

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONDA MAKRO SENTETİK ELYAF KULLANIMININ OPTİMUM SU İÇERİĞİNE VE BETONUN DAYANIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Zeynep ALGIN¹ (ORCID: 0000-0001-7004-8403)*
Kasım MERMERDAŞ¹ (ORCID: 0000-0002-1274-6016)
M. Serhat ZEYNEPLİ¹ (ORCID: 0000-0003-1891-6159)

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye

Geliş / Received: 01.03.2019
Kabul / Accepted: 27.06.2019

ÖZ

Bu çalışmada, makro sentetik elyaf miktarının silindirle sıkıştırılmış betonun (SSB) optimum su içeriğine ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Makro sentetik elyaf beton hacminin %0, %0.2, %0.4 ve %0.6 oranlarında kullanılmış olup her bir karışım dört farklı su içeriğine sahip olacak şekilde toplam on altı SSB karışımı üretilmiştir. Zemin sıkıştırma yöntemi kullanılarak her bir elyaf oranı için SSB'nin maksimum kuru birim ağırlığına karşılık gelen optimum su içeriği belirlenmiştir. Ayrıca, belirlenen optimum su içeriği kullanılarak 4 farklı SSB karışımı daha üretilmiş olup bu karışımların kıvamını belirlemek için modifiye Vebe deneyi yapılmıştır. Elyaf miktarının SSB'nin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemek için basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyi yapılmıştır. Deneysel çalışmanın sonunda, SSB'de makro sentetik elyaf kullanımının karışımın su ihtiyacını artırdığı görülmüştür. Ayrıca makro sentetik elyaf miktarındaki artışın SSB karışımların basınç dayanımını önemli ölçüde etkilemediği ve %0.4 makro sentetik elyaf kullanımının SSB'nin yarmada çekme dayanımında önemli ölçüde artış sağladığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Silindirle sıkıştırılmış beton, makro sentetik elyaf, optimum su içeriği, dayanım

THE EFFECT OF MACRO SYNTHETIC FIBER ON OPTIMUM WATER CONTENT AND STRENGTH PROPERTIES OF ROLLER COMPACTED CONCRETE

ABSTRACT

In this study, the effect of macro synthetic fibre on the optimum water content and the mechanical properties of roller compacted concrete (RCC) was investigated. A total number of sixteen RCC mixtures were produced with four different water content variation and four volumetric fibre levels of 0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%. Soil compaction method was utilised to quantify the optimum water content against the maximum dry unit weight value for each RCC mixtures. Four different RCC mixes of which consistency was evaluated through the modified Vebe test were also produced according to the optimum water content identified. The compressive and splitting tensile strength tests of RCC were conducted in order to examine the effectiveness of fibre amount on the mechanical properties of RCC. The test results reveal that the required water for the adequate compactibility of fibre reinforced RCC increases with the incorporated amount of fibre. This paper underlines that the amount of fibre is not significantly effective on the compressive strength values whereas the maximum tensile strength is observed for 0.4% fibre reinforced RCC.

Keywords: Roller compacted concrete, macro synthetic fiber, optimum water content, strength

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 414 318 30 00/1117; e-mail / e-posta: zyilmaz@harran.edu.tr

1. GİRİŞ

Silindire sıkıştırılmış beton (SSB), genellikle asfalt finişer ile yerleştirilen ve istenen yoğunluğa ulaşmak için geleneksel titreşimli silindireli kompaktörlerle sıkıştırılan, sıfır çökme değerine sahip ve katı-kuru kıvamda bir beton türüdür. SSB, geleneksel betonla benzer dayanım özelliklerine sahiptir ve aynı malzemelerden oluşur, ancak farklı karışım oranlarına sahiptir [1]. SSB aynı dayanıma sahip geleneksel betonlara kıyasla daha düşük çimento içeriğine sahiptir. SSB, iyi derecelenmiş agregası, çimento ve su karışımından oluşur. Fabrikalar, benzin istasyonları, havaalanları ve dinamik yüklere maruz yollar veya trafiğin az olduğu ancak çeşitli sanayi tesislerinde olduğu gibi ağır tonajlı araçlara maruz kalan yollar SSB'nin en önemli ve yaygın kullanım alanlarıdır [2]. SSB hiçbir kalıp, yüzey bitirme, dübel bağlantısı veya donatı gerektirmez. Bu özellikler SSB'yi basit, hızlı ve ekonomik kılar. Günümüzde SSB, her türlü endüstriyel veya ağır hizmet tipi kaplamalar için kullanılmaktadır. Bu beton türü, yapım yönteminin bir sonucu olarak maliyet tasarrufu ve yolun artan yapım hızı gibi bazı avantajlara sahiptir [3,4]. Bu nedenle, son yıllarda özellikle SSB yolların kullanımı giderek daha popüler hale gelmiştir.

SSB'nin mekanik özelliklerinin birçok faktörden etkilendiği araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir [5]. Uygun karışım tasarımı ve sıkıştırma ile SSB karışımlarının daha kuru kıvama sahip olması, aynı çimento içeriğinde geleneksel betondan daha fazla dayanıma sahip olmasını sağlar [6]. Bir SSB karışımının en önemli özelliği su içeriğidir. Bu durum, karışımlardaki agregaların maksimum yoğunluğunu elde etmek için gereken enerji miktarını gösteren karakteristik bir özelliktir [7]. Sıkıştırılmış karışımın yoğunluğu, betonun nihai performansını büyük ölçüde etkileyen önemli bir parametredir. SSB'nin yoğunluğu, öncelikle agreganın yoğunluğuna ve sıkıştırma derecesine bağlıdır [8]. Sıkıştırmanın uygun bir şekilde ve yeterli olarak yapılması çok önemlidir. Adaska [9], sıkıştırma derecesinin basınç dayanımını etkilediğini gözlemlemiştir. Düşük sıkıştırma, beton matrisindeki boşlukları arttırmış, bu da dayanımın azalmasına neden olmuştur. Bu durumun betonun kuru kıvamından kaynaklandığı, bu nedenle SSB'nin sıkıştırılmasının konvansiyonel betondan daha fazla enerji gerektirdiğini, ancak sıkıştırmadaki gecikmelerin basınç dayanımında azalmaya neden olduğu ifade edilmiştir.

Tipik olarak, SSB düz ve donatısız olarak inşa edilir. Sonuç olarak, uygun bir karışım tasarımı göz önüne alındığında, agregası kenetleme mekanizması ile daha fazla yük aktarımı sağlanabilir [4,10]. Bununla birlikte, dayanıklılık, eğilme dayanımı, yük aktarma kapasitesi gibi özelliklerini iyileştirmek için SSB fiberlerle güçlendirilebilir [11-14]. Son zamanlarda, cam, doğal, metal ve sentetik lif gibi farklı tipte liflerle güçlendirilmiş beton üzerinde birçok çalışma yapılmıştır [15-19]. 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 silindire sıkıştırılmış betonunun özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmış olup, makro sentetik elyafların silindire sıkıştırılmış betonda kullanımları ile ilgili sınırlı sayıda araştırma yapılmıştır.

Madhkhani ve ark. [20], farklı miktarda puzolan, çelik ve polipropilen liflerin SSB'nin mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini ele alan bir çalışma yapmıştır. %0.1 oranında polipropilen liflerin kullanılması, 28 ve 90 günlük numunelerin basınç dayanımını artırdığı ifade edilmiştir. %0, %15 ve %30 puzolan içeren karışımlarda basınç dayanımı, sırasıyla %20, %13 ve %27 oranında arttığı rapor edilmiştir. Ancak çelik liflerin basınç dayanımı üzerindeki etkisi polipropilen liflerinden daha fazla olduğu ifade edilmiştir.

Rooholamini ve ark. [21], farklı tipteki liflerin farklı tür betonların mekanik özellikleri üzerindeki etkileri konusunda yapılan son araştırmaları özetlemiştir. Literatürde yapılan bu çalışmalarda farklı basınç dayanımı sonuçlarının elde edilmesinde betonun türü kadar, lifin türü, çap/boy oranı ve hacimsel fraksiyonunun etkili olduğu vurgulanmıştır. Liber ve ark. [22], elyaf miktarının, betonun çekme ve eğilme özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ifade etmiştir. Liber ve ark. [22], polipropilen elyafın düşük hacimsel fraksiyonlarında (%0.2'nin altında), betonun mekanik özelliklerinin önemli ölçüde değişmediğini belirtmişlerdir. Betonun eğilme performansında kayda değer bir iyileşme görebilmek için elyaf oranının en az %0.4 olması gerektiği sonucuna varmışlardır.

Bu çalışmada, makro sentetik elyaf miktarındaki değişimin SSB'nin optimum su içeriği, kıvamı, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla ilk olarak %0, %0.2, %0.4 ve %0.6 makro sentetik elyaf oranlarına sahip her bir karışım dört farklı su içeriğine sahip olacak şekilde toplam on altı SSB karışımı üretilmiştir. SSB'lerin karışım oranları betonun maksimum kuru birim ağırlığı ve su içeriğini temel alan zemin sıkıştırma yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Bunun için %0, %0.2, %0.4 ve %0.6 makro sentetik elyaf içeren SSB karışımların maksimum kuru yoğunluğuna karşılık gelen optimum su içeriği hesaplanmıştır. Belirlenen optimum su içeriği kullanılarak 4 farklı SSB karışımı daha üretilmiş olup, bu karışımların kıvamını belirlemek için modifiye Vebe, mekanik özelliklerini belirlemek için ise basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır.

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONDA MAKRO SENTETİK ELYAF KULLANIMININ OPTİMUM SU İÇERİĞİNE VE BETONUN DAYANIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

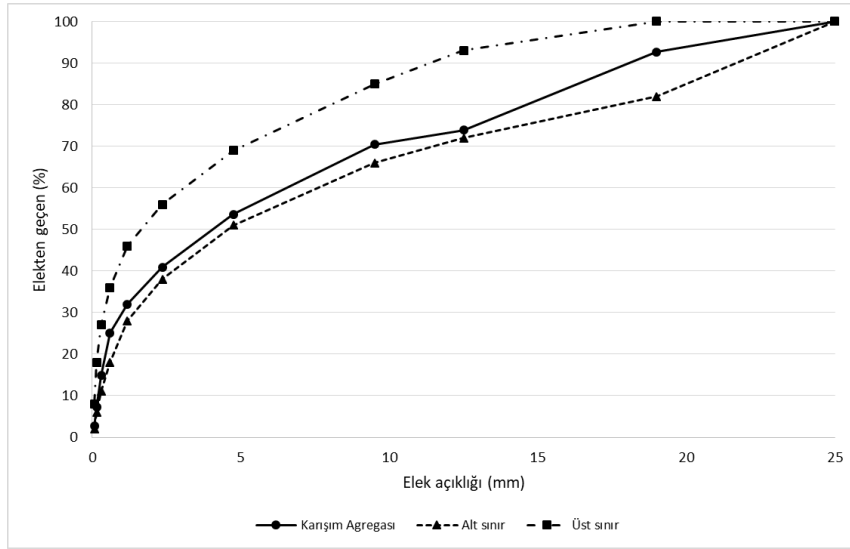
2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada CEM I 52.5N portland çimentosu kullanılmıştır. Tablo 1'de kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Analiz(%)	Portland Çimentosu
CaO	63.28
SiO ₂	18.91
Al ₂ O ₃	5.02
Fe ₂ O ₃	3.12
MgO	1.6
SO ₃	2.42
K ₂ O	0.68
Na ₂ O	0.14
Kızdırma Kaybı	3.93
Özgül Ağırlık	3.17
Blaine İnceliği (cm ² /g)	3430

Agrega tipi ve gradasyonu, SSB'nin karışım tasarımındaki ana faktörlerden biridir. Yapılan pek çok çalışmada agrega tipi ve gradasyonunun, SSB'nin taze ve mekanik özelliklerini etkilediği ifade edilmiştir [1,4,23-25]. Bu çalışmada 25 mm maksimum dane çapına sahip bazalt agrega kullanılmıştır. Kullanılan agregaya ait gradasyon eğrisi Şekil 1'de verilmiştir. Ayrıca Şekil 1'de, Amerikan Beton Enstitüsü komitesi tarafından hazırlanan çökmesi olmayan beton için karışım oranlarının seçimi rehberinde [26], zemin sıkıştırma yöntemine göre oran seçimi başlığı altında SSB yollar için önerilen agrega karışımına ait alt ve üst sınır gradasyon eğrileri verilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan agrega karışımına ait gradasyon eğrisinin, ACI 211.3R-02 [26] rehberinde önerilen sınır gradasyon eğrilerinin arasında kaldığı Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. SSB'de kullanılan agreganın gradasyon eğrisi ve sınır eğrileri

Bu çalışmada SSB karışımlarda Şekil 2'de görülen makro sentetik elyaf kullanılmıştır. Makro sentetik elyafın geometrik ve mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan makro sentetik elyaf

Tablo 2. Çalışmada kullanılan makro sentetik elyafın özellikleri

Ham Madde	% 100 Saf Kopolimer PP/PE
Uzunluk	54 mm
Çekme Gerilmesi	550 - 750 MPa
Elastisite Modülü	5.75 GPa
Fiber Sayısı	220 000 Parça / kg
Yoğunluk	0.91 g/cm ³
Çap	0.677 mm

Bu çalışmada beton hacminin %0, %0.2, %0.4 ve %0.6 oranlarında makro sentetik elyaf 4 farklı su içeriğine sahip olacak şekilde SSB'de kullanılarak toplam on altı adet deneme karışımı üretilmiştir. Tüm SSB karışımlarda çimento miktarı agrega ağırlığının %14'ü olarak sabit tutulmuştur. SSB karışımlar, su içeriği ile maksimum kuru yoğunluk arasında bir ilişki geliştirilerek tasarlanmıştır. Bu yaklaşım özetle, maksimum kuru yoğunluğa ulaşmak için optimum su içeriğinin bir göstergesidir. Ayrıca, bu yaklaşımla SSB karışımı için tahmini bir yoğunluk değeri de elde edilebilir. Bu yöntemde farklı su içeriğine sahip her bir karışım 150x300 mm boyutundaki silindir kalıba kademeli olarak, her kademede 20 sn aşmayacak şekilde darbeli çekiç ile sıkıştırılarak doldurulmuştur. Kalıp içerisindeki betonun ağırlığı belirlendikten sonra Denklem 1'e göre her bir karışımın ıslak birim ağırlıkları (γ_{islak}) hesaplanmıştır. Daha sonra üretilen silindir numunelerden belli bir miktar (m_{islak}) alınarak 105±5 °C'de etüvde 24 saat bekletilmiş ve tartılarak etüv kuru ağırlıkları (m_{kuru}) belirlenmiştir. SSB karışımlarının su içeriği değeri Denklem 2'ye göre hesaplanmıştır. Son olarak her bir karışımın kuru birim ağırlığı (γ_{kuru}) Denklem 3'e göre belirlenmiştir. SSB karışımlarının su içeriği ve kuru birim ağırlıkları tespit edildikten sonra su içeriği-kuru birim ağırlık grafiği çizilerek maksimum kuru birim ağırlığına karşılık gelen optimum su içeriği belirlenmiştir. Üretilen on altı SSB karışımından 3 adet 150x150x150 mm'lik küp numune alınmış ve ASTM C 39 [27] standardına göre 7 günlük numunelerin basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Böylelikle kuru birim ağırlık ve su içeriğindeki değişimin SSB'nin basınç dayanımına etkisi incelenmiştir.

$$\gamma_{islak} = \frac{m}{v} \quad (1)$$

$$w = \left(\frac{m_{islak} - m_{kuru}}{m_{islak}} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$\gamma_{kuru} = \frac{\gamma_{islak}}{1 + w} \quad (3)$$

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONDA MAKRO SENTETİK ELYAF KULLANIMININ OPTİMUM SU İÇERİĞİNE VE BETONUN DAYANIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Optimum su içeriği zemin sıkıştırma yöntemine göre belirlendikten sonra her bir elyaf oranı için SSB karışımlar üretilmiştir. Üretilen SSB karışımlarında kullanılan malzemelerin miktarları Tablo 3’de verilmiştir. SSB karışımlar oluşturulurken makro sentetik elyafın homojen olarak dağılmasını sağlamak için ilk olarak agrega, çimento ve elyaf kuru olarak karıştırılmıştır (Şekil 3). Daha sonra karışım suyu kuru karışıma aşamalı olarak eklenmiş ve homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır. Her bir karışım için çökme deneyi yapılmış olup tüm karışımların çökme değeri sıfır olarak elde edilmiştir (Şekil 4(a)). Silindirle sıkıştırılmış betonların işlenebilirliği ASTM C 1170 standardına göre yapılmış olup bu deneyde kullanılan modifiye Vebe cihazı Şekil 4(b)’de verilmiştir. Bu deneyde yaklaşık olarak 12.5 kg ağırlığındaki taze beton silindir kalıbın içerisine gevşek bir şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra 22.7 kg kütleli bir yük altında sarsılarak yükün uygulanmaya başladığı an kronometre çalıştırılmıştır. Yükün altındaki pleksiglas plaka ile kalıbın iç yüzeyi arasında yüzük şeklinde harç tabakasının oluştuğu durumda kronometre durdurularak geçen süre modifiye Vebe süresi olarak kaydedilmiştir.

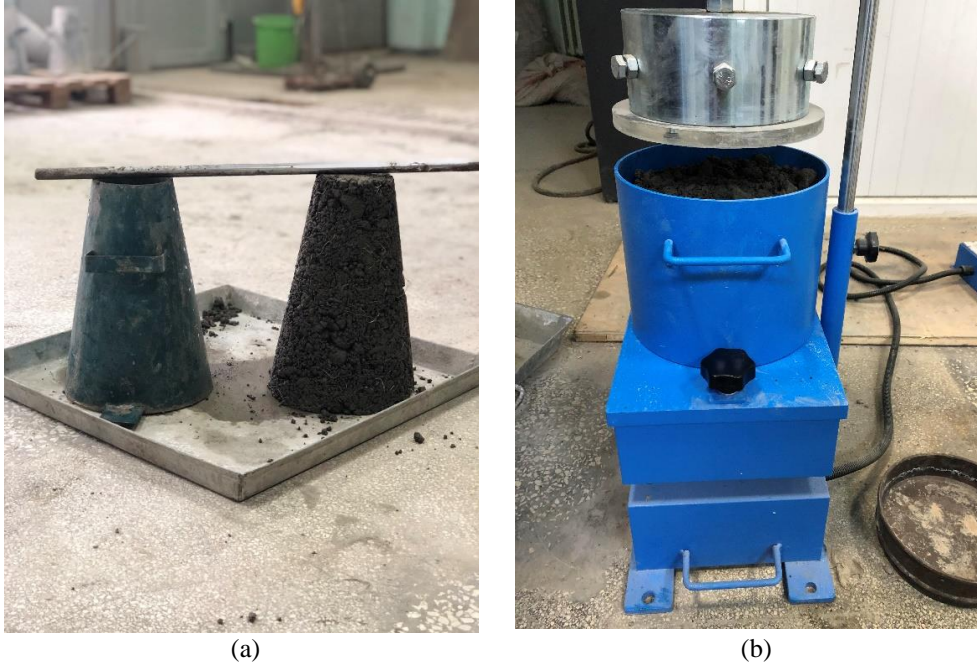
Tablo 3. SSB üretiminde kullanılan malzemelerin miktarları (kg/m³)

SSB Karışımı	Çimento (kg)	Agrega		Makro sentetik 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	294.03	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



Şekil 3. Kuru SSB karışımı

Z. ALGIN, K. MERMERDAŞ, S. ZEYNEPLİ



Şekil 4. (a) Çökme deneyi (b) Modifiye Vebe deneyi

Literatürde SSB'lerin sıkıştırılmasında uygulanabilecek darbeli çekiç, çekiçli vibratör, modifiye proktor, sarsma tablası, hava basınçlı çekiç ve yoğurmalı sıkıştırıcı gibi çeşitli teknikler geliştirildiğinden bahsedilmektedir [28]. Bu çalışmada üretilen SSB numunelerin sıkıştırma işlemi ASTM C 1435 [29] standardına uygun Şekil 5'de görülen darbeli çekiç kullanılarak yapılmıştır. Üretilen numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkartılmış ve deney gününe kadar su kürrü uygulanmıştır. Optimum su içeriğine göre üretilen SSB numuneler üzerinde ASTM C 39 [27] standardına göre basınç dayanımı deneyi ve ASTM C 496 [30] standardına göre yarmada çekme dayanımı deneyi yapılmıştır.

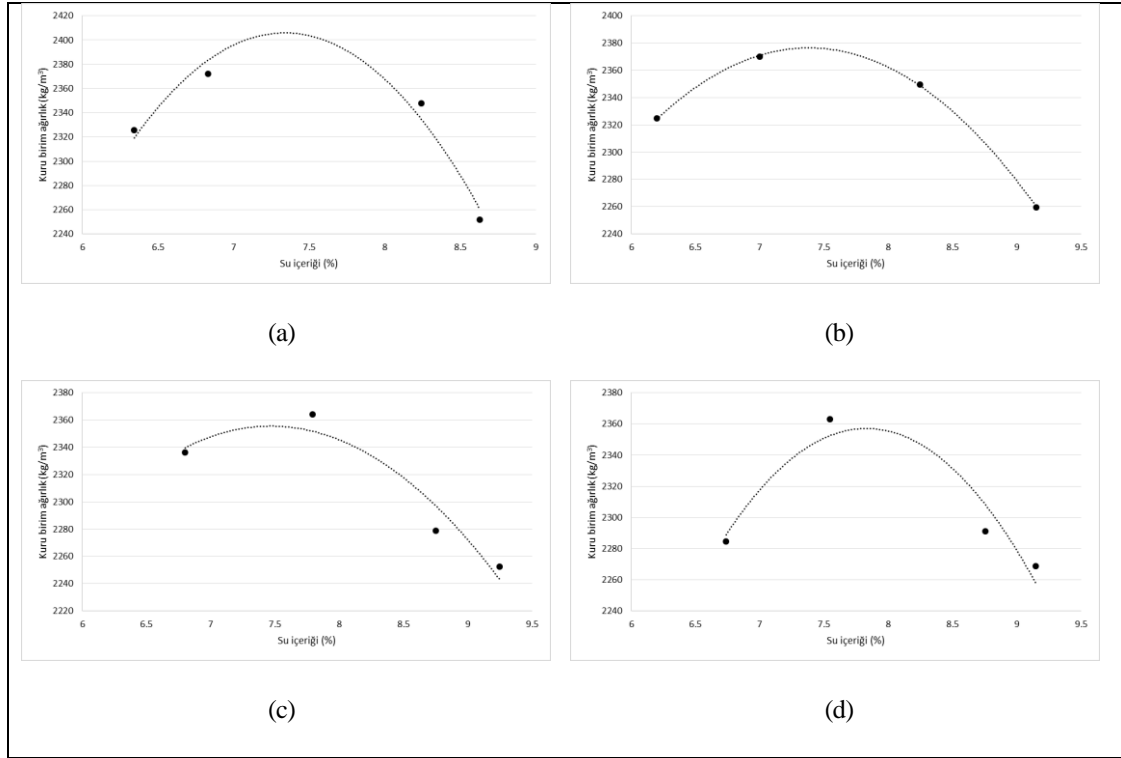


Şekil 5. SSB numunelerinin üretimi

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONDA MAKRO SENTETİK ELYAF KULLANIMININ OPTİMUM SU İÇERİĞİNE VE BETONUN DAYANIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında hazırlanan 4 farklı elyaf oranına sahip SSB karışımların su içeriği ve kuru yoğunluğu arasındaki ilişki Şekil 6’da verilmiştir. Şekildeki her bir değer, üç ölçümün ortalamasını temsil etmektedir. Şekil 6’dan 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 6’dan 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 ($\delta_{k,max}$) değerleri Tablo 4’te verilmiştir. Makro sentetik elyaf kullanılan SSB karışımlar kontrol karışımıyla kıyaslandığında maksimum kuru birim ağırlık değerinin azaldığı ve karışımların su ihtiyacının arttığı görülmektedir.



Şekil 6. (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

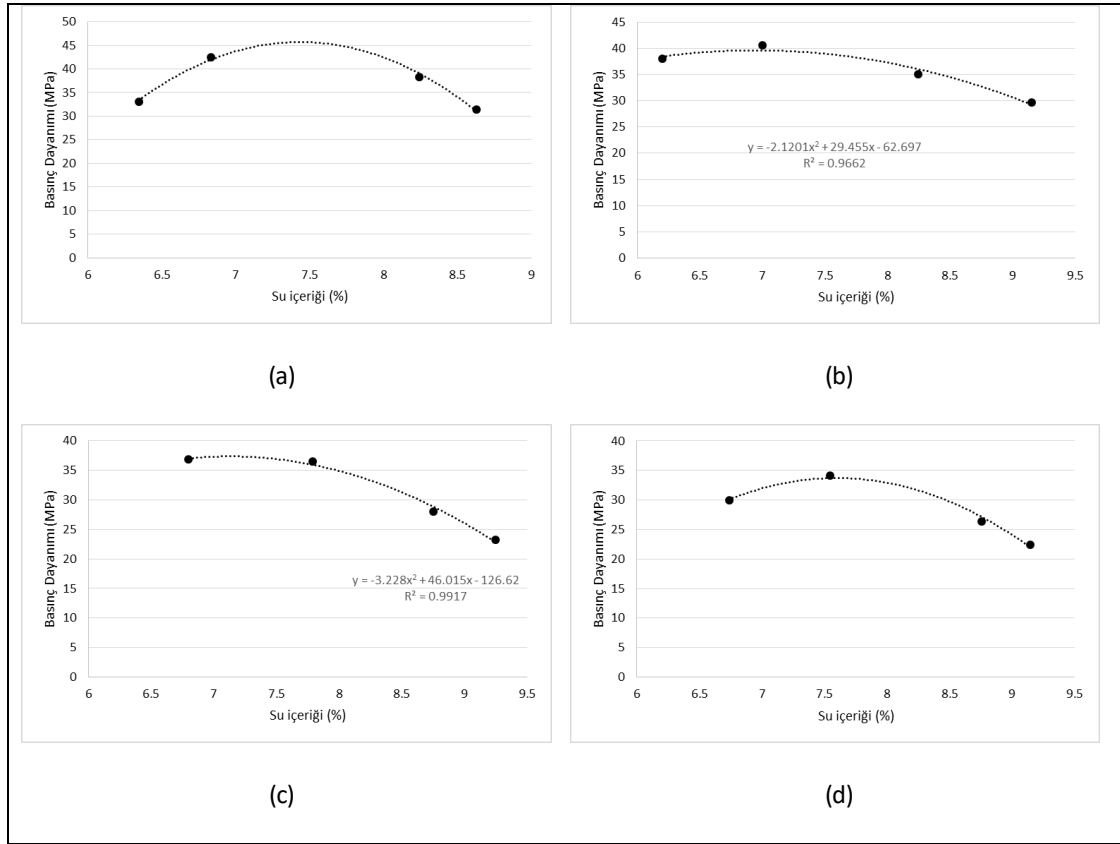
Tablo 4. SSB karışımların su içeriği ve kuru yoğunluğu arasındaki ilişkiden elde edilen regresyon denklemi, optimum su içeriği ve maksimum kuru birim ağırlık değerleri

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 7’de SSB numunelerin basınç dayanımı ile su içeriği arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil 7’den görüldüğü üzere bu çalışmada üretilen 7 günlük küp numunelerin

Z. ALGIN, K. MERMERDAŞ, S. ZEYNEPLİ

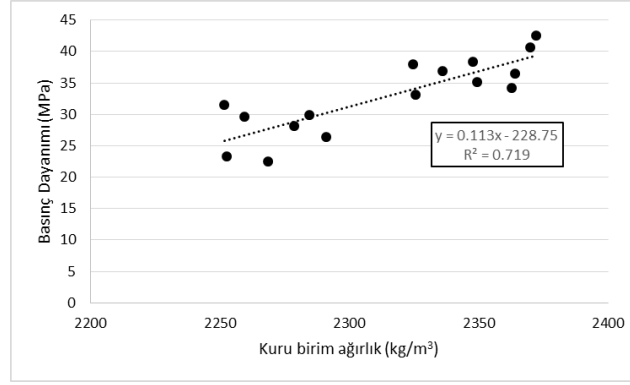
basınç dayanımı yaklaşık olarak 20 ila 45 MPa olarak değişmektedir. Şekil 7'den elyaf katkılı ve katkısız SSB numunelerinin yaklaşık optimum su içeriğine kadar basınç dayanımının arttığı ancak artan su içeriğiyle beraber basınç dayanımının azaldığı görülmektedir. Bu durum, optimum su içeriğinin altındaki değerlerde, çimento hamuru ve agregada 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 [1]. SSB karışımlarda iyi derecelendirilmiş bir agregada 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 [1]. Dolayısıyla her karışım oranı, maksimum kuru yoğunluğa ulaşılan bir optimum su içeriğine sahiptir ve bu yoğunluk çoğunlukla maksimum dayanımı sağlamaktadır [1].



Şekil 7. (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 8'de görülmektedir. SSB'nin basınç dayanımı ile kuru birim ağırlığı arasında doğrusal bir ilişki olduğu açıkça görülmektedir. SSB'nin kuru 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.

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONDA MAKRO SENTETİK ELYAF KULLANIMININ OPTİMUM SU İÇERİĞİNE VE BETONUN DAYANIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ



Şekil 8. SSB karışımların kuru birim ağırlığı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

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 [31]) 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 gerekmektedir olup betonun kıvamı modifiye Vebe cihazı ile belirlenmektedir. Tablo 5'de literatürdeki çalışmalarda ASTM C 1170 [31] standardına uygun titreşimli masa testi ile ölçülen Vebe süresi açısından çeşitli kıvam aralıkları önerilmiştir. ACI 325.10R'ye [4] göre, SSB için uygun Vebe süresi aralığı 30 ila 40 saniye aralığındadır. Marchand ve ark. [32] yol uygulamalarında SSB'nin Vebe süresinin 50 ila 75 saniye arasında olmasının uygulanabilir olduğunu belirtmişlerdir. 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 [33].

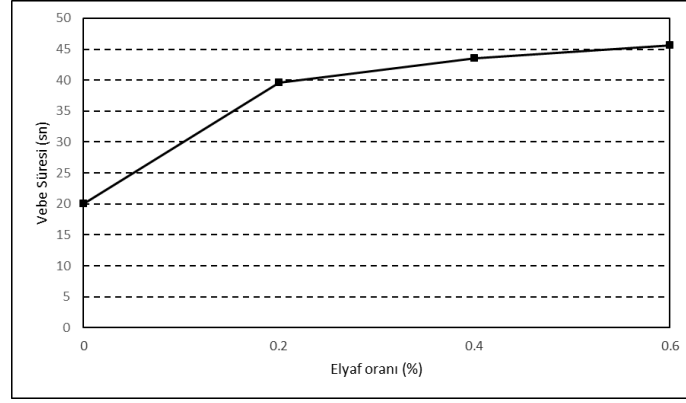
Tablo 5. Literatürde önerilen modifiye Vebe süresi ve optimum su içeriği aralığı [34]

Vebe süresi aralığı	Optimum su içeriği oranı	Referans
---	5 - 8	Harrington et al. (2010) [1]
30 - 40 saniye: uygun, 20 saniye: rolabilite*	4.5 - 6.5	Jofre (1993) [35]
30 - 40 saniye: uygun,	---	ACI 325.10R [4]
50 - 75 saniye: uygulanabilir	---	Marchand et al. (1997)[32]

*Silindir ile sıkıştırılabilirlik

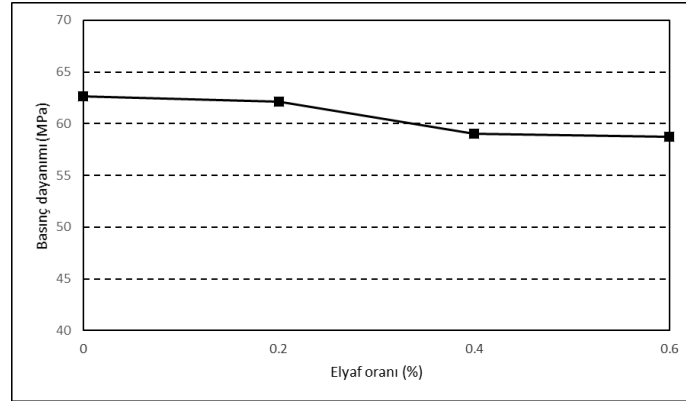
%0, %0.2, %0.4 ve %0.6 oranlarında makro sentetik elyaf kullanılan ve zemin sıkıştırma yöntemine göre Tablo 4'te belirlenen optimum su içeriği değerleri kullanılarak üretilen SSB karışımların kıvamını belirlemek için yapılan modifiye Vebe deneyi sonuçları Şekil 9'da görülmektedir. Bu çalışmada yapılan modifiye Vebe 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 46 sn olarak elde edilmiştir. Şekil 9'da 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.

Z. ALGIN, K. MERMERDAŞ, S. ZEYNEPLİ



Şekil 9. Optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımların elyaf miktarı ile modifiye Vebe süresi arasındaki ilişki

Şekil 10'da optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımların elyaf miktarı ile 28 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 10'dan 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.

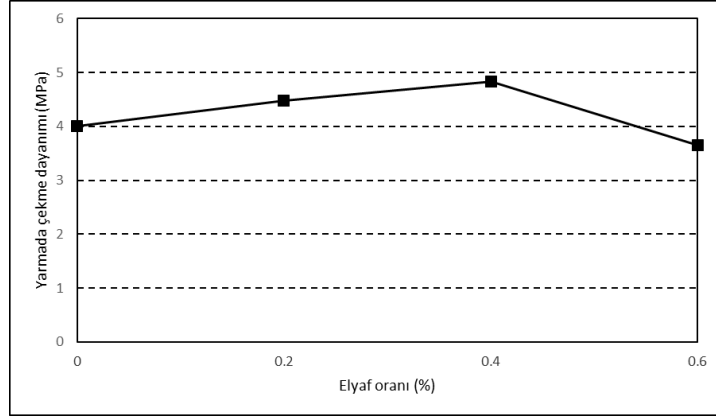


Şekil 10. Optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımların elyaf miktarı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki

Lif takviyesi betonda çatlak ilerlemesini engelleyici bir etkiye sahip olduğundan çevresel etkilere maruz kalan betonların lif ile güçlendirilmesi ile kalıcılık özelliklerinin iyileştirilebileceği ifade edilmektedir [36]. Bu bağlamda, bu çalışmada incelenen betonların basınç dayanımlarında az da olsa düşüş meydana gelmesine rağmen bu betonların kalıcılık açısından performanslarının iyileştiği söylenebilir.

Şekil 11'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 11'den 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.

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONDA MAKRO SENTETİK ELYAF KULLANIMININ OPTİMUM SU İÇERİĞİNE VE BETONUN DAYANIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ



Şekil 11. Optimum su içeriği ile üretilen SSB karışımların elyaf miktarı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki

4. SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- SSB’de maksimum oranda sıkıştırılabilirlik elde edilmesi için gerekli olan su içeriği değerleri, elyaf miktarına bağlı olarak %7.3, %7.4, %7.5 ve %7.8 olarak belirlenmiştir. Elyaf miktarı arttıkça optimum su içeriği değeri artmıştır. Ancak burada sunulan değerlerin bu çalışmada kullanılan agrega ve çimento özelliklerine bağlı oldukları unutulmamalıdır.
- Elyaf takviyesi SSB’nin boşluk yapısını az da olsa olumsuz olarak etkilemiştir. En büyük kuru birim ağırlık ve basınç dayanımı değerleri kontrol betonunda elde edilmiştir. Ancak elyaf takviyesi çatlak tutma mekanizması sayesinde yarmada çekme dayanımı değerinde iyileşmeye sebep olmuştur. En yüksek yarmada çekme dayanımı değeri 4.83 MPa olarak %0.4 elyaf takviyeli SSB’de görülmüştür. Burada kontrol betonunun yarmada çekme dayanımına göre %21 artış gerçekleşmiştir.
- 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.
- Elyaf katkılı betonların Vebe süreleri elyaf miktarına bağlı olarak uzamıştır. En yüksek Vebe süresi yaklaşık 46 saniye olarak %0.6 elyaf içeren SSB’de ölçülmüştür. Buna göre makro sentetik elyaf kullanılan SSB’lerde sıkıştırma işleminin daha hassas yapılması gerektiği sonucuna ulaşılabılır.

TEŞEKKÜR

Bu araştırma, Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (HÜBAK) tarafından 18214 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Bu çalışmada kullanılan makro sentetik elyaf Forta Innovative Construction firmasından temin edilmiş olup, desteklerinden dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] HARRINGTON, D., ABDO, F., ADASKA, W., HAZAREE, C.V., CEYLAN, H., BEKTAS, F., “Guide for Roller-Compacted Concrete Pavements”, National Concrete Pavement Technology Center, 2010.
- [2] DELATTE, N., AMER, N., STOREY, C., “Improved Management of RCC Pavement Technology”, University Transportation Center for Alabama (UTCA), UTCA Report 01231, 2003.
- [3] MODARRES, A., HOSSEINI, Z., “Mechanical Properties of Roller Compacted Concrete Containing Rice Husk Ash with Original and Recycled Asphalt Pavement Material”, Materials and Design, 64, 227–236, 2014.
- [4] ACI 325.10R, “State-of-the-Art Report on Roller Compacted Concrete Pavements”, Technical Report, American Concrete Institute, 1995.

- [5] CHOI, Y.K., GROOM, J.L., “RCC Mix Design-Soils Approach”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 13, 71-76, 2001.
- [6] NAIK, T.R., CHUN, Y.M., KRAUS, R.N., SINGH, S.S., PENNOCK, L.C., RAMME, B.W., “Strength and Durability Roller Compacted HVFA Concrete Pavement”, *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 6, 154-165, 2001.
- [7] GAGNE, R., “Proportioning for Non-air Entrained RCCP”, *American Concrete Institute*; 21, 37-41, 1999.
- [8] FUHRMAN, R.L., “Engineering and Design Roller Compacted Concrete”, *Department of the U.S. Army Corps of Engineers, EM 1110-2-2006*, 2000.
- [9] ADASKA, W.S., *Roller-Compacted Concrete (RCC)*. In J.F. LAMOND, J.H. PIELERT (Eds.), *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-making Materials* (pp. 595-605), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006.
- [10] DELATTE, N. J., *Concrete Pavement Design, Construction, and Performance* (2nd ed.), CRC Press, Boca Raton, FL, 2014.
- [11] KARADELIS, J.N., LIN, Y., “Flexural Strengths and Fibre Efficiency of Steel Fibre-reinforced, Roller-compacted, Polymer Modified Concrete”, *Construction and Building Materials*, 93, 498–505, 2015.
- [12] LIN, Y., KARADELIS, J.N., YI, X., “A New Mix Design Method for Steel Fibre Reinforced, Roller Compacted and Polymer Modified Bonded Concrete Overlays”, *Construction and Building Materials*, 48, 333–341, 2013.
- [13] NEOCLEOUS, K., ANGELAKOPOULOS, H., PILAKOUTAS, K., GUADAGNINI, M., “Fibre-Reinforced Roller-Compacted Concrete Transport Pavements”, *Proceedings of the ICE - Transport*, 164, 97–109, 2011.
- [14] FAKHRI, M., AMOOSOLTANI, E., ALIHA, M.R.M., “Crack Behavior Analysis of Roller Compacted Concrete Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavement and Crumb Rubber”, *Engineering Fracture Mechanics*, 180, 43–59, 2017.
- [15] YIN, S., TULADHAR, R., SHI, F., COMBE, M., COLLISTER, T., SIVAKUGAN, N., “Use of Macro Plastic Fibres in Concrete: A Review”, *Construction and Building Materials*, 93, 180–188, 2015.
- [16] HEIDARI-RARANI, M., ALIHA, M.R.M., SHOKRIEH, M.M., AYATOLLAHI, M.R., “Mechanical Durability of an Optimized Polymer Concrete under Various Thermal Cyclic Loadings—an Experimental Study”, *Construction and Building Materials*, 64, 308–315, 2014.
- [17] RAZMI, A., MIRSAYAR, M.M., “On the Mixed Mode I/II Fracture Properties of Jute Fiber-Reinforced Concrete”, *Construction and Building Materials*, 148, 512–520, 2017.
- [18] KAUSHIK, P., JAIVIR, J., MITTAL, K., “Analysis of Mechanical Properties of Jute Fiber Strengthened Epoxy/Polyester Composites”, *Engineering Solid Mechanics*, 5, 103–112, 2017.
- [19] ALIHA, M.R.M., HEIDARI-RARANI, M., SHOKRIEH, M.M., AYATOLLAHI, M.R., “Experimental Determination of Tensile Strength and KIC of Polymer Concretes Using Semi-Circular Bend (SCB) Specimens”, *Structural Engineering Mechanics*, 43, 823–833, 2012.
- [20] MADHKHAN, M., AZIZKHANI, R., TORKI HARCHEGANI, M.E., “Effects of Pozzolans Together with Steel and Polypropylene Fibers on Mechanical Properties of RCC Pavements”, *Construction and Building Materials*, 26, 102–112, 2012.
- [21] ROOHOLAMINI, H., HASSANI, A., ALIHA, M.R.M., “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, 2018.
- [22] LIBRE, N.A., SHEKARCHI, M., MAHOUTIAN, M., SOROUSHIAN, P., “Mechanical Properties of Hybrid Fiber Reinforced Lightweight Aggregate Concrete Made with Natural Pumice”, *Construction and Building Materials*, 25, 2458–2464, 2011.
- [23] QASRAWI, H.Y., ASI, I.M., WAHHAB, H.I.A., “Proportioning RCCP Mixes under Hot Weather Conditions for a Specified Tensile Strength”, *Cement and Concrete Research*, 35, 267–276, 2005.
- [24] WILLIAMS, S.G., “Comparison of the Superpave Gyrotory and Proctor Compaction Methods for the Design of Roller-Compacted Concrete Pavements”, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2342, 106–112, 2013.
- [25] LAHUCIK, J., ROESLER, J., “Low Fines Content Roller-Compacted Concrete”, *Proceedings of the 2015 International Airfield and Highway Pavements Conference*. Publ. by the ASCE, 441–452, Florida, USA, 2015.
- [26] ACI 211.3R-02, “Guide for Selecting Proportions for No Slump Concrete”, *Technical Report*, American Concrete Institute, 2009.
- [27] ASTM C39, *Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONDA MAKRO SENTETİK ELYAF KULLANIMININ OPTİMUM SU İÇERİĞİNE VE BETONUN DAYANIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

- [28] ŞENGÜN, E., ALAM, B., SEVİN, H.L., AYTAÇ, A.H., YAMAN, İ.Ö., “Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Yolların Saha ve Laboratuvar Mekanik Performansının Karşılaştırılması”, Hazır Beton Kongresi, İstanbul, Türkiye, 2017.
- [29] ASTM C1435, Standard practice for molding roller-compacted concrete in cylinder molds using a vibrating hammer, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- [30] ASTM C496, Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- [31] ASTM C1170, Standard test method for determining consistency and density of roller-compacted concrete using a vibrating table, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- [32] MARCHAND, J., GAGNE, R., OUELLET, E., LEPAGE, S., “Mixture Proportioning of Roller-Compacted Concrete: A Review”, ACI Special Publication, 171, 457-486, 1997.
- [33] 210-VI-NEH (Amend. 46), “National Engineering Handbook, Part 645-Construction Inspection, Chapter 13: Roller Compacted Concrete”, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 1400 Independence Avenue, SW., Washington, 2011.
- [34] CHHORN, C., LEE, S.W., “Consistency Control of Roller-Compacted Concrete for Pavement”, KSCE Journal of Civil Engineering, 21, 1757-1763, 2017.
- [35] JOFRE, C., “The use of Roller Compacted Concrete for Roads”, Permanent International Association of Road Congresses, Spain, 1993.
- [36] BARADAN, B., YAZICI, H., ÜN, H., Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (birinci baskı), Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, Türkiye, 2010.