 17
Şekil 3.4. (a) Silindir kalıp, (b) Küp kalıp, (c)Prizmatik kalıp sıkıştırma işlemleri 18
Şekil 3.5. Sıkıştırma işlemi için kullanılan darbeli çekiç 19
Şekil 3.6. (a) Kalıplanmış taze beton, (b) kür havuzunda numuneler, (c) havuzdan çıkarılmış numuneler 19
Şekil 3.7. Çökme deneyi 20
Şekil 3.8. Modifiye Vebe Cihazı 21
Şekil 3.9. Basınç dayanımı test cihazı 22
Şekil 3.10. 3 noktalı eğilme dayanımı test cihazı 23
Şekil 3.11. Elyaf takviyeli kiriş numunesi 23
Şekil 3.12. Böhme aşınma deney düzeneği 25
Şekil 3.13. Pandül Cihazı 26
Şekil 4.1. (a) Kontrol (b) %0.2 elyaf (c) %0.4 elyaf ve (d) %0.6 elyaf içeren SSB karışımların su içeriği ve kuru birim ağırlığı arasındaki ilişki 29
Şekil 4.2. (a) kontrol (b) %0.2 elyaf (c) %0.4 elyaf ve (d) %0.6 elyaf içeren SSB karışımların su içeriği ve 7 günlük basınç dayanımı arasındaki ilişki 31
Şekil 4.3. SSB karışımların kuru birim ağırlığı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki 32
Şekil 4.4. Optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımların elyaf miktarı ile modifiye Vebe süresi arasındaki ilişki 33
Şekil 4.5. Optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımların elyaf miktarı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki 34
Şekil 4.6. Optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımların elyaf miktarı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki 35
Şekil 4.7. Optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımlarının elyaf miktarı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki 36
Şekil 4.8. Optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımlarının elyaf miktarı ile hacimsel aşınma miktarları arasındaki ilişki 37
Şekil 4.9. Optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımlarının elyaf miktarı ile kayma değerleri arasındaki ilişki 38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri 13
Çizelge 3.2. Agrega çapına göre su emme oranları ve özgül ağırlıklar 14
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan makro sentetik elyafın özellikleri 14
Çizelge 3.4. 1 m³ SSB için karışım oranları 17
Çizelge 4.1. SSB karışımların nem içeriği ve kuru birim ağırlığı arasındaki ilişkiden elde edilen regresyon denklemi, optimum su içeriği ve maksimum kuru birim ağırlık değerleri 29
Çizelge 4.2. Literatürde önerilen modifiyeVebe süresi ve optimum su içeriği aralığı 33
Çizelge 4.3. Kayma direncinin gruplandırılması (Nolan, 2015) 38
Çizelge 4.4. Pandül test değeri kayma riski arasındaki ilişki (Nolan, 2015) 38
Çizelge 4.5. Uygulama yerine göre önerilen minimum kayma direnci değerleri (Nolan, 2015) 38

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SSB	Silindirle Sıkıştırılmış Beton
PTV	Pandül Test Verileri
ASTM	Amerikan Test ve Standart Oluşturma Birliği
ACI	Amerikan Beton Enstitüsü Komitesi
RCC	Roller Compacted Concrete
$\gamma_{ıslak}$	Islak Birim Hacim Ağırlık
γ_{kuru}	Kuru Birim Hacim Ağırlık
$m_{ıslak}$	Islak Betonun Kütlesi
m_{kuru}	Etüvde Kurutulmuş Betonun Kütlesi
w	SSB Karışımlarının Su İçeriği
f_{ct}	Yarmada Çekme Dayanımı
P	Uygulanan Yük
a	Küpün Bir Kenarının Uzunluğu
ΔV	Toplam Hacim Kaybı ($cm^3/50cm^2$)
Δm	Toplam Ağırlık Kaybı ($cm^3/50cm^2$)
ρ	Numune Yoğunluğu (gr/cm^3)
μ	Sürtünme Katsayısı
w_{opt}	Optimum Su İçeriği
δ_{kmax}	Maksimum Kuru Birim Ağırlık

1. GİRİŞ

Konvansiyonel betona göre daha kuru kıvamda olan silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) sıfır çökme değerine sahiptir. İsmini sıkıştırma yönteminden alan bu beton türü geleneksel beton gibi agrega, çimento, su ve gerektiğinde diğer katkı maddelerinin karışımının farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilir.İş makinaları vasıtasıyla serildikten sonra ağır vibrasyonlu çelik tambur ve lastik silindirle sıkıştırılan bu beton türünde iyi sıkışmanın sağlanabilmesi için normal betondan çok daha yüksek bir sıkıştırma enerjisine ihtiyaç vardır (Harrington ve ark., 2010).

SSB prizini almadan önce betondan çok zemin dolgu malzemesine benzemesine rağmen prizini aldıktan sonra beton özelliklerini gösteren bir yapıya sahiptir. Geleneksel betona kıyasla düşük miktarda çimento içermesi, hiçbir kalıp, yüzey bitirme, dübel bağlantısı ve donatı gerektirmemesi SSB'nin inşaat maliyetlerini %15 ila %40 arasında azaltmaktadır (Koohmishi, 2013). Bu avantajları ve dayanıklılığı sayesinde günümüzde SSB tüm dünyanın ilgisini çeken bir beton türü olma özelliğindedir (Modarres ve ark., 2014).Barajlar, yollar, limanlar, havaalanları, fabrikalar, depo sahaları, benzin istasyonları gibi kütle beton uygulaması gereken yerlerde son yıllarda geleneksel beton yerine tercih edilmektedir.

Amerikan ordusuna bağlı istihkam mühendisleri birliği (USACE) tarafından 1942 yılında Washington Yakima'da inşa edilen uçak pisti uygulaması SSB'nin ilk örneğidir(ACI 325.10R-95, 2001).

Barajlardaki ilk ciddi uygulamaları (1960 – 1961) Taiwan'daki Shihmen Barajı, daha sonra İtalya'daki yüksekliği 174 m olan (1961 – 1964) Alpe Gera Barajı'dır. Bu tecrübeler 1970'li yıllarda araştırmacıların ilgisini çekmiş ve yapılan çalışmalar sonucunda SSB özellikle ağırlık barajların yapımında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. SSB'nin baraj inşaatlarındaki avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Öztürk ve ark., 1998).

Avantajları:

- ✓ Hızlı inşa edilebilme,
- ✓ Düşük maliyet,
- ✓ Dolusavak inşasında daha basit ve ekonomik çözüm,
- ✓ Kaya dolgu ve toprak dolgu barajlara göre daha dar en kesit ve daha küçük hacim,
- ✓ Erozyon ve aşınmaya daha yüksek direnç,
- ✓ Uçucu kül, yüksek fırın cürufu vb gibi atık kabul edilen malzemelerin değerlendirilme şansı.

Dezavantajları:

- ✓ Uygun temel yeri seçimi,
- ✓ İnşaat esnasında çok iyi bir zaman planlaması gereksinimi,
- ✓ Üretimde devamlılık zorunluluğu,
- ✓ Bağlayıcı madde temini ve iletimindeki güçlükler.

1970'li yıllarda dünyada yaşanan petrol krizi sebebiyle bitümlü bağlayıcıların fiyatlarının yükselmesi dünya genelinde asfalta alternatif olabilecek malzeme arayışlarına yol açmıştır. SSB'nin yollarda kullanımı bu dönemde gündeme gelmiştir.1970 yılında İspanya'da SSB'nin bilinen ilk modern yol örneği trafik yoğunluğu düşük bir yolda uygulanmıştır. 1976 yılına gelindiğinde ise Kanada'da ağır trafik taşıyan bir yolda SSB uygulanmıştır (Harrington ve ark., 2010). SSB'nin asfalt ve konvansiyonel beton yol kaplamalarına karşı avantajlarıaşağıdaki gibi sıralanabilir (Koohmishi, 2013).

Asfalta göre avantajları:

- ✓ Daha yüksek eğilme dayanımı sağlar,

- ✓ Aşınmaya karşı yüksek direnç gösterir,
- ✓ Koruyucu bir tabakaya ihtiyaç duymaz; bununla birlikte gelecekte aşınma yüzeyinin bozulmasından sonra koruyucu bir tabaka kullanılabilir,
- ✓ Yakıt ve hidrolik dökülmelerine karşı daha yüksek direnç gösterir,
- ✓ Yüksek sıcaklıklar için daha iyi direnç gösterir,

Geleneksel betona göre avantajları:

- ✓ Geleneksel betonunkine eşdeğer bir eğilme dayanımına sahiptir,
- ✓ İnşaat süresini düşürür,
- ✓ İnşaatı kolaydır,
- ✓ İnşaat ve bakım maliyetlerini düşürür,

SSB ülkemizde Karakaya Barajı'nın memba batardosunun yapımında ilk olarak kullanılmış, sonrasında ise Atatürk Barajı'nın dolusavak şut kanalı temel dolgusu, Sır, Berke, Suçatı ve Kürtün barajlarının bazı yapılarında kullanılmıştır. Cindere ve Çine Barajlarının ana gövdeleri ise tamamen SSB kullanılarak inşa edilmiştir.

Günümüzde bazı yerel yönetimlerin ilgisini çeken SSB yol kaplaması olarakta kullanılmaya başlanmıştır. Ülkemizde Artvin, Denizli ve Antalya'da uygulamaları mevcut olan SSB yolların kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

SSB tipik olarak düz ve donatısız inşa edilir. Ancak dayanıklılık, eğilme dayanımı, yük aktarma kapasitesi gibi özelliklerini iyileştirmek için fiberlerle güçlendirilebilir. Son zamanlarda, cam, doğal, metal ve sentetik lif gibi farklı tipte liflerle güçlendirilmiş beton üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Liflerin beton özelliklerini veya performansını iyileştirme potansiyeli, hacim oranı, türü, çap-boy oranı, yüzey sürtünmesi ve elyafın çekme dayanımı gibi farklı faktörlere bağlıdır. Daha önce yapılan çalışmalarda çoğunlukla çelik makro elyafların silindirle

sıkıştırılmış betonunun özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmış olup, makro sentetik elyafların silindirle sıkıştırılmış betonda kullanımları ile ilgi sınırlı sayıda araştırma yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında makro sentetik elyaf miktarının SSB'nin özellikleri ve optimum su içeriği üzerindeki etkisi incelenmiştir. Beton hacminin %0, %0.2, %0.4 ve %0.6 oranlarında makro sentetik elyaf kullanılarak ve %5, %6, %7 ve %8 oranlarında su muhtevasına sahip olacak şekilde toplam 16 karışım hazırlanmıştır. Her bir elyaf oranı için hazırlanan bu karışımlardan zemin sıkıştırma yöntemi kullanılarak maksimum kuru birim ağırlığa karşılık gelen optimum su içeriği belirlenmiştir. Belirlenen optimum su içeriği ile yapılan karışımlardan elde edilen numuneler üzerinde modifiye vebe, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı, böhme aşınma ve pandül deneyleri yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Chhorn ve ark. (2018), agrega gradasyonunun, çimento muhtevasının, su muhtevasının, sıkıştırma koşullarının ve katkı maddelerinin SSB'nin basınç dayanımı üzerine etkisini araştıran bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada Portland Çimento Birliği tarafından önerilen agrega gradasyonunu tam karşılamayan bir agrega gradasyonu kullanarak SSB'nin kabul edilebilir basınç dayanım aralığınının üzerinde bir sonuç elde etmişlerdir. Bu sonuçtan yola çıkarak SSB için kabul edilen gradasyon aralığının pratikliği arttırmak için genişletilebileceğine kanaat getirmişlerdir. Çimento içeriği farklı olan karışımlarda basınç dayanımları arasında optimum su içeriklerine göre önemli bir fark tespit etmemelerine rağmen karışımlarda kullandıkları agregadaki su içeriğinin tutarsızlığını engellemek için saha çalışmalarında çimento oranının %12 veya üzerinde kullanılmasını tavsiye etmişlerdir. Maksimum mukavemet elde etmek için modifiye Proktor veya titreşimli çekiçle en az %98 oranında kuru yoğunluğa sahip bir SSB yoğunluğuna ulaşılmasını önermişlerdir. Dayanım kaybını önlemek için uygun nem kontrolünün sağlanması gerektiğini belirtmişlerdir. Basınç dayanımını düşürmeden SSB'nin çalışma süresini uzatmak için poli naftalin sülfonat süper akışkanlaştırıcı ve yüksek sentetik deterjan esaslı hava sürükleyicinin uygun miktarda kullanımının mümkün olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Woo ve ark. (2015), SSB kaplamalarının optimum sıkıştırma testi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Farklı miktarlarda sıkıştırma enerjisi ile maksimum kuru yoğunluğu elde etmek için gereken optimum su içeriğini belirlemek üzere Proktor testi ve modifiye Proktor testi uygulamışlardır. Ayrıca üretilen karışımların kıvamını belirlemek için Vebe deneyi yapmışlardır. Çeşitli agrega boytularında sıkıştırma derecesini belirlemek için farklı kum/agrega oranına sahip SSB karışımları değerlendirmişlerdir. Agrega gradasyonu ve sıkıştırma enerjisinin maksimum kuru yoğunluk ve optimum su içeriği üzerindeki etkisini kontrol etmek için Proktor ve modifiye Proktor deneyleri yapılmıştır. Bütün karışımların sıkıştırma eğrisi, optimum su içeriği ve maksimum kuru yoğunluklarını tespit etmişlerdir. Sıkıştırma testi

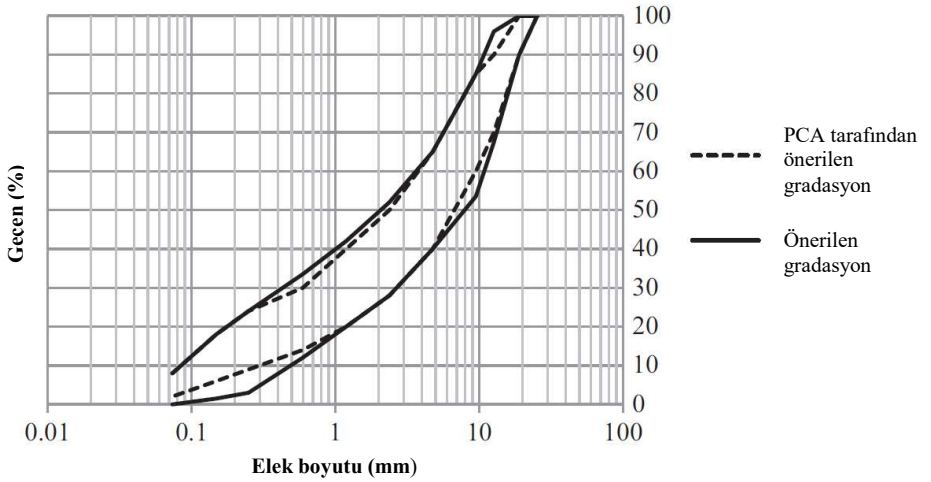
sonuçlarına göre modifiye Proktor testinin standart Proktor testine kıyasla daha yüksek bir maksimum kuru yoğunluk ve daha düşük optimum su içeriği sağladığını gözlemlemişlerdir. Modifiye Proktor testinin maksimum kuru yoğunluk ve kıvam arasında bir yeterlilik sağladığı ve SSB karışımlarının tasarımında kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir.

LaHucik ve ark. (2015), SSB'nin ince agrega miktarı düşük olan karışımları üzerinde bir çalışma yapmışlardır. Modifiye Proktor testi kullanılarak sabit çimento içeriği, farklı agrega gradasyonlarına sahip dokuz SSB karışımının nem–yoğunluk ilişkisini belirlemişlerdir. Ayrıca 14 günlük basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımını belirleyip konvansiyonel beton kaplama karışımları ile kıyaslamışlardır. Farklı gradasyonlara sahip konvansiyonel beton agregaları kullanılarak bir dizi SSB üretmişlerdir. Üretilen numunelerin düşük ince agrega içeriğine rağmen basınç dayanımları konvansiyonel beton kaplamalarınkine benzer veya daha yüksek çıkmıştır. SSB'nin basınç ve yarmada çekme dayanımının varyansını genellikle konvansiyonel betonunkinden daha büyük bulmuşlardır. Bu yüzden tasarım ve kalite kontrolü için daha yüksek güvenlik faktörleri veya daha büyük numune boyutlarınının kullanılmasını tavsiye etmişlerdir.

Chhorn ve ark. (2017), SSB'nin yol kaplaması olarak kullanılması üzerinde bir saha çalışması yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada 5 bölüm yol kaplamasını farklı karışım oranlarıyla üreterek değişkenlerin SSB'nin özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Her bölümün yüzey özelliklerini ve performans ile ilgili özelliklerini inceleyip kalite kontrol parametresi olarak kullandıkları Vebe süresi ile ilişkilendirmişler ve aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır.

- ✓ Pratiklik ve inşaat maliyeti tasarrufu için Şekil 2.1'de gösterilen agrega gradasyonu kullanılmalıdır,
- ✓ Karışımın optimum su içeriğini belirlemek için Vebe testi önerilmiştir,
- ✓ SSB yol kaplamaları için Vebe süresi 47 ile 65 saniye arasında önerilmektedir,

- ✓ Diğer araştırmalardan önerilen yoğunluk oranı ve gözenek yapısı (hava boşluğu ve hava boşluğu faktörü) SSB yol kaplamaları şartnamesine dahil edilmelidir.



Şekil 2.1. İyileştirilmiş agrega gradasyonu (Chhorn ve ark., 2017)

Şengün ve ark. (2017), SSB'nin sahadan alınan ve laboratuarda üretilen numunelerinin mekanik özelliklerini karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada farklı agrega çapları, sıkıştırma teknikleri ve silindir ağırlığı gibi değişkenleri dikkate almışladır. Laboratuvar şartlarında sıkıştırma için kullandıkları vibratörlü çekiç uygulamasının sarsma tablasıyla sıkıştırmadan daha etkili olduğunu ve sarsma tablasının SSB üretimi için uygun olmadığını gözlemlemişlerdir. Saha şartlarında kullanılan silindirin ağırlığının beton yolun kenarlarında herhangi bir kısıtlayıcı olmamasından dolayı sıkıştırmayı etkilemediğine ve gerek basınç gerekse eğilmede maksimum agrega boyutu küçük olan numunelerin daha yüksek dayanım verdiği sonucuna ulaşmışlardır. Yaptıkları bütün çalışmalar sonucunda laboratuvarda üretilen kiriş numunelerinin, sahadan alınan numunelere göre yaklaşık %20 oranında daha yüksek eğilme dayanımına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Chhorn ve ark. (2018), SSB'nin basınç ve eğilme dayanımı arasındaki ilişkiyi agrega gradasyonu, bağlayıcı içeriği, su muhtevası ve katkı maddelerini parametre olarak kullandıkları bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada SSB'nin basınç ve eğilme dayanımları arasındaki ilişkinin yanı sıra konvansiyonel betonla SSB'nin

basınç ve yarmada çekme dayanımları arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Sıkıştırmanın SSB'nin agrega kenetlenmesini arttırdığını bu yüzden erken ve bütün yaşlarda basınç dayanımını arttırdığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar SSB'nin eğilme dayanımının konvansiyonel beton denklemlerinden elde edilen tahmini değerler içersinde olduğunu, yarmada çekme dayanımının ise tahmin edilen değerlerden daha düşük olduğunu göstermiştir. Bu sayede agrega kenetlenmesinin basınç dayanımı ile birlikte eğilme dayanımının iyileştirilmesine de yardımcı olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Rooholamini ve ark. (2018), makro sentetik liflerin SSB kaplamalarının mekanik özellikleri üzerindeki etkisini tepki yüzey metodolojisi kullanarak değerlendirmişlerdir. Tepki yüzey metodolojisini farklı oranlardaki lif, çimento ve su içeriğinin Vebe süresi, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi etkisi üzerindeki etkilerini incelemek için kullanmışlardır. Bu üç faktör arasındaki etkileşimi istatiksel regresyon analizini kullanarak araştırmışlardır. Sonuçlar SSB karışımlarına eklenen makro sentetik liflerin Vebe süresini doğrusal olarak azalttığını ancak basınç dayanımını önemli ölçüde etkilemediğini göstermiştir. Çentikli kiriş üzerindeki üç noktalı eğilme testi sonuçlarına göre lif, çimento ve suyun eğilme dayanımınıdoğrusal olarak etkilediğini gözlemlemişlerdir. Makro sentetik liflerin SSB'nin sıkıştırılması için gerekli enerjide bir artışa neden olduğunu ve beton yoğunluğunun azalmasını önlemek için kullanılan lif miktarının sınırlı tutulması gerektiğini belirtmişlerdir. SSB karışımına lif eklenmesinin Vebe süresini azaltmasını betonda oluşan lif ağına bağlamışlardır. Çimento ve su içeriğinin SSB'nin basınç dayanımını lineer olarak etkilese de lif eklenmesinin basıncı önemli ölçüde etkilemediğini tespit etmişlerdir.

LaHucik ve ark. (2017), makro liflerin kullanımının SSB'nin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemek ve lif takviyeli konvansiyonel beton ile sonuçlarını kıyaslamak için bir laboratuvar çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada ikisi çelik, dördü sentetik olmak üzere toplamda altı farklı makro lifi hacimce %0.2 ve %0.4 oranlarında kullanmışlardır. Sentetik makro liflerin eklenmesi, agregalar arasındaki iç sürtünmeyi azaltarak kontrol SSB karışımı üzerindeki maksimum kuru

yoğunluğu arttırırken, çelik liflerin SSB'nin maksimum kuru yoğunlu üzerinde sınırlı bir etkisi olmuştur. Sentetik lif tipleri içeren birkaç SSB karışımının maksimum kuru yoğunluğunda ve basınç dayanımında kontrol betonunuyla kıyaslandığında önemli artışlar gözlemlenmiştir. Yarmada çekme dayanımında çelik lifler sentetik liflere göre SSB'nin dayanımını daha fazla arttırmıştır. Elastisite modülü değerlerinde ise kontrol ve lif kullanımı arasında istatistiksel bir fark tespit edilmemiştir. Karışım esnasında topaklanmanın önlenmesi sonucunda, SSB'nin konvansiyonel betona göre daha iyi bir yorulma direncine sahip olduğuna, lif eklenmesinin SSB'nin kontrol karışımına göre kırılma enerjisini arttırdığına, mukavemet ve kırılma özelliklerinde meydana gelen bu artış nedeniyle liflerin SSB'nin genel yorgunluk direncini ve SSB kaplamalarının kullanım ömrünü arttırdığına kanaat getirmişlerdir.

Yazıcı ve ark. (2015), yaptıkları çalışmada polipropilen lif içeriğinin SSB'nin mekanik özellikleri ve darbe dayanımı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Polipropilen lifi hacimce farklı oranlarda kullanarak dört farklı SSB karışımı elde etmişlerdir. Hazırladıkları karışımların su içeriğini yoğunluk yöntemini (zemin sıkıştırma yöntemi) kullanarak belirleyip her SSB karışımı için optimum su içeriği değerini bu yaklaşımla hesaplamışlardır. SSB karışımlarının basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülü ve darbe direnci farklı yaşlarda belirlemişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda SSB karışımlarda polipropilen lif kullanımının su ihtiyacını ve su/çimento oranını arttırdığını gözlemlemişlerdir. Polipropilen lif içeren SSB'nin mekanik özelliklerinin lif içermeyen kontrol numunesine göre yaklaşık %20 oranında azaldığını tespit etmişlerdir.

Wang ve ark. (2018), SSB'nin dinamik basınç özelliklerini deneysel olarak inclemişlerdir. Bu çalışmada SSB'nin dinamik basınç özelliklerini Split Hopkinson Basınç çubuğu kullanarak incelemişlerdir. Dinamik darbe testleri üzerindeki boyut etkilerini araştırmak için 50mm, 75 mm ve 100 mm çapında üç boy silindirik SSB örneği hazırlayıp test etmişlerdir. Ayrıca numune boyutlarının, agrega gradasyonunun ve yatak yüzeyinin SSB'nin dinamik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. SSB'nin dinamik basınç dayanımının yanal sınırlamaların etkisi

yüzünden direk olarak numune boyutuna bağlı olduğunu gözlemlemişlerdir. SSB'nin basınç dayanımının agrega çapı arttıkça azaldığını belirtmişlerdir.

Chhorn ve ark. (2017), agrega gradasyonunun, su miktarının, katkı maddelerinin ve zamanın SSB yol kaplamalarının kıvamı üzerindeki etkilerini inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Agrega gradasyonu içersindeki kum oranının artması veya toplam ince agrega miktarının arttırılması Vebe süresini arttırmıştır. Ancak su miktarının artması Vebe süresini azaltmıştır. Normal SSB karışımlarında işlenebilirlik süresinin 50 dakikadan az olduğunu ve bu sürenin yol kaplama inşaatı için yeterli olmayabileceğini belirtmişlerdir. Poli naftalin sülfonat süper akışkanlaştırıcının %0.3 oranında kullanılmasının SSB'nin basınç dayanımını etkilemeden çalışma süresini 4 saate kadar uzattığını gözlemlemişlerdir.

Choi ve ark. (2001), SSB karışımlarının tasarımında zemin sıkıştırma metodunu incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma aşağıdaki aşamalardan oluşmuştur.

- ✓ SSB için uygun agrega seçimini yapmak,
- ✓ Deneme karışımları için çimento ve/veya uçucu kül miktarını belirlemek,
- ✓ Her SSB karışımı için optimum su muhtevasını belirlemek,
- ✓ Basınç dayanım testi için silindir SSB numuneleri hazırlamak,
- ✓ Laboratuvar test sonuçlarına göre karışım oranlarını seçmek.

Çalışmalarının sonunda sıraladıkları sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibidir,

- ✓ Genelde yüksek bir test bütçesi bulunmayan küçük ve orta ölçekli SSB tasarım projeleri için yeterli olduğu kanaatindedirler,
- ✓ Standartta agrega için gerekli bilgiler verilmiş olmasına rağmen maksimum agrega ebadını küçültmek veya kum boyutunu ve miktarını artırmak gibi küçük düzenlemeler yapılabilir,

- ✓ ASTM C1435'e göre uygulanan vibratörlü çekiç metodu ASTM D 1557'deki modifiye Proktor metoduna göre teknik ve ekonomik açıdan avantajlar sağlamaktadır.

Hoon ve ark. (2015), agrega gradasyonunun SSB yol kaplamalarının özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada maksimum dane çapı 19 mm ve 13 mm olan agrega kullanmışlardır. Kum/agregayı farklı oranlarda kullanarak 4 adet SSB karışımı hazırlamışlardır. Portland Çimento Birliği tarafından önerilen limit eğrilerinin dışındaki gradasyonun etkisini kontrol etmek için kum/agrega oranı %30 ve %70 olacak şekilde karışımlar hazırlamışlardır. SSB yol kaplamaları için uygun agrega gradasyonunun Portland Çimento Birliği'nın önerdiği limit eğriler arasında kalması gerektiğini gözlemlemişlerdir. Ancak 60 mikron elekten geçen malzemenin önerilen değerler arasında olmasına gerek olmadığını çünkü bu bölgenin ince agregaya çok az etkisi olduğunu belirtmişlerdir.

Neocleous ve ark. (2011), lif katkılı SSB yol kaplamaları üzerine bir çalışma yapmışlardır. EcoLanes araştırma ve geliştirme projesi kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların ışığında ömrünü tamamlamış araç lastiklerinden elde edilen çelik lifler kullanılarak SSB karışımları üretilmiştir. Projeden elde edilen sonuçlarda bu inşaat konseptinin uzun süre rijit yol kaplamalarının inşaatına liderlik edeceği ve aynı zamandainşaat maliyeti ve zamanını en az %10, inşaat sırasındaki enerji tüketimini de %40 oranında düşürdüğü ifade edilmiştir. Lif ilavesinin basınç dayanımını düşürmesine rağmen eğilme dayanımını önemli ölçüde arttırdığını vurgulamışlardır. Kullandıkları çelik liflerin birincil veya geri dönüştürülmüş olması eğilme dayanımını değiştirmemiştir. Ayrıca geri dönüştürülmüş beton agregaların kullanımının da SSB'nin eğilme dayanımını etkilemediğini gözlemlemişlerdir. Bu sayede kullanım ömrünü tamamlamış SSB kaplamaların yeni SSB kaplamaların inşaası için geri dönüşüm potansiyelini gösterdiğini belirtmişlerdir.

Brotman ve ark. (2007), SSB'nin liman zeminlerindeki uygulamalarının özelliklerini, tasarımını ve inşaatını incelemişlerdir. Saha çalışmaları ve laboratuvar çalışmalarını inceleyip karışımlar hakkında bilgi toplayıp saha çalışmalarına

geçmişlerdir. Saha çalışmaları için Norfolk Uluslararası Terminallerindeki SSB zemin kaplama çalışmalarını yakından takip etmişlerdir. Virgina Liman İşletmeleri tarafından 2002 yılında yaklaşık 4000 m²'lik bir test alanı ile başlayan limanlardaki SSB zemin kaplamalarının toplamda 56 ha bir alana uygulanması planlanmıştır. 2006 yılının yaz aylarına gelindiğinde yaklaşık 18 ha alanın SSB zemin kaplaması işlemi bitirilmiştir. Test alanı dahil ilk 6 ha alanın 3 yıldan fazla zamandır kullanılmakta olduğunu ve SSB'nin performansının mükemmel olduğunu gözlemlemişlerdir. Yapılan bütün inceleme ve çalışmaların sonucunda SSB'nin liman zeminleri için uygun bir seçenek olduğunu belirtmişlerdir. Projenin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için müteahhitin SSB konusunda tecrübeli olması ve gerekli bütün ekipmana sahip olmasını gerektiğini vurgulamışlardır. Yerleştirme süresi kritik olduğu için bütün uygulamalarda yerinde bir üretim tesisi gerekebileceğini belirtmişlerdir. Asfalt betondan bir aşınma yüzeyi uygulaması yapılmasını tavsiye etmişlerdir.

Madhkhan ve ark. (2011), çelik ve polipropilen liflerin yanı sıra puzzolanlarında SSB'nin mekanik özelikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Puzzolan kullanımının SSB'nin basınç dayanımı 28 günden sonra arttırdığını gözlemlemişlerdir. Çelik liflerin 30 ve 60 kg/m³ oranlarında kullanımının kontrol numunelerine göre basınç dayanımını arttırdığını gözlemlemişlerdir. Polipropilen lif kullanımınında basınç dayanımını arttırdığını ancak çelik lifler kadar etkili olmadığını tespit etmişlerdir. Çelik liflerin kullanımının betonun enerji emme kapasitesini arttırdığından dolayı tokluk indeksini arttırdığını belirtmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çimento

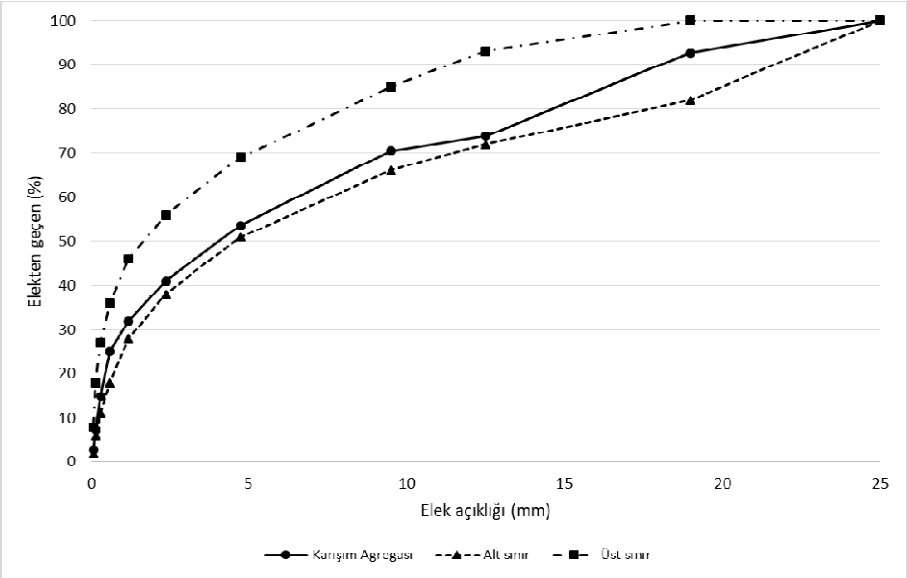
Tez içeriğinde yapılan tüm deneysel işlemlerde CEM-I 52.5N tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge3.1.'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Analiz(%)	Portland Çimentosu
CaO (%)	63.28
SiO2 (%)	18.91
Al2O3 (%)	5.02
Fe2O3 (%)	3.12
MgO (%)	1.6
SO3 (%)	2.42
K2O (%)	0.68
Na2O (%)	0.14
Kızdırma Kaybı	3.93
Özgül Ağırlık	3.17
Blaine İnceliği (cm2/g)	3430

3.1.2. Agrega

Bu çalışmada SSB üretimi için maksimum dane çapı 25 mm olan bazalt agrega kullanılmıştır. Şekil 3.1'de bu çalışmada kullanılan agrega karışımına ait gradasyon eğrisi verilmiştir. Ayrıca Amerikan Beton Enstitüsü komitesi tarafından hazırlanan çökmesi olmayan beton için karışım oranlarının seçimi rehberinde (ACI 211.3R-02, 2009), SSB yollar için önerilen sınır gradasyon eğrileri de Şekil 3.1'de verilmiştir. Kullanılan agrega gradasyonunun bu sınır gradasyon eğrileri arasında kaldığı görülmektedir. Kullanılan agregaların su emme oranları ve özgül ağrılıkları Çizelge 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1. SSB'de kullanılan agreganın gradasyonu ve sınır değerler

Çizelge 3.2. Agrega çapına göre su emme oranları ve özgül ağırlıklar

Agrega Çapı (mm)	Su Emme Oranı (%)	Özgül Ağırlık
0-4.75	3	2.63
4.75-25	2.46	2.74

3.1.3. Elyaf

Yapılan çalışmada özellikleri Çizelge 3.3'de verilen makro sentetik elyaf kullanılmıştır (Şekil 3.2).

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan makro sentetik elyafın özellikleri

Ham Madde	%100 Saf Kopolimer PP/PE
Uzunluk	54 mm
Çekme Gerilmesi	550 – 570 MPa
Elastisite Modülü	5.75 GPa
Fiber Sayısı	220.000 Parça / kg
Yoğunluk	0.91 g/cm^3
Çap	0.67 mm



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan makro sentetik elyaf

3.2. Yöntem

3.2.1. SSB karışım oranlarının belirlenmesi

Dünya genelinde SSB yapılar için karışımlar hazırlanırken birkaç metod kullanılmıştır. Bu nedenle bir prosedürü standart prosedür olarak tanımlamak mümkün değildir. Bununla beraber SSB karışımlar için kullanılan yaygın tasarım metodları;

- ✓ Zemin sıkıştırma yöntemi,
- ✓ Beton kıvam testi,
- ✓ Katı süspanyion modeli,
- ✓ Optimal hamur hacmi metodu

olmak üzere 4 ana başlık altında toplanabilir. Ancak hangi metod kullanırsa kullanılsın aşağıda sıralanan koşulları yerine getirmelidir (Harrington ve ark., 2010).

- ✓ Agregaları kaplamak ve aralarındaki boşlukları doldurmak için yeterli hamur hacmine sahip olmalıdır,
- ✓ Gerekli mekanik dayanım ve elastik özellikleri sağlayabilmelidir,
- ✓ Gerekli yoğunluğu elde etmeyi kolaylaştıran işlenebilirlik özelliklerine sahip olmalıdır,
- ✓ Belli koşullar altında yeterli dayanıklılığa sahip olmalıdır.

Bu çalışmada SSB'nin karışım oranlarının belirlenmesinde maksimum kuru yoğunluğuna karşılık gelen optimum su içeriği değerinin tespit edilmesini esas alan zemin sıkıştırma yöntemi kullanılmıştır.

Optimum su içeriğinin belirlenmesi için %5, %6, %7 ve %8 su içeriğine sahip 4 farklı karışım üretilmiştir. Üretilen numuneler 150x300 mm boyutlarındaki silindir kalıba 3 kademede ve her kademe 20 saniyeyi aşmayacak şekilde darbeli çekiç ile sıkıştırılarak doldurulmuştur (Şekil 3.3(a)). Kalıp içersindeki betonun ağrılığı belirlendikten sonra her bir karışımın ıslak birim hacim ağırlığı ($\gamma_{ıslak}$) Denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır. Islak birim hacim ağırlık belirlendikten sonra betondan alınan bir miktar numune tartılıp ($m_{ıslak}$) etüvde 105±5 °C'de 24 saat bekletilmiştir (Şekil 3.3(b)). Numuneler etüvden alındıktan sonra tartılarak (m_{kuru}) kuru birim hacim ağırlıkları (γ_{kuru}) tespit edilmiştir. SSB karışımlarının su içeriği Denklem 3.2'ye göre belirlenip her bir karışımın kuru birim ağırlığı Denklem 3.3'e göre hesaplanmıştır.

$$\gamma_{ıslak} = \frac{m}{v} \tag{3.1}$$

$$w = \left(\frac{m_{ıslak} - m_{kuru}}{m_{ıslak}} \right) * 100 \tag{3.2}$$

$$\gamma_{kuru} = \frac{\gamma_{ıslak}}{1+w} \tag{3.3}$$

Optimum su içeriği, kontrol numunesi ve hacimce %0.2, %0.4, %0.6 elyaf içeren bütün karışımlar için yukarıdaki yöntem uygulanarak belirlenmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.3. (a) Kalıptan çıkarılmış taze beton (b) Etüvde 24 saat bekletilmiş beton

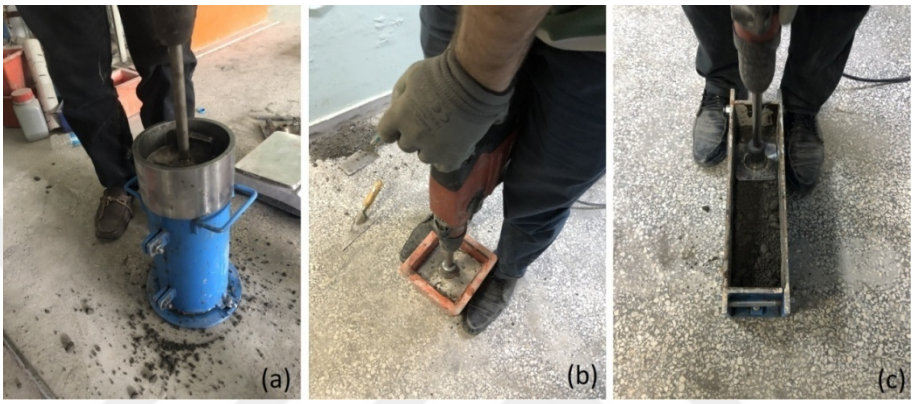
Çalışma kapsamında üretilen SSB numunelerinin karışım oranları zemin sıkıştırma yöntemi kullanılarak belilenmiştir (ACI 211.3R-02, 2009). Çalışmada üretilen SSB karışımlarının 1 m³'ü için kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. 1 m³ SSB için karışım oranları

SSB Karışımı	Çimento (kg)	Agrega		Polipropilen elyaf (kg)	Su (kg)	Su/çimento oranı
		0 – 4.75mm (kg)	4.75 – 25mm (kg)			
Kontrol	294.67	1115.54	989.25	0	121.04	0.41
%0.2 Elyaf	294.031	1113.10	987.10	4.2	122.91	0.42
%0.4 Elyaf	293.39	1110.68	984.95	8.38	124.78	0.43
%0.6 Elyaf	291.49	1103.49	978.57	12.54	130.32	0.45

SSB üretiminde 40 dm³ kapasiteli, düşey eksenli karıştırıcılı bir betoniyer kullanılmıştır. Numuneler üretilirken ilk olarak agregalar ve çimento kuru olarak homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Daha sonra elyaf bu kuru karışıma eklenmiştir. Homojen bir kuru karışım elde edildikten sonra karışımın suyu eklenip yeterli kıvam elde edilinceye kadar karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi

esnasında elyafın topaklanmamasına özen gösterilmiştir. Hazırlanan karışım önceden hazırlanmış yüzeyleri yağlanmış 150x300 mm silindir, 150x150x150 mm küp, 100x100x100 mm küp ve 100x100x400 prizmatik kalıplara yerleştirilmiştir. Beton kalıplara 3 kademe olarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.4). Her kademede kalıplara yerleştirilen beton vibratörlü çekiç yardımıyla yaklaşık 20 sn sıkıştırma işlemi uygulanmıştır. Silindir kalıbın üst yüzeyinin düzgün bir şekilde çıkması için ilave halka kullanılmıştır.



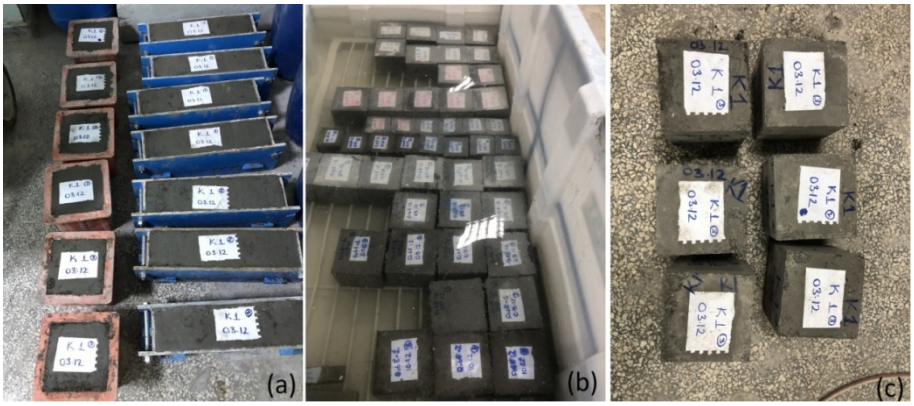
Şekil 3.4. (a) Silindir kalıp, (b) Küp kalıp, (c)Prizmatik kalıp sıkıştırma işlemleri

SSB'lerin sıkıştırılması için literatürde, modifiye proktor, sarsma tablası, darbeli çekiç, çekiçli vibratör, yoğurmalı sıkıştırıcı ve hava basınçlı çekiç gibi tekniklerin mevcut olduğunu ayrıca bunlara ilaveten sadece araştırmacılara özel gerçek saha koşullarını yansıtabileceği düşünülen özel tasarım ekipmanların olduğu belirtilmiştir (Şengün ve ark., 2017). Bu çalışmada SSB numunelerinin sıkıştırma işlemi için ASTM C 1435 standartlarına uygun Şekil 3.5'te görülen darbeli çekiç kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Sıkıştırma işlemi için kullanılan darbeli çekiç

Bu tez çalışması için 150x300 mmsilindir numuneden 16 adet, 100x100x100 mm küp numuneden 12 adet, 150x150x150 mm küp numuneden 24 adet ve 100x100x400 mm prizmatik kalıplardan 20 adet, toplamda 72 adet numune üretilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. (a) Kalıplanmış taze beton, (b) kür havuzunda numuneler, (c) havuzdan çıkarılmş numuneler

3.2.2. Yapılan deneyler

3.2.2.1.Çökme deneyi

Bilindiği gibi SSB sıfır çökme değerine sahip bir beton türüdür (ACI 325.10.R-95, 2001). Bu yüzden üretilen bütün karışımların çökme değerlerini kontrol etmek için çökme deneyi yapılmıştır. Bu deneyi yaparken çökme hunisinin 1/3'ü taze haldeki beton ile doldurulup 25 defa şişleme işlemi yapılmıştır. Bu işlem 3 kez tekrarlanıp çökme hunisinin ağzındaki beton düzeltilmiştir. Daha sonra huni yavaş bir şekilde yukarı doğru çekilip betonun yanına indirilmiş ve bütün karışımlar için çökme değerleri Şekil 3.7'de görüldüğü gibi sıfır olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.7. Çökme deneyi

3.2.2.2. Vebe deneyi

SSB'nin kıvam ve yoğunluğunun belirlenmesi için ASTM C 1170'e uygun Şekil 3.8'de görülen modifiye Vebe cihazı kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Bu deney yapılırken yaklaşık 12.5±0.5 kg ağırlığındaki taze beton cihazın silindir haznesine gevşek bir şekilde doldurulmuştur. Bu hazne daha sonra cihazın dakikada 3600±100 sinüzoidal titreşim hareketi yapan sarsma tablası üzerine yerleştirilmiştir. Hazne

içersindeki betonun üzerine 22.7 kg kütleli bir yük uygulandığı an sarsma işlemi başlatılıp ve kronometre çalıştırılmıştır. Yükün altındaki şeffaf tabaka ile haznenin içindeki yüzey arasında yüzük şeklinde bir harç tabakasının oluştuğu anda kronometre durdurularak geçen süre modifiye Vebe süresi olarak kayıt edilmiştir.



Şekil 3.8. Modifiye Vebe Cihazı

3.2.2.3. Basınç dayanımı deneyi

Her bir karışıma ait basınç dayanımı deneyi 3 adet 150x150x150 mm küp numune üzerinde ASTM C 39 standardına göre Şekil 3.9'da görülen basınç dayanımı test cihazı kullanılarakyapılmıştır. Bu 3 numuneden elde edilen 28 günlük değerlerin ortalaması alınarak basınç dayanım değeri belirlenmiştir.



Şekil 3.9. Basınç dayanımı test cihazı

3.2.2.4. Yarmada çekme dayanımı deneyi

Yarmada çekme dayanımı deneyi ASTM C496 standartlarına göre yapılmıştır. Bu standarda uygun olarak 28 günlük 100x100x100 mm'lik küp numunelere yarmada çekme dayanımı testi uygulanmıştır. Yarmada çekme dayanımları aşağıdaki eşitlikle tespit edilmiştir (Denklem 3.4).

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi a^2} \tag{3.4}$$

Burada;

f_{ct}: Yarmada çekme dayanımı

P: Uygulanan yük

a: Küpün bir kenarının uzunluğu

3.2.2.5. Eğilme dayanımı deneyi

Eğilme dayanımının hesaplanması için her bir karışıma ait 100x100x400 mm uzunluğundaki kiriş numuneleri ASTM C293 standardına göre 3 noktalı eğilme

deneyine tabii tutulmuştur (Şekil 3.10). Okunan 28 günlük değerlerin ortalaması alınarak eğilme dayanımı değeri tespit edilmiştir.



Şekil 3.10. 3 noktalı eğilme dayanımı test cihazı

Şekil 3.11'de makro elyafın kiriş numuneleri içersindeki dağılımının homojen olduğu görülmekedir.



Şekil 3.11. Elyaf takviyeli kiriş numunesi

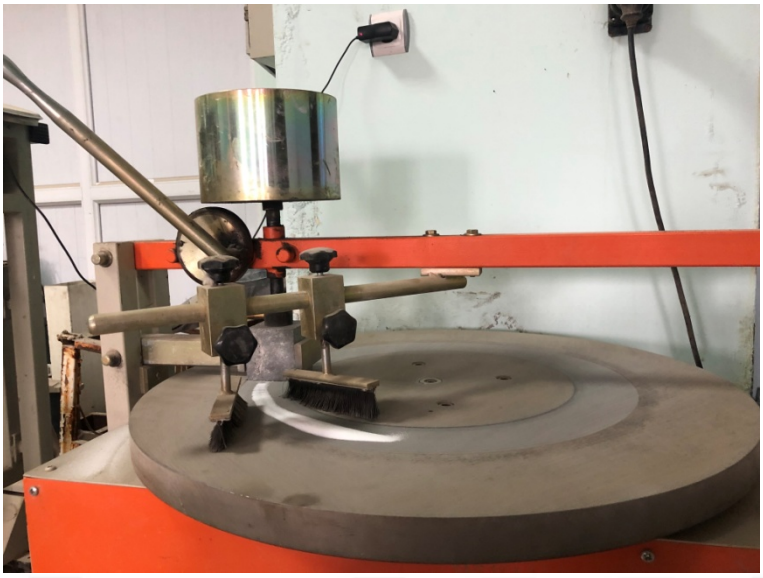
3.2.2.6. Böhme aşınma deneyi

Aşınmaya karşı direncin tespit edilmesi için TS 2824 EN 1338'e uygun Böhme deneyi yapılmıştır. Dakikada 30±1 devir yapan ve sayacı sayesinde her 22 turda düzeneği otomatik olarak durduran, yaklaşık 750 mm genişliğindeki dönen diske sahip deney düzeneği kullanılarak bu deney yapılmıştır (Şekil 3.12). Deneyde 71±1.5 mm boyutlarında olan küp numuneler kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerin temas yüzeyleri ve ona karşı gelen yüzeyleri paralel ve düz olacak şekilde ayarlanmıştır. Numuneler etüvde 110±5 °C'desabit kütleye kadar kurutulmuştur. Bu işlem bittikten sonra kütleleri 0.1g hassasiyetle ve boyutları da 0.1mm hassasiyetle ölçülüp hacimleri belirlenmiştir. Deneylerde 20±0.5gr zımpara tozu sürtünme yüzeyine serpilmiştir. Numunenin üzerine 294±3N yük yüklenmiştir.22 turdan oluşan her bir devrin sonunda otomatik olarak duran deney düzeneğinin diski temizlenip numune düşey ekseni etrafında 90° çevirilmiştir. Numunenin ağırlığı deneye başlamadan ve her 4 devirden sonra ölçülmüştür. Toplam 16 devir yapıldıktan sonra numunenin boyutları ve ağırlığı ölçülerek hacim Denklem 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\Delta V(cm^3/50cm^2) = \frac{\Delta m(gr/50cm^2)}{\rho(gr/cm^3)} \tag{3.5}$$

Burada:

ΔV = Toplam hacim kaybı ($cm^3/50cm^2$),
Δm = Toplam ağırlık kaybı ($cm^3/50cm^2$)
ρ = Numune yoğunluğu (gr/cm^3)



Şekil 3.12. Böhme aşınma deney düzeneği

3.2.2.7. Pandül deneyi

Pandül deneyi SSB yüzeyinin kayma direncinin tespit edilmesi için ASTM E303 standardına göre Şekil 3.13'te görülen pandül cihazı kullanılarak yapılmıştır. Pandül deneyinin yapılabilmesi için gerekli minimum boyut olan 136x86 mm lik alanın sağlaması için bu deneyde 100x100x400 mm boyutlarındaki kiriş numuneler kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce pandül cihazı teraziye getirilmiş ve kalibre edilmiştir. Yüzey fırça ile temizlenerek yüzeyde kalan ince tanecikler uzaklaştırılmıştır. Numune deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Pandül cihazının ibresi başlangıç pozisyonuna getirilmiştir. Düğmeye basarak kolun serbest bir şekilde hareket etmesi ve kaydırıcının numune yüzeyine temas etmesi sağlanmıştır. Kaydırıcı temasını bitirdikten sonra numune yüzeyine tekrar temas etmeden dönüş hareketi esnasında boşlukta tutulmuştur. Skala üzerindeki değer kayıt edilip aynı işlem 5 kez tekrarlanmıştır. Daha sonra numune 180° döndürülerek aynı işlemler bu yüzey içinde tekrarlanmıştır. Kuru ölçümler bittikten sonra numune yüzeyi ıslatılarak iki yön içinde okumalar yapılmış ve kayıt edilmiştir. Bütün değerler okunduktan sonra iki yön için hem kuru hem de ıslak durumlardaki değerlerin ortalamaları ayrı ayrı alınmış pandül test değerleri (PTV) hesaplanmıştır.



Şekil 3.13. Pandül Cihazı

Pandül test değeri (PTV) Denklem 3.6 kullanılarak sürtünme katsayısına (μ) çevirilebilmektedir.

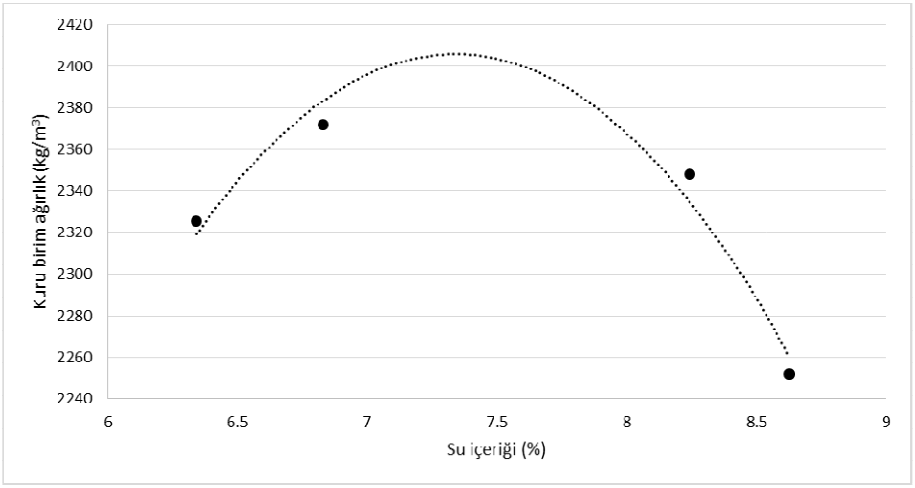
$$\mu = \left[\frac{110}{PTV} - \frac{1}{3} \right]^{-1} \tag{3.6}$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

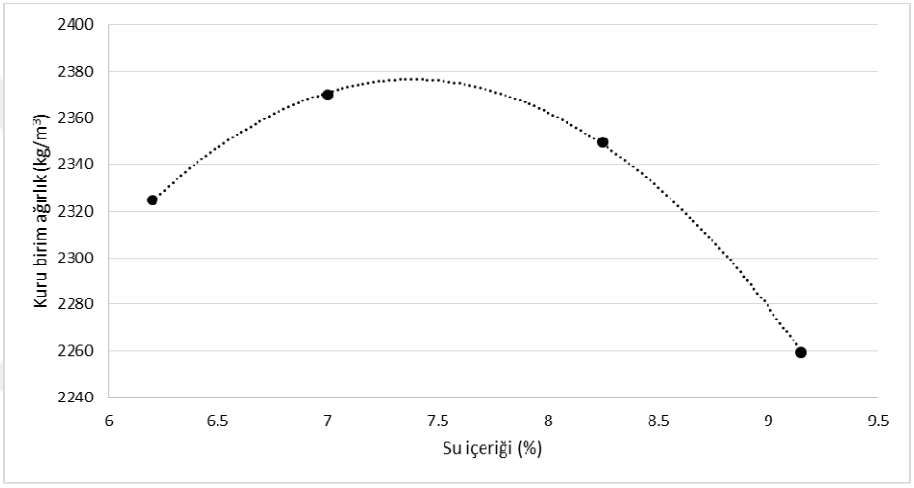
Bu tez çalışmasında ilk aşamada farklı elyaf oranları için maksimum kuru birim ağırlığa karşılık gelen optimum su içeriği belirlenmiş olup, su içeriğindeki değişimin basınç dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. İkinci aşamada ise belirlenen optimum su içeriğine göre SSB numunelerüretilmiş olup vebe, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı, böhme aşınma ve pandül deneyleri yapılmıştır.

4.1. Optimum Su İçeriği ve Maksimum Kuru Birim Ağırlıkların Belirlenmesi

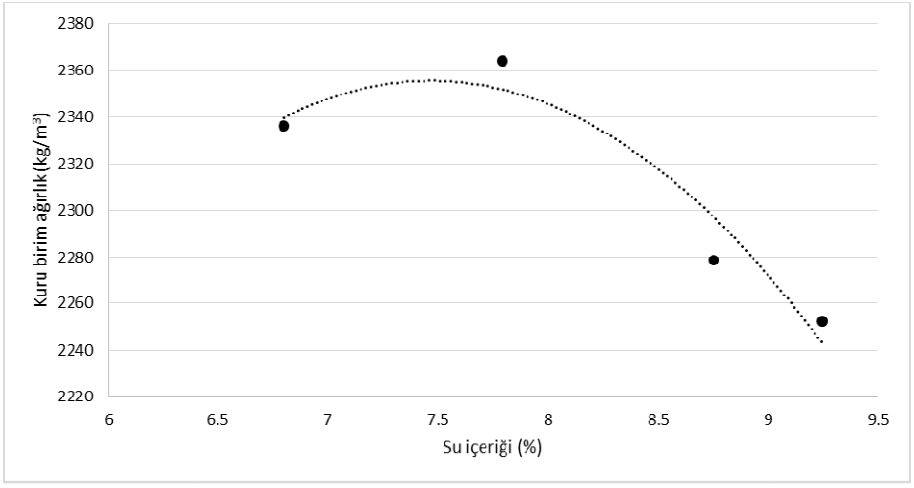
Bu çalışma kapsamında hazırlanan 4 farklı elyaf oranına sahip SSB karışımların su içeriği ve kuru birim ağırlığı arasındaki ilişki Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekildeki her bir değer, üç ölçümün ortalamasını temsil etmektedir. Şekil 4.1'den görüleceği üzere kontrol karışımı için maksimum kuru birim ağırlığa karşılık gelen optimum su içeriği değeri yaklaşık %7.3'tür. Elyaf miktarındaki artışla beraber optimum su miktarında belirgin bir artış olduğu Şekil 4.1'den açıkça görülmektedir. %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranına sahip karışımlar için optimum su içeriği sırasıyla %7.4, %7.5 ve %7.8 olarak elde edilmiştir. Üretilen SSB karışımların optimum su içeriği (w_{opt}) ve maksimum kuru birim ağırlık (δ_{kmax}) değerleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Makro sentetik elyaf kullanılan SSB karışımlar kontrol karışımıyla kıyaslandığında maksimum kuru birim ağırlık değerinin azaldığı ve karışımların su ihtiyacının arttığı görülmektedir.


Kuru birim ağırlık (kg/m³)
2420
2400
2380
2360
2340
2320
2300
2280
2260
2240
6
6.5
7
7.5
8
8.5
9
Su içeriği (%)

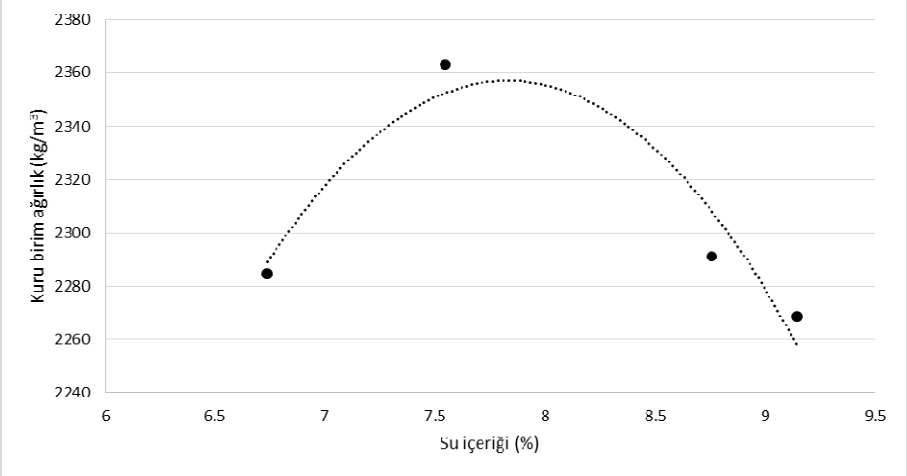
(a)


Kuru birim ağırlık (kg/m³)
2400
2380
2360
2340
2320
2300
2280
2260
2240
6
6.5
7
7.5
8
8.5
9
9.5
Su içeriği (%)

(b)


Kuru birim ağırlık (kg/m³)
2380
2360
2340
2320
2300
2280
2260
2240
2220
6
6.5
7
7.5
8
8.5
9
9.5
Su içeriği (%)

(c)



(d)

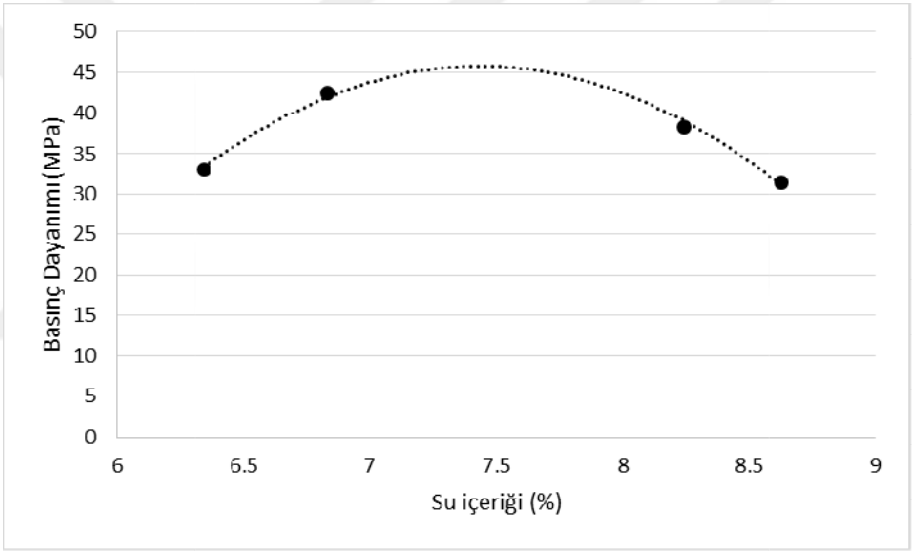
Şekil 4.1. (a) Kontrol (b) %0.2 elyaf (c) %0.4 elyaf ve (d) %0.6 elyaf içeren SSB karışımların su içeriği ve kuru birim ağırlığı arasındaki ilişki

Çizelge 4.1. SSB karışımların nem içeriği ve kuru birim ağırlığı arasındaki ilişkiden elde edilen regresyon denklemi, optimum su içeriği ve maksimum kuru birim ağırlık değerleri

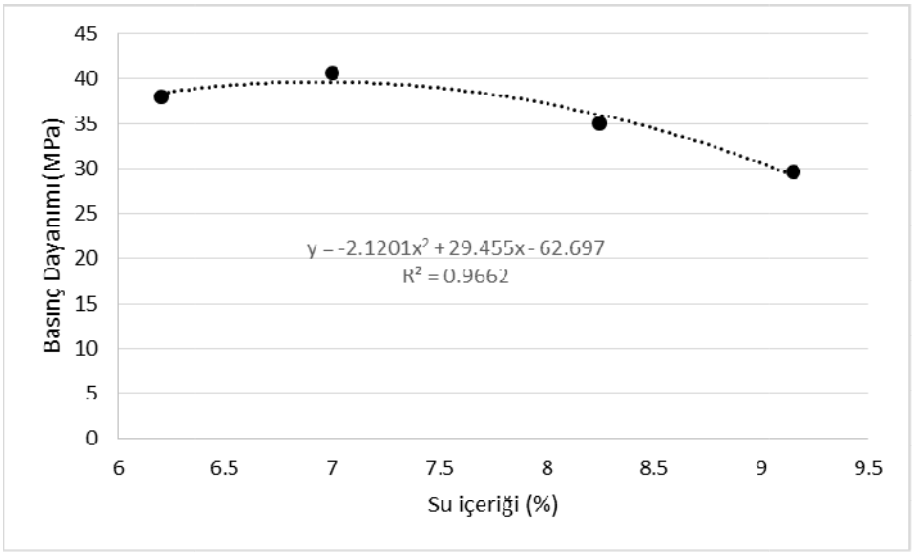
Elyaf oranı (%)	**Regresyon denklemi**	**W_{opt} (%)**	**$\delta_{k,max}$ (kg/m^3)**
0	$y = -87.298x^2 + 1281.5x - 2296.9$	7.3	2406
0.2	$y = -37.266x^2 + 550.27x - 345.1$	7.4	2376
0.4	$y = -35.484x^2 + 529.97x - 376.75$	7.5	2356
0.6	$y = -57.12x^2 + 894.51x - 1145$	7.8	2357

Dört farklı su içeriğine ve dört farklı makro sentetik elyaf oranına sahip toplam on altı SSB karışımından alınan 7 günlük numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Şekil 4.2'de SSB numunelerin basınç dayanımı ile su içeriği arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil 4.2'den görüldüğü üzere bu çalışmada üretilen 7 günlük küp numunelerin basınç dayanımı yaklaşık olarak 20 ila 45 MPa olarak değişmektedir. Şekil 4.2'den elyaf katkılı ve katkısız SSB numunelerinin yaklaşık optimum su içeriğine kadar basınç dayanımının arttığı ancak artan su içeriğiyle beraber basınç dayanımının azaldığı görülmektedir. Bu durum, optimum su içeriğinin altındaki değerlerde, çimento hamuru ve agrega daneleri arasında yetersiz sıkışmadan kaynaklı boşlukların dayanım kaybı oluşturması, optimum su içeriğinin üzerindeki değerlerde ise su/çimento oranının artmasından dolayı oluşan kapiler boşlukların dayanım kaybı meydana getirmesi ile açıklanabilir.

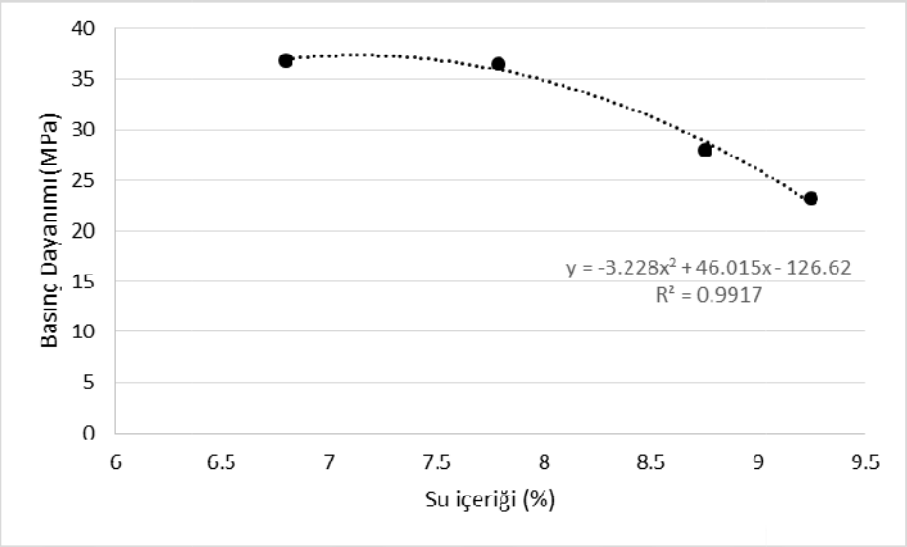
Literatürde,uygulanan bazı projelerde SSB'nin basınç dayanımı, tipik olarak 28 ila 41 MPa aralığında değişirken bazılarında ise 48 MPa'dan daha yüksek basınç dayanımları elde edildiği ifade edilmiştir (Harrington ve ark., 2010). SSB karışımlarda iyi derecelendirilmiş bir agrega karışımının kullanılmasının betonda yüksek basınç dayanımı elde edilmesine yardımcı olduğu, ayrıca SSB karışımların düşük su/çimento oranına sahip olmalarının, betonun yüksek basınç dayanımına katkıda bulunan düşük boşluklu çimento matrisinin oluşmasını sağladığı ifade edilmiştir. Dolayısıyla her karışım oranı, maksimum kuru yoğunluğa ulaşılan bir optimum su içeriğine sahiptir ve bu yoğunluk çoğunlukla maksimum dayanımı sağlamaktadır (Harrington ve ark., 2010).



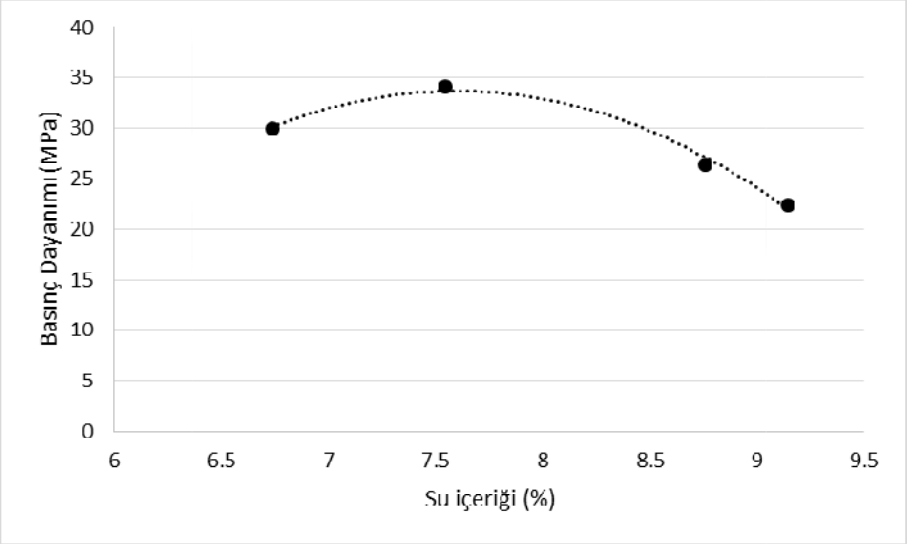
(a)



(b)



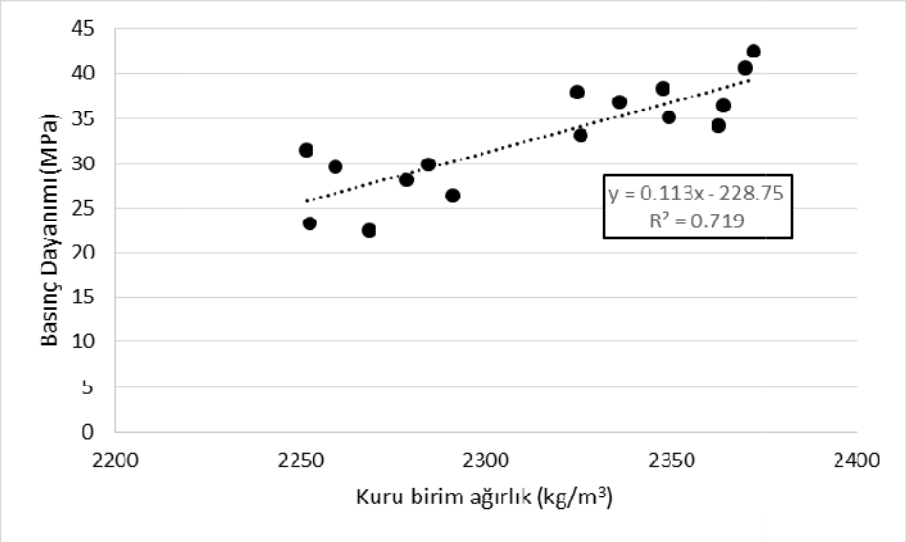
(c)



(d)

Şekil 4.2. (a) kontrol (b) %0.2 elyaf (c) %0.4 elyaf ve (d) %0.6 elyaf içeren SSB karışımların su içeriği ve 7 günlük basınç dayanımı arasındaki ilişki

Üretilen tüm SSB numunelerinin kuru birim ağırlığı ile 7 günlük basınç dayanımı arasındaki ilişki Şekil 4.3'te görülmektedir. SSB'nin basınç dayanımı ile kuru birim ağırlığı arasında doğrusal bir ilişki olduğu açıkça görülmektedir. SSB'ninkuru birim ağırlığı arttıkça basınç dayanımı da artmaktadır. Uygulanan sıkıştırmadan dolayı beton içerisindeki boşluk miktarı azalmakta, dolayısıyla SSB'nin kuru birim ağırlığı artmakta ve daha yoğun bir beton oluşmaktadır. Buna bağlı olarak da basınç dayanımı değeri artmaktadır.



Şekil 4.3. SSB karışımların kuru birim ağırlığı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

4.2 Vebe Deneyi

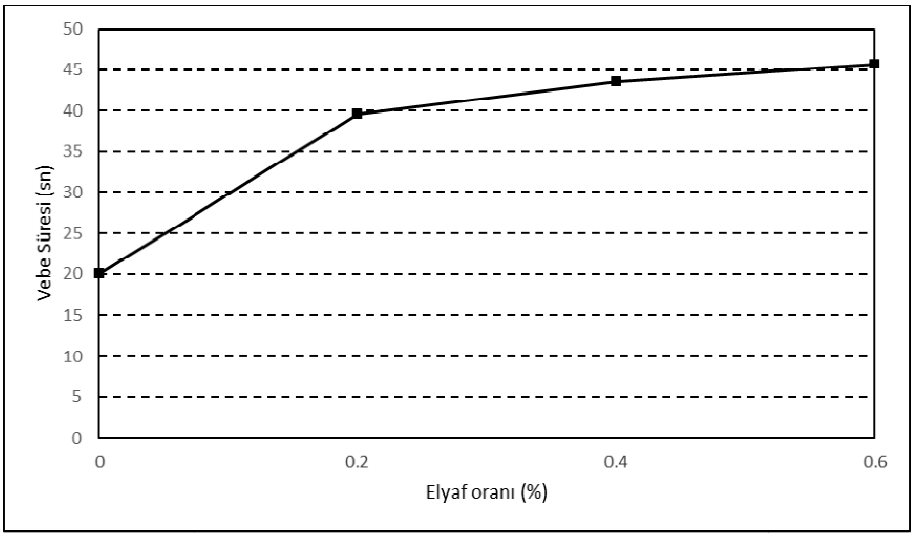
Geleneksel betonun kıvamı çökme testi ile ölçülmekte veya değerlendirilmektedir. Çökme testi, SSB için anlamlı değildir, çünkü SSB karışımında çökme sıfır veya sıfıra yakın bir değerdir. SSB karışımları için kıvam Vebe testi (ASTM C1170, 2014) ile belirlenmektedir. SSB karışımının kıvamı, agrega gradasyonu, su içeriği, çimento içeriği, katkı maddesi gibi birçok faktörden etkilenebilmektedir. En iyi sıkıştırmayı sağlamak için SSB'nin uygun bir kıvama sahip olması gerekmekte olup betonun kıvamı modifiye Vebe cihazı ile belirlenmektedir. Çizelge 4.2'de literatürdeki çalışmalarda ASTM C 1170 standardına uygun titreşimli masa testi ile ölçülen Vebe süresi açısından çeşitli kıvam aralıkları önerilmiştir. ACI 325.10R'ye göre, SSB için uygun Vebe süresi aralığı 30 ila 40 saniye aralığındadır. Literatürde yol uygulamalarında SSB'nin 8Vebe süresinin 50 ila 75 saniye arasında olmasının uygulanabilir olduğu belirtilmiştir (Marchand ve ark.,1997). 15 ila 30 saniye aralığında değişen Vebe süresine sahip bir SSB'nin kıvamının yeterli olduğu, bu kıvam aralığına sahip SSB'lerin genellikle çok işlenebilir, kolay yerleştirilebilir ve tamamen konsolide edilebilir olduğu yapılan literatür çalışmasında ifade edilmiştir (Construction Inspection National Engineering Handbook, 2011).

Çizelge 4.2. Literatürde önerilen modifiyeVebe süresi ve optimum su içeriği aralığı

Vebe süresi aralığı	Optimum su içeriği oranı	Referans
---	5 - 8	Harrington et al. (2010)
30 - 40 saniye: uygun, 20 saniye: rolabilite*	4.5 -6.5	Jofre (1993)
30 - 40 saniye: uygun,	---	ACI 325.10R
50 - 75 saniye: uygulanabilir	---	Marchand et al. (1997)

*Silindir ile sıkıştırılabilirlik

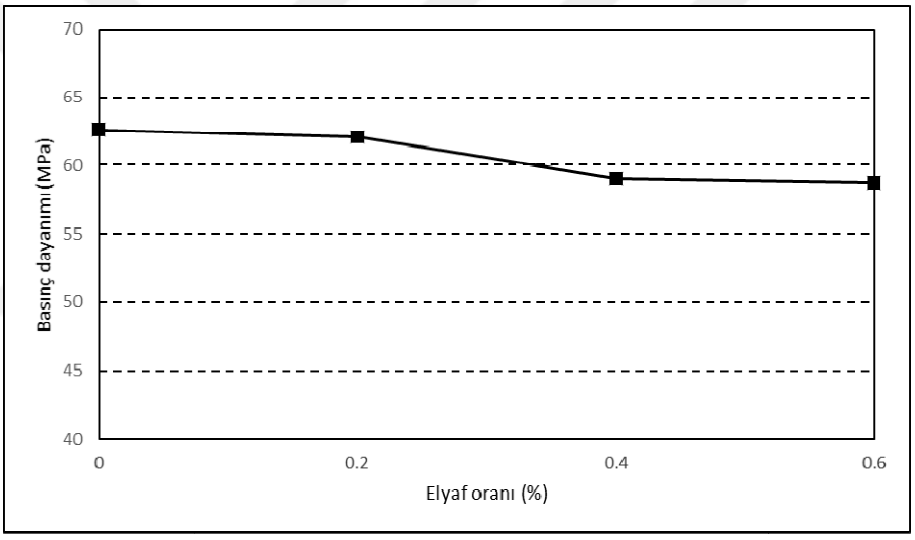
Zemin sıkıştırma yöntemine göre belirlenen optimum su içeriği değerleri kullanılarak üretilen %0, %0.2, %0.4 ve %0.6 oranlarında makro sentetik elyaf kullanılan SSB karışımların kıvamını belirlemek için yapılan modifiyeVebe deneyi sonuçları Şekil 4.4'de görülmektedir. Bu çalışmada yapılan modifiyeVebe deneyinin sonucunda kontrol karışımının Vebe süresi yaklaşık 20 sn olarak ölçülmüştür.%0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranına sahip karışımların Vebe süreleri ise sırasıyla 40, 44 ve 46sn olarak elde edilmiştir. Şekil 4.4'de makro sentetik elyaf miktarındaki artışla beraber SSB'nin Vebe süresinin arttığı görülmektedir. Dolayısıyla, elyaf katkılı SSB karışımları kontrol betonuyla kıyaslandığında, makro elyaf kullanımının SSB'nin kıvamını önemli ölçüde etkilediği söylenebilir. Ayrıca bu çalışmada elde edilen Vebe süreleri literatürde önerilen Vebe sürelerini de sağlamaktadır.



Şekil 4.4. Optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımların elyaf miktarı ile modifiye Vebe süresi arasındaki ilişki

4.3 Basınç Dayanımı Deneyi

Şekil 4.5'te optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımların elyaf miktarı ile28 günlük basınç dayanımları arasındaki ilişki görülmektedir. En yüksek basınç dayanımı kontrol numunesinde yaklaşık olarak 63 MPa olarak elde edilmiştir. %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranına sahip SSB karışımların 28 günlük basınç dayanımı değerleri ise sırasıyla yaklaşık olarak 62, 59 ve 59 MPa olarak elde edilmiştir. Şekil 4.5'ten görüldüğü üzere elyaf miktarındaki artış SSB'nin basınç dayanımında yaklaşık %6 oranında bir düşüşe neden olmuştur. Bu bağlamda, %0-0.6 aralığında makro sentetik elyaf kullanımı SSB'nin basınç dayanımını önemli derecede etkilemediği görülmüştür.

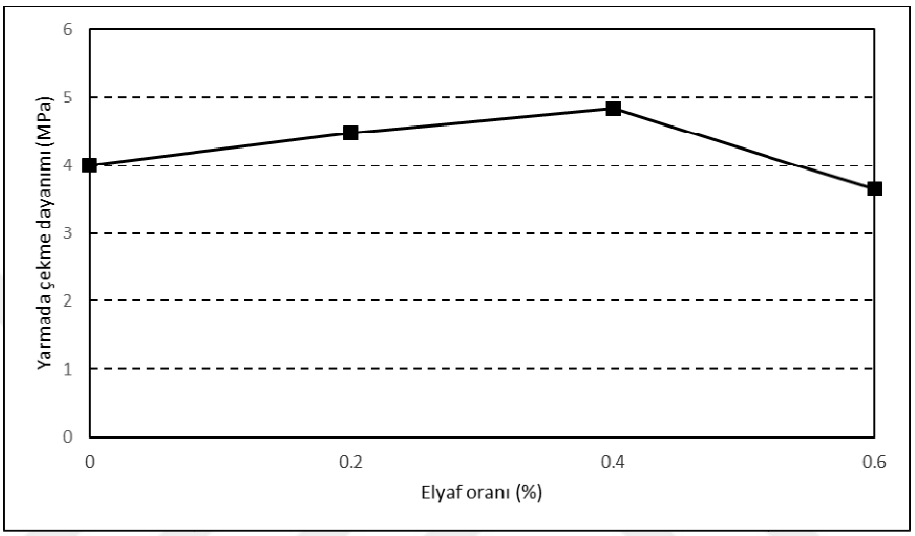


Şekil 4.5. Optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımların elyaf miktarı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

4.3 Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Şekil 4.6'de optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımların elyaf miktarı ile 28 günlük yarmada çekme dayanımları arasındaki ilişki görülmektedir. %0, %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranına sahip SSB karışımların 28 günlük yarmada çekme dayanımı değerleri sırasıyla yaklaşık olarak 4.00, 4.48, 4.83 ve 3.65 MPa olarak elde edilmiştir. Şekil 4.6'dan görüldüğü üzere %0.4 elyaf kullanımına kadar SSB'nin yarmada çekme dayanımı aşamalı olarak artmıştır. En yüksek yarmada çekme

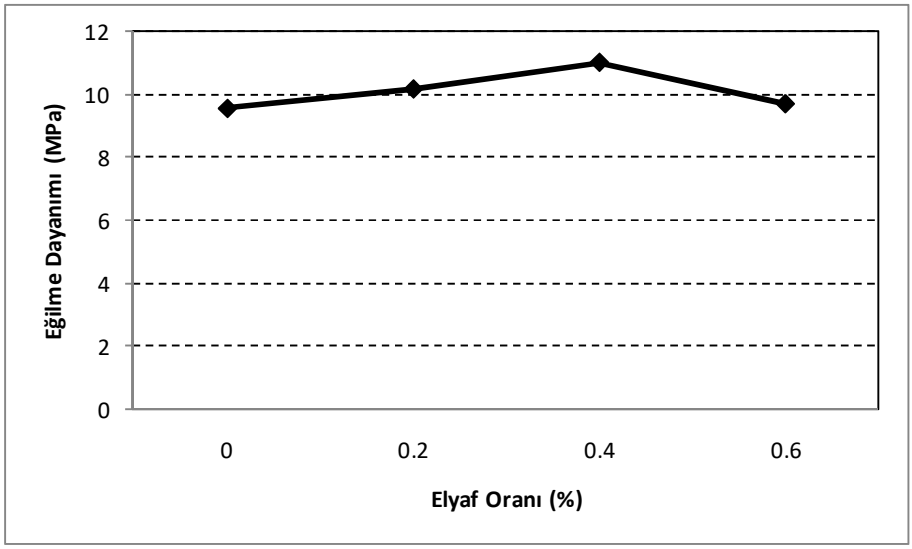
dayanımı %0.4 elyaf kullanılan SSB karışımında elde edilmiştir. %0.4 elyaf kullanılan SSB karışımının yarmada çekme dayanımı kontrol betonuyla kıyaslandığında yaklaşık %21 oranında bir artış elde edilmiştir. %0.6 oranında elyaf kullanılan SSB karışımının yarmada çekme dayanımında ise en düşük değer elde edilmiştir. Ancak bu değer, kontrol betonunun %92'si olduğundan aşırı bir düşüş olmadığı söylenebilir.



Şekil 4.6. Optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımların elyaf miktarı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki

4.3 Eğilme Dayanımı Deneyi

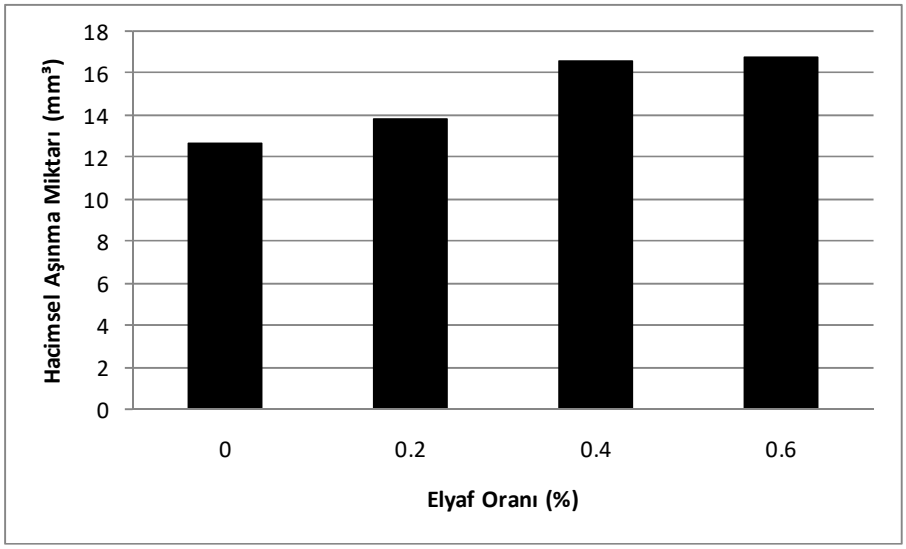
Şekil 4.7'de optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımların elyaf miktarı ile 28 günlük eğilme dayanımları arasındaki ilişki görülmektedir. En düşük eğilme dayanımı değeri kontrol numunesinde elde edilmiştir. Elyaf kullanımının oranı %0.4'e kadar eğilme dayanımı kademeli bir şekilde artmış ve pik noktasına bu oranda ulaşmıştır. Bu orandan sonra eğilme dayanımında bir düşüş gözlemlenmiştir. Elyaf oranının %0.4 oranında kullanılması kontrol numunesine göre eğilme dayanımını yaklaşık %15 oranında arttırmıştır.



Şekil 4.7. Optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımlarının elyaf miktarı ile eğilme dayanımı arasındaki ilişki

4.4 BöhmeAşınma Deneyi

Şekil 4.8'de optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımların elyaf miktarı ile hacimsel aşınma miktarları arasındaki ilişki görülmektedir.%0, %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranına sahip SSB karışımların hacimsel aşınmakaybı değerleri sırasıyla yaklaşık olarak 13, 14, 17 ve 17 mm^3olarak elde edilmiştir. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi elyaf miktarı arttıkça SSB numunelerinin hacimsel aşınma miktarı artmıştır. Elyaf miktarındaki artışa bağlı olarak elyaflar numune içerisinde topaklaşmakta ve bu da boşlukların oluşmasına sebep olmaktadır. Numune içerisinde oluşan bu boşluklar betonun aşınmaya karşı direncini düşürmektedir.



Şekil 4.8. Optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımlarının elyaf miktarı ile hacimsel aşınma miktarları arasındaki ilişki

4.5 Pandül Deneyi

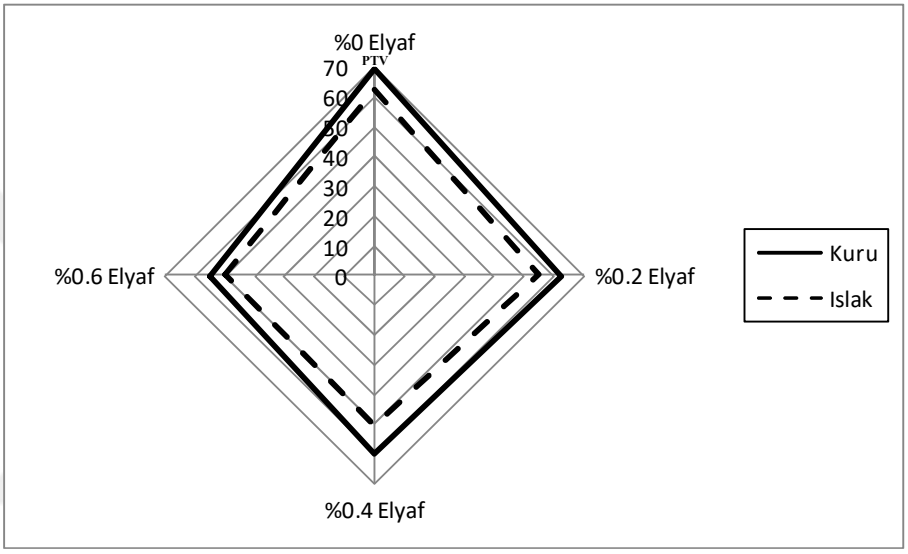
Şekil 4.9'da optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımların elyaf miktarı ile kayma direnci arasındaki ilişki görülmektedir. Kayma direncinin en yüksek değeri 69.3 ile kontrol numunesinin kuru halinde gözlemlenmiştir. En düşük PTV ise 49.6 ile %0.6 oranında elyaf kullanılan SSB numunesinin ıslak halinde tespit edilmiştir.

PTV'ye göre kayma potansiyeli Çizelge 4.3'te sınıflandırılmıştır. Pandül deneyi sonucunda elde edilen PTV değerleri 36'nın üzerinde olduğu için tüm SSB numunelerinin kayma potansiyeli düşüktür.

PTV'ye göre kayma potansiyeli ve risk değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Çizelge 4.4'e göre deney sonuçları değerlendirildiğinde tüm numuneler düşük kayma potansiyeline sahiptir ve risk oranı 1:1,000,000'dir.

Uygulama yerlerine göre önerilen minimum PTV'ler Çizelge 4.5'te verilmiştir. Deney sonuçlarına göre %0, %0.2, %0.4 ve %0.6 elyaf oranları için üretilen SSB numunelerinin ıslak haldeki PTV'leri sırasıyla 62.1, 55.1, 50.4 ve 49.6'dır. Bu sonuçlara göre tüm numunelerin ıslak kayma direnci 65'in altında olduğu için bu

çalışmada üretilen SSB karışımlarının kategori A'da belirtilen uygulama alanlarında kullanılmasının uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Kontrol ve % 0.2 elyaf oranı ile üretilen SSB numunelerin ıslak kayma direnci 55'in üstünde olduğu için bu karışımların Kategori B'de verilen uygulama yerlerinde kulanılması uygudur.% 0.4 ve % 0.6 elyaf oranına sahip numunelerin ıslak kayma direnci ise 45 – 55 arasında olduğu içinbu karışımlar kategori C'ye uygun yerlerde uygulanabilir. Elyaf miktarındaki artış SSB'nin kayma direncini azalttığından, elyaf kullanımı SSB'lerin uygulama yerlerini sınırlandırmaktadır.



Şekil 4.9. Optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımlarının elyaf miktarı ile kayma değerleri arasındaki ilişki

Çizelge 4.3. Kayma direncinin gruplandırılması (Nolan, 2015)

Pandül Test Değeri (PTV)	Kayma Potansiyeli
0 – 24	Yüksek
25 – 35	Orta
36 +	Düşük

Çizelge 4.4. Pandül test değeri kayma riski arasındaki ilişki (Nolan, 2015)

Risk	Minimum PTV	Kayma Potansiyeli
1:2	19	Yüksek
1:20	24	Yüksek
1:200	27	Orta
1:10,000	2	Orta
1:100,000	34	Orta
1:1,000,000	36	Düşük

Çizelge 4.5. Uygulama yerine göre önerilen minimum kayma direnci değerleri (Nolan, 2015)

Kategori	Uygulama yeri	Minimum ıslak Kayma Direnci
A	Kavşaklar Kısıtlanmamış yollarda yarıçapı 150 metreden az olan virajlar Eğimi 20'de 1'den daha büyük , uzunluğu 100 m fazla olan yerler Sınırlandırılmamış yollarda trafik ışıklarına yaklaşımlar	65
B	Otoyollar, ana hatlar, 1.sınıf yollar ve kentsel alanlardaki yoğun trafik taşıyan yollar(günde 2000 araçtan fazla taşıyan yollar)	55
C	Diğer bütün uygulama yerleri	45

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında makro sentetik elyaf miktarının SSB'nin optimum su içeriği, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı, aşınma direnci ve kayma direnci üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deney bulgularına göre elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Makro sentetik elyaf kullanılan SSB karışımlar kontrol karışımıyla kıyaslandığında maksimum kuru birim ağırlık değerinin azaldığı ve karışımların su ihtiyacının arttığı belirlenmiştir.

2. Makro sentetik elyaf miktarının artması SSB karışımların optimum su içeriği değerini arttırmıştır. %0, %0.2, %0.4 ve % 0.6 elyaf oranlarında üretilen SSB karışımlarının maksimum kuru birim ağırlığına karşılık gelen optimum su içeriği değerleri sırasıyla %7.3, %7.4, %7.5 ve %7.8 olarak belirlenmiştir.

3. SSB'nin basınç dayanımı ile kuru birim ağırlığı arasında doğrusal bir ilişki olduğu ve SSB'nin kuru birim ağırlığı arttıkça basınç dayanımının da arttığı belirlenmiştir.

4. Elyaf takviyesi SSB'nin boşluk yapısını az da olsa olumsuz olarak etkilemiştir. En büyük kuru birim ağırlık ve basınç dayanımı değerleri kontrol betonundan elde edilmiştir.

5. Elyaf katkılı betonların Vebe süreleri elyaf miktarına bağlı olarak uzamıştır. En yüksek Vebe süresi yaklaşık 46 saniye olarak %0.6 oranında elyaf içeren SSB'de ölçülmüştür. Buna göre makro elyaf kullanılan SSB'lerde sıkıştırma işleminin daha hassas yapılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

6. En yüksek basınç dayanımı 63 MPa ile kontrol numunesinde tespit edilmiştir. Elyaf miktarı arttıkça boşluk miktarı arttığından basınç dayanımı kademeli olarak

düşüş göstermiştir. %0.4 ve % 0.6 oranında elyaf kullanımı SSB'nin basınç dayanımında yaklaşık %6 oranında bir düşüşe neden olmuştur.

7. Elyaf takviyesinin çatlak tutma mekanizması yarmada çekme dayanımında iyileşmeye sebep olmuştur. En yüksek yarmada çekme dayanımı değeri 4.83 MPa olarak %0.4 elyaf takviyeli SSB'de elde edilmiştir. Kontrol numunesi ile kıyaslandığında SSB'de %0.4 oranında elyaf kullanımı yarmada çekme dayanımını %21 oranında arttırmıştır.

8. Yarmada çekme dayanımı deneyi sonuçlarına benzer olarak maksimum eğilme dayanımı %0.4 oranında elyaf içeren numunede 11.03 MPa olarak elde edilmiştir. Kontrol numunesine göre yaklaşık %15'lik bir değer artışı olmuştur.

9. Aşınmaya karşı direncin en yüksek değeri kontrol numunesinde tespit edilmiştir. Elyaf miktarındaki artışa bağlı olarak elyaflar numune içerisinde topaklaşmakta ve bu da boşlukların oluşmasına sebep olmaktadır. Numune içerisinde oluşan bu boşluklar betonun aşınmaya karşı direncini düşürmekte ve toplam hacim kaybını arttırmaktadır.

10. Numune yüzeyindeki elyaflar sürtünmeyi azalttığından kaymaya karşı direncin elyaf miktarı arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir. Elyaf miktarındaki artış SSB'nin kayma direncini azalttığından, elyaf kullanımı SSB'lerin uygulama yerlerini sınırlandırmaktadır. Pandül deneyi sonucunda elde edilen PTV değerleri 36'nın üzerinde olduğu için tüm SSB numunelerinin kayma potansiyeli düşüktür.

KAYNAKLAR

ACI 211.3R-02, 2009. Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete, Reported by ACI Committee 211, 26s.

ACI 325.10R-95, 2001. Report on Roller-Compacted Concrete Pavement, Reported by ACI Committee 325, 32s.

ASTM C39/C39M, 2018. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

ASTM C293, 2016. Standart Test Method for Flexural Strenght of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading).

ASTM C496, 2017. Standart Test Method for Split Tensile Strenght of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standards.

ASTM C1170, 2014. Standart Test Methods for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table.

ASTM C1435, 2014. Standard practice for Molding Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer.

ASTM E303, 2018. Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties the British Pendulum Tester.

BROTMAN, I., CRİST, M., AND GAUL, J., 2007. Roller Compacted Concrete Pavement: Properties, Design, and Construction. (757), 1–10.

CHHORN, C., HONG, S. J., and LEE, S. W., 2017. A study on performance of roller-compa, Annual Book of ASTM Standards cted concrete for pavement. Construction and Building Materials, 153, 535–543.

CHHORN, C., and LEE, S. W., 2017. Consistency control of roller-compacted concrete for pavement. KSCE Journal of Civil Engineering, 21(5), 1757–1763.

CHHORN, C., and LEE, S. W., 2018. Influencing compressive strenght of roller-compacted concrete. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials. Vol. 171, 3–10.

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.

CHOI, B. Y., and GROOM, J. L., 2001. RCC Mix Design – Soils Approach. Journal of Materials in Civil Engineering, 13, 71–76.

HARRINGTON, D., ABDO, F., ADASKA, and W., HAZAREE, C., 2010. Guide for Roller-Compacted Concrete Pavements. Institute for Transportation, Iowa State Univerisity, 104.

HOON, S.S., and WOO, S. L., 2015. A Study on the Gradation Effect of the Property of Roller Compacted Concrete Vol. 17 No. 3, 49–58

KOOHMISHI, M., 2013. Evaluation of Application of Roller Compacted Concrete versus Asphalt Concrete as Pavement Surface Layer for High Traffic Volume Routes. Journal of Basic and Applied Scientific Research, 3(5), 330–335.

LAHUCIK, J., and ROESLER, J.,2015. Low Fines Content Roller-Compacted Concrete. Airfield and Highway Pavements, 441–452.

LAHUCIK, J., DAHAL, S., ROESLER, J., and AMİRKHANİAN, A. N., 2017. Mechanical properties of roller-compacted concrete with macro-fibers. Construction and Building Materials, 135, 440–446.

MADHKHAN, M., AZIZKHANI, R., and TORKİ, M. E., 2011. Roller compacted concrete pavements reinforced with steel and polypropylene fibers. Structural Engineering and Mechanics, 40(2), 149–165.

MARCHAND, J., GAGNE, R., OUELLET, E., and LEPAGE, S., 1997. Mixture Proportioning of Roller-Compacted Concrete: A Review, ACI Special Publication, 171, 457-486,

MODARRES, A., and HOSSEINI, Z., 2014. Mechanical Properties of Roller Compacted Concrete Containing Rice Husk Ash with Original and Recycled Asphalt Pavement Material, Materials and Design, 64, 227–236.

NEOCLEOUS, K., ANGELAKOPOULOS, H., PILAKOUTAS, K., and GUADAGNINI, M., 2011. Fibre-reinforced roller-compacted concrete transport pavements. Proceedimgs of the ICE – Transport, 164, 1–13

NOLAN, P., 2015.Report Number 0130-15/2. Get-a-Grip UK Limited. 1-10

ÖZTÜRK, A., ve YILDIZ, D., 1998, Silindirle Sıkıştırılmış Beton Baraj (RCC) Teknolojisi ve Türkiye'deki Uygulamaları, Türkiye Mühendislik Haberleri, 39–46.

PART 645, 2011. Construction Inspection National Engineering Handbook, Chapter 13: Roller Compacted Concrete. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service, 34s.

ROOHOLAMINI, H., HASSANI, A., and ALIHA, 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.

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, Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi.

TS 2824 EN 1338, 2005. Ek H Aşınmaya Karşı Direncin Böme Deneyi ile Ölçülmesi. Zemin Döşemesi için Beton Kaplama Blokları-Gerekli şartlar ve deney metodları

WANG, C., CHEN, W., HAO, H., ZHANG, S., SONG, R., and WANG, X., 2018. Experimental investigations of dynamic compressive properties of roller compacted concrete (RCC). Construction and Building Materials, 168, 671–682.

WOO, G.C., and WOO, S. L., 2015.Optimum Compaction Test of Roller Compacted Concrete Pavement.International Journal of Highway Engineering. Vol. 17 No. 3, 27–33.

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

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Mehmet Serhat ZEYNEPLİ
Uyruğu :Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi:Şanlıurfa, 12/11/1983
Telefon :0532 546 52 32
e-mail :zeynepli@gmail.com

EĞİTİM

Derece		Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	:	Şanlıurfa Anadolu Lisesi	Haliliye	Şanlıurfa	2001
Üniversite	:	Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	Haliliye	Şanlıurfa	2007

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2008-2009	Açm Mimarlık	İnşaat Mühendisi
2009 -2015	Tuyat Mimarlık	İnşaat Mühendisi
2012-2013	Aykon Elektrik A.Ş	Saha Mühendisi
2017-2018	MBR İnşaat Taahhüt A.Ş	Şantiye Şefi

YABANCI DİLLER

Yıl	Sınav	Puan
2019	YÖKDİL	71.250