

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONLARDA TİTREŞİMLİ ÇEKİÇ İLE SIKIŞTIRMA SÜRESİNİN DAYANIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

EFFECT OF COMPACTION TIME WITH VIBRATING HAMMER ON STRENGTH PROPERTIES IN ROLLER COMPACTED CONCRETE

İsmail KILIÇ 

Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırklareli, Türkiye

* Corresponding author: ismail.kilic@klu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 20.01.2022
Kabul Tarihi / Accepted: 24.03.2022

Araştırma Makalesi/Research Article
DOI: 10.38065/euroasiaorg.927

ÖZET

Titreşimli çekiç kullanılarak laboratuvar ortamında silindirle sıkıştırılmış beton (SSB) üretimi araştırma çalışmalarında kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu yöntemde sıkıştırma süresinin SSB örneklerinin dayanım özelliklerini değiştireceği düşünülmüştür. Bu nedenle sıkıştırma süreleri farklı SSB örnekleri üretilerek dayanım açısından ideal olan sıkıştırma süresinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada, karışım tasarımı aynı olan SSB örnekleri 5, 10, 15 ve 20 saniye olmak üzere titreşimli çekiç ile farklı sürelerde sıkıştırılmıştır. Üretilen silindirle sıkıştırılmış beton örnekleri üzerinde sıkıştırılabilme yüzdesi, birim hacim ağırlık, su emme, ultra ses geçiş hızı ve 28 günlük beton basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada, sıkıştırma süresinin artmasıyla birlikte silindirle sıkıştırılmış beton örneklerinde boşluk oranının azaldığı belirlenmiştir. En yüksek dayanım değeri 15 saniye süre ile sıkıştırılan SSB örneğinden elde edilmiştir. Silindirle sıkıştırılmış beton karışım tasarımının ve özellikle kıvamının dayanım açısından ideal sıkıştırma süresini etkileyeceği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Silindirle sıkıştırılmış beton, Sıkıştırılabilme yüzdesi, Sıkıştırma süresi, Dayanım, Titreşimli çekiç

ABSTRACT

Roller compacted concrete (RCC) production in the laboratory using a vibrating hammer is one of the methods used in research studies. In this method, it is thought that the compaction time will change the strength properties of the RCC samples. For this reason, it is aimed to determine the ideal compaction time in terms of strength by producing RCC samples with different compaction times. In the experimental study, RCC samples with the same mixture design were compacted with a vibrating hammer for 5, 10, 15 and 20 seconds at different times. Compactibility percentage, unit weight, water absorption, ultrasonic pulse velocity and 28-day concrete compressive strength tests were carried out on the produced roller compacted concrete samples. In the study, it was determined that the void ratio in the roller compacted concrete samples decreased with the increase of the compaction time. The highest strength value was obtained from the RCC sample, which was compressed for 15 seconds. It has been emphasized that the design of the roller compacted concrete mix and especially its consistency will affect the ideal compaction time in terms of strength.

Keywords: Roller compacted concrete, Compactibility percentage, Compaction time, Strength, Vibrating hammer

1. GİRİŞ

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB), normal beton üretiminde kullanılan bileşenlerden oluşmaktadır (Pourhossein, 2012). Silindirle sıkıştırılmış betonların geleneksel betonlara göre en önemli farkı kıvamı ve içerdiği bağlayıcı miktarıdır (Mardani-Aghabaglou vd., 2020a). Sertleşmemiş halde üzerinden silindirlerin geçmesine imkan veren kuru kıvama sahip bir beton türüdür (Arslan, 2001).

SSB'nin normal betona göre bağlayıcı madde oranının daha az olması, daha az hidrasyon ısısının oluşması, hızlı ve seri üretimi, ekonomik oluşu en önemli farklılıklarıdır (Şimşek, 2009). Genellikle, karayolu, havaalanı pisti ve baraj inşaatlarında tercih edilmektedir. Mimari alanlarda saha betonu olarak kullanılması mümkündür.

Silindirle sıkıştırılmış betonların özellikleri normal betonlarda olduğu gibi su/bağlayıcı oranı, çimento dozajı ve agrega tür ve granülometrisinden etkilenmektedir (Yazıcı, 2008; Kılıç & Savaş, 2021). SSB'de su/çimento oranı 0,30 ile 0,40 arasında olmalıdır (Yaman, 2015). Silindirle sıkıştırılmış betonlar kuru kıvamlı betonlar olup yerleştirmek için sıkıştırılmaya ihtiyaç duyar. Sıkıştırma makinesinin zorlanmaması ve sıkıştırma enerjisinin azaltılabilmesi için bu betonlarda belirli bir kıvamın sağlanması gerekmektedir (Chhorn & Lee, 2017).

Malzemelerin karıştırılmasının başlangıcından sıkıştırılmasının bitimine kadar geçen süre SSB özelliklerini etkileyen parametrelerden biridir (Karimpour, 2010). Sıkıştırma, serme işleminden sonra 10 dakika içerisinde başlamalı ve tesiste karıştırma yapıldıktan itibaren 45 dakika geçmeden bitirilmelidir. SSB taze halde iken kıvamı düşük ve sıfır çökme değerine sahip olmasından dolayı karıştırma ve yerleştirme işlemlerinden sonra çok güçlü sıkıştırma işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. SSB uygulama aşamasında tek veya çift tamburlu ve titreşimli silindirler kullanılarak sıkıştırma uygulaması yapılmaktadır. Söz konusu silindirler yüksek frekanslı ve ağırlığı 10, 15 veya 20 ton olan silindirler kullanılmalıdır (Mardani-Aghabaglou vd., 2020b). İlk sıkıştırma 10 tonluk silindir ile en az dört geçiş ile yapılmalı, daha sonra 20-30 tonluk lastik tekerli silindir ile iki veya daha fazla geçiş ile sıkıştırma işlemi tamamlanmalıdır (Ağar & Taşdemir, 2007).

Yol inşaatı, baraj inşaatı ve saha betonu gibi çeşitli alanlarda silindirle sıkıştırılmış betonun gelişimi nedeniyle araştırmacılar farklı değişkenlerin SSB özellikleri üzerindeki etkisini incelemeye yönelmiştir (Zhang vd., 2018; Algin & Gerginci, 2020; Harrington vd., 2010; Modarres & Hosseini, 2014; Şengün vd., 2017; TÇMB, 2018; Yetim & Yılmaz, 2019; Shen vd., 2020; Hashemi vd., 2020).

Laboratuvar ortamında, SSB üretimi için titreşimli çekiç kullanılmaktadır. Titreşimli çekicinin özellikleri SSB özelliklerini etkilemektedir. Bu nedenle standartlara uygun özelliklere sahip olmalıdır. Titreşimli çekicinin özelliğinin yanında çekiç ile sıkıştırma süresinin de SSB özelliklerini etkileyeceği düşünülerek bu çalışma yapılmıştır. Aynı karışım özelliklerine sahip taze SSB örneklerine titreşimli çekiç ile 5, 10, 15 ve 20 saniye boyunca sıkıştırma işlemi yapılarak küp örnekler üretilmiştir. Üretilen SSB örnekleri üzerinde deneyler yapılarak, amaçlanan ideal sıkıştırma süresi belirlenmiştir. Bu çalışmanın laboratuvarında SSB üreten araştırmacılara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

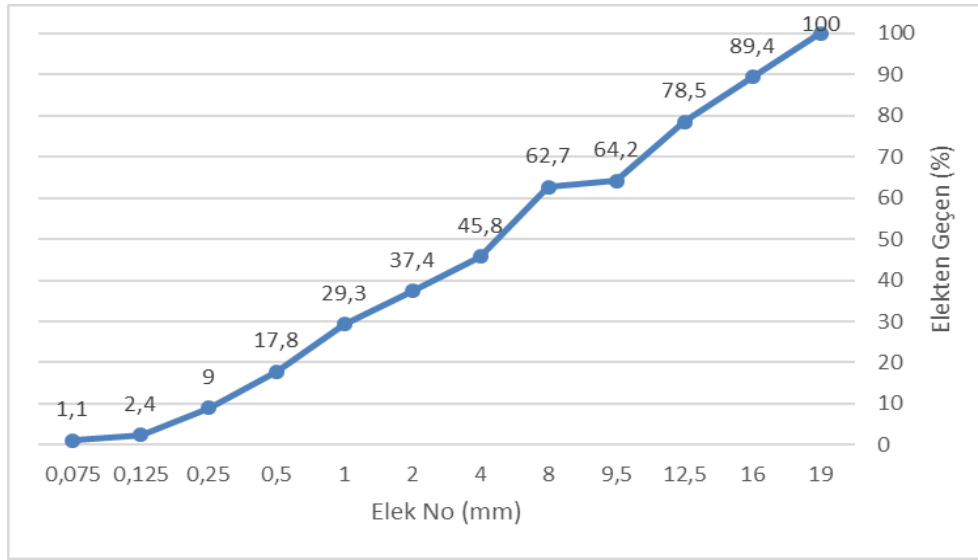
2.1. Malzeme

SSB üretiminde CEM I 42,5 R portland çimentosu, kırmataş II, kırmataş I, taş tozu, doğal kum ve şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Üretimde kullanılan kırmataş II, kırmataş I ve taş tozunun özgül ağırlığı 2,80, kumun özgül ağırlığı 2,75 ve çimentonun özgül ağırlığı ise 3,12'dir. Agregaların elek analizi Çizelge 1'de, karışım agregasının granülometri eğrisi Şekil 1'de ve çimentonun özellikleri ise Çizelge 2'de verilmiştir.

SSB tasarımı yapılırken agregaların yüzey kuru suya doygun durumu dikkate alınmıştır. Su/çimento oranı 0,34 olarak sabit tutulmuştur. Karışım agregası ağırlıkça %20 kırmataş II, %35 kırmataş I, %15 taş tozu ve %30 doğal kumdan oluşmaktadır. Silindirle sıkıştırılmış beton karışımında kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 1. Agregaların elek analizi

Elek No (mm)	Elekten Geçen (%)				
	Kırmataş II	Kırmataş I	Taş Tozu	Doğal Kum	Karışım
19	100	100	100	100	100
16	47,0	100	100	100	89,4
12,5	1,3	95,0	100	100	78,5
9,5	1,2	54,2	100	100	64,2
8	0	50,6	100	100	62,7
4	0	5,0	94,6	99,5	45,8
2	0	0	57,7	95,8	37,4
1	0	0	33,3	81,2	29,3
0,5	0	0	20,5	49,1	17,8
0,25	0	0	14,5	22,9	9,0
0,125	0	0	9,2	3,5	2,4
0,075	0	0	5,5	1,0	1,1
İncelik Modülü					6,62



Şekil 1. Karışım agregasının granülometri eğrisi

Çizelge 2. Çimentonun özellikleri (Sağlam & Kılıç, 2021)

Özellikler	
Özgül Ağırlık	3,12
7 Günlük Dayanım (MPa)	51,7
28 Günlük Dayanım (MPa)	59,3
Priz Başlama (dakika)	210
Priz Bitiş (dakika)	270
Hacim Genleşmesi(mm)	2,0
Özgül Yüzey (cm ² /g)	4185
SiO ₂ (%)	18,57
Al ₂ O ₃ (%)	4,43
F ₂ O ₃ (%)	2,86
CaO (%)	63,55
MgO (%)	0,91
SO ₃ (%)	3,15
Kızdırma Kaybı	4,34

Çizelge 3. SSB karışımında kullanılan malzeme miktarları (1 m³).

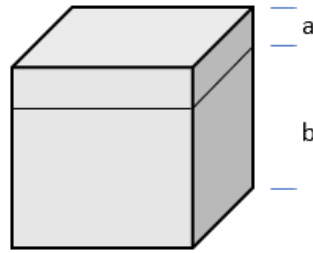
Karışım Kodu	Su (kg)	Çimento (kg)	Kırmataş II (kg)	Kırmataş I (kg)	Taş Tozu (kg)	Doğal Kum (kg)
S5, S10, S15, S20	119	350	430	753	323	634

2.2. Yöntem

Agregaların elek analizi TS EN 933-1(2012), agregaların özgül ağırlıkları TS EN 1097-6 (2013), SSB örneklerinin üretimi ASTM C1435 (2020), su emme yüzdeleri BS EN 772-11 (2011), ultrases geçiş süresi ve hızının tespiti ASTM C597-16 (2016), 28 günlük basınç dayanımının belirlenmesi TS EN 12390-3 (2019) standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Sıkıştırma işleminde titreşimli çekiç kullanılmıştır. Standart küp kalıplara doldurulan taze haldeki beton tek tabaka halinde 5, 10, 15 ve 20 saniye boyunca sıkıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Sıkıştırma süresine göre SSB örnekleri sırasıyla S5, S10, S15 ve S20 olarak kodlanmışlardır. Üretilen örnekler üretimden bir gün sonra kalıptan çıkarılarak kirece doygun kür havuzunda bekletilmiştir. Her bir deney için üçer adet numune test edilerek ortalama değerler alınmıştır.

SSB örneklerinin sıkıştırılabilme yüzdesi hesaplanırken önce 15 cm×15 cm×15 cm boyutlu küp kalıplar en üst seviyesine kadar taze haldeki beton ile doldurulmuş ve tesviye edilmiştir. Tesviyesi yapılan kalıplarda ki beton belirlenen süre boyunca sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma sonunda, kalıbın dört kenarının orta noktalarından içe doğru oluşan mesafe ölçülmüştür (Şekil 2). Küp kalıbın dört noktasından ölçüm yapıldıktan sonra bu değerlerin aritmetik ortalamaları alınmış, belirlenen ortalama değer sıkışma miktarı olarak belirlenmiştir. Denklem (1) yardımıyla, sıkışma miktarı küp kalıbın iç kenar uzunluğuna oranlanarak yüzdesi alınmıştır. Tespit edilen bu değer sıkıştırılabilme yüzdesi olarak adlandırılmıştır. Sıkıştırılabilme yüzdesinin taze haldeki silindire sıkıştırılmış beton örnekleri için ideal kıvamı belirlemek için kullanılabileceği düşünülmüştür. Bu yöntemde, sıkıştırılabilme yüzdesi arttıkça üretilen SSB örneğinin birim ağırlığının artacağı ve bu artışın dayanım değerlerini olumlu yönde etkileyeceği tezine dayanılmıştır.



Şekil 2. Standart küp kalıp üzerinde ölçüm yapılan uzunluklar

$$S = \frac{a \times 100}{(a+b)} \quad (1)$$

S= Sıkıştırılabilme yüzdesi (%)

a= Sıkışma miktarı (mm)

b= Kalıp doldurulup tesviye edildikten sonra sıkıştırılan örneğin yüksekliği (mm)



Şekil 2. Titreşimli çekiç ile sıkıştırma işlemi ve sıkışma miktarının ölçülmesi

Silindire sıkıştırılmış beton örneklerinin su emme yüzdeleri 28 günlük SSB numunelerinde BS EN 772-11 (2011) standardına göre belirlenmiştir. 48 saat boyunca etüvde kurutulmuş ve değişmez ağırlığa gelen örneklerin ağırlıkları kaydedilmiştir. Aynı örnekler 24 saat boyunca suda bekletilmiş ve suya doymuş ağırlıkları da kaydedilmiştir. Bu iki veri üzerinden SSB örneklerinin su emme yüzdeleri hesaplanmıştır.

Ultrases geçiş süresi ve hızı değerlerinin elde edilmesinde Proceq marka Pundit PL-200 ultrasonik test cihazı kullanılmıştır. Bu deneyler için 15 cm×15 cm×15 cm boyutlu 28 günlük küp SSB örnekleri kullanılmıştır. Deney sonuçlarında her bir seriden üçer adet örnek test edilerek ortalama değerleri kullanılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Silindire sıkıştırılmış beton örnekleri üzerinde deneyler yapılmış olup sıkıştırılabilirlik yüzdesi değerleri Çizelge 4'te, birim ağırlık değerleri Çizelge 5'te, su emme yüzdesi değerleri Çizelge 6'da, ultrases geçiş hızı değerleri Çizelge 7'de ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri Çizelge 8'de verilmiştir.

Çizelge 4. Sıkıştırılabilirlik yüzdesi

Karışım kodu	Sıkışma miktarı (mm)	Sıkıştırılabilirlik yüzdesi (%)
S5	1,34	8,93
S10	1,43	9,53
S15	1,48	9,86
S20	1,50	10,00

Çizelge 4 incelendiğinde, S5, S10, S15 ve S20 karışım kodlu SSB örneklerinin sıkıştırılabilirlik yüzdesi değerleri sırasıyla %8,93, %9,53, %9,86 ve %10,00 olduğu görülmektedir. Bu verilere göre SSB örneklerinde sıkıştırma süresi arttıkça sıkışma miktarı ve sıkıştırılabilirlik yüzdesi değerlerinin de arttığını söylemek mümkündür. Sıkıştırılabilirlik yüzdeleri S10 örneğinde S5 örneğine göre %6,7, S15

örneğinde S10 örneğine göre %3,4 ve S20 örneğinde S15 örneğine göre %1,4 oranlarında artış göstermiştir. Sıkıştırma süreleri arttıkça sıkıştırılabilme yüzdesi değerlerindeki artış oranlarında azalma meydana gelmiştir.

Çizelge 5. Birim ağırlık

Karışım kodu	Kuru birim ağırlık (g/cm ³)
S5	2,24
S10	2,27
S15	2,30
S20	2,28

Birim ağırlık değerleri betonu oluşturan bileşenlerden ve betonun porozitesinden etkilenmektedir. Aynı bileşenlerden oluşan betonda boşluk oranı azaldıkça birim ağırlık değeri artmaktadır. Çizelge 5 incelendiğinde SSB örneklerinin üretiminde sıkıştırma süresinin artması beton içerisindeki boşluk miktarını azaltarak birim ağırlık değerlerini artırmıştır. En yüksek kuru birim ağırlık değeri S15 kodlu SSB örneğinde 2,30 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. S20 kodlu betonun sıkıştırma süresinin fazla olmasına rağmen S15 kodlu betona göre birim ağırlık değerinin düşük çıkması ideal sıkıştırma süresinin aşılması durumunda çimento hamurunun karışımdan bir miktar ayrılmış olabileceğini düşündürmüştür. SSB üretim aşamasında çimento hamuru kaybının olması S20 kodlu betonun birim ağırlık değerindeki azalmayı açıklamak için kullanılabilir.

Çizelge 6. Su emme yüzdesi.

Karışım kodu	Su emme (%)
S5	4,50
S10	3,58
S15	3,38
S20	3,37

Çizelge 6 incelendiğinde, sıkıştırma süresi arttıkça SSB örneklerinin su emme yüzdelerinin azaldığı görülmektedir. S5 örneğine göre S10, S15 ve S20 SSB örneklerinin su emme yüzdelerinde sırasıyla %20,4, %24,8 ve %25,1 azalma tespit edilmiştir. Elde edilen bu verilerden SSB örneklerinin üretiminde sıkıştırma süresindeki artışın boşluk oranını azalttığı belirlenmiştir.

Çizelge 7. Ultrases geçiş hızı

Karışım kodu	Ultrases geçiş süresi (µs)	Ultrases geçiş hızı (km/s)
S5	33,6	4,46
S10	32,5	4,61
S15	32,4	4,63
S20	32,2	4,66

Ultrases geçiş hızının ölçülmesi tahribatsız bir deney yöntemidir. Bu deney karışımda kullanılan malzemenin özellikleri, ölçüm yapılan malzemenin nem içeriği, ölçüm yapılan nokta ve sıkıştırma yönü gibi parametrelerden etkilenebilmektedir. Betondaki boşluk miktarı arttıkça, ultrases geçiş hızı

azalmaktadır. Betonun basınç dayanımı da boşluk oranının artmasından olumsuz yönde etkilenmektedir.

Çizelge 7 incelendiğinde, sıkıştırma süresi arttıkça SSB örneklerinin ultrases geçiş hızı değerlerinin arttığı görülmektedir. Buradan, sıkıştırma süresinin artışıyla birlikte SSB örneklerinde boşluk oranının azaldığını söylemek mümkündür.

Çizelge 8. 28 günlük basınç dayanımları

Karışım kodu	Basınç dayanımı (MPa)
S5	55,0
S10	61,9
S15	63,4
S20	61,1

S5, S10, S15 ve S20 karışım kodlu SSB örneklerinin 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde sırasıyla 55 MPa, 61,9 MPa, 63,4 MPa ve 61,1 MPa değerlerini verdikleri görülmektedir. En düşük dayanım değerini veren S5 kodlu SSB örneğine göre kıyaslama yapıldığında, S10 örneğinde %12,5, S15 örneğinde %15,2 ve S20 örneğinde % 11,1 dayanım artışı olduğu belirlenmiştir. Sıkıştırma sürelerine göre SSB örnekleri kendi içerisinde değerlendirildiğinde 5 saniye süreyle sıkıştırılan S5 kodlu örnek en düşük dayanım değerini verirken 15 saniye süreyle sıkıştırılan S15 kodlu örnek en yüksek basınç dayanımı değerini vermiştir. 15 saniyeye kadar sıkıştırma süresinin artmasıyla birlikte dayanım değerlerinde de artış gözlemlenmiştir. 15 saniyeden sonra S20 kodlu 20 saniye sıkıştırılan örneğin dayanım değerinde azalma meydana gelmiştir. Bunun nedeni 20 saniye boyunca sıkıştırma uygulanması durumunda çimento hamurunun bir miktar diğer bileşenlerden ayrılarak kalıp yan yüzeylerinden yukarıya doğru uzaklaşmasıdır. Uzun süreli sıkıştırma çimento hamurunun agregalardan ayrışmasına sebep olmuş ve bu durum S20 kodlu SSB örneğinde dayanım azalmasıyla sonuçlanmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneysel çalışmadan aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- SSB örneklerinde titreşimli çekiç ile sıkıştırma süresinin artmasıyla birlikte sıkıştırılabilirlik yüzdesi ve ultrases geçiş hızı da artmış, su emme yüzdesi ise azalmıştır.
- Kuru birim ağırlık ve basınç dayanımı değerlerinde 15 saniye sıkıştırma süresine kadar artış eğilimi görünürken 20 saniye sıkıştırma süresiyle birlikte bu eğilim azalma yönünde ilerlemiştir.
- En yüksek basınç dayanımı değeri 15 saniye boyunca titreşimli çekiç ile sıkıştırılan S15 kodlu SSB örneğinde 63,4 MPa olarak tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, ideal sıkıştırma süresi 15 saniye olarak belirlenmiştir. Farklı SSB karışım tasarımlarında bu sonucun değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle kıvam farklılığı sıkıştırma süresi tercihinde dikkate alınmalıdır. Farklı kıvamlara sahip SSB örnekleri üzerinde benzer çalışmanın yapılması durumunda daha kapsamlı bir sonuca ulaşılması mümkün olabilir. Ayrıca, sıkıştırılabilirlik yönteminin titreşimli çekiç kullanılarak üretilen SSB örneklerinde kıvam belirlemek için kullanılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Ağar, E. & Taşdemir, Y. (2007). Silindirle sıkıştırılabilen beton yollar, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, Türkiye.

- Algin, Z. & Gerginci, S. (2020). Freeze-thaw resistance and water permeability properties of roller compacted concrete produced with macro synthetic fibre, *Construction and Building Materials*, 117382, 234, 1-9.
- Arslan, M. (2001). *Beton*, Atlas Yayın Dağıtım, 1.baskı, ss. 237, İstanbul, Türkiye.
- ASTM C1435/1435M-20. (2020). Standard practice for molding roller-compacted concrete in cylinder molds using a vibrating hammer, American Society for Testing and Materials, ASTM International, USA.
- ASTM C597-16. (2016). Standard test method for pulse velocity through concrete, American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- BS EN 772-11. (2011). Methods of test for masonry units part 11: Determination of water absorption of aggregate concrete, autoclaved aerated concrete, manufactured stone and natural stone masonry units due to capillary action and the initial rate of water absorption of clay masonry units, British Standards Publ., London, UK.
- Chhorn, C. & Lee, S.W. (2017). Consistency control of roller-compacted concrete for pavement, *KSCE J Civ Eng*, 21, 1757-1763. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-0820-y>
- Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W., Hazaree, C. V., Ceylan, H. & Bektas, F., (2010). Guide for roller-compacted concrete pavements, USA: National Concrete Pavement Technology Center, Institute for Transportation, Iowa State University.
- Hashemi, M., Shafigh, P., Asadi, I., Mahpour, A. & Samadian, A. (2020). The effect of superplasticizer admixture on the engineering characteristics of roller-compacted concrete pavement, *International Journal of Pavement Engineering*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1858483>
- Karimpour, A. (2010). Effect of time span between mixing and compacting on roller compacted concrete (RCC) containing ground granulated blast furnace slag (GGBFS), *Construction and Building Materials*, 24(11), 2079-2083. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.04.054>
- Kılıç, İ. & Savaş, A.O. (2021). Farklı tür agregalarla üretilen silindirle sıkıştırılmış betonların özellikleri, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 9(5), 2012-2022, Doi: 10.29130/dubited.869509
- Mardani-Aghabaglou, A., Bayqra, S.H., Özen, S., Altun, M.G., Faqiri, Z.A. & Ramyar, K. (2020b). Silindirle sıkıştırılmış beton karışımlarının tasarım yöntemleri ve yapılan çalışmalar, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(3), 419-431. doi: 10.5505/pajes.2019.93530
- Mardani-Aghabaglou, A., Bayqra, S.H., Özen, S., Faqiri, Z.A. & Ramyar, K. (2020a). Silindirle sıkıştırılmış beton karışımlarında kullanılan malzemelerin özellikleri, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi (UMAGD)*, 12(1), 61-72. Doi: 10.29137/umagd.569501
- Modarres, A. & 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. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2014.07.072>
- Pourhossein, P. (2012). Yüksek dayanımlı çelik lifli betonarme kiriş ve kolonlarda çatlamlar göz önüne alınarak deplasmanların belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.
- Sağlam, B. & Kılıç, İ. (2021). Silindirle sıkıştırılmış betonlarda maksimum agrega tane çapının dayanım özelliklerine etkisi, *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 7(2), 257-271. Doi: 10.34186/klujes.1017046
- Shen, L., Li, Q., Ge, W. & Xu, S. (2020). The mechanical property and frost resistance of roller compacted concrete by mixing silica fume and limestone powder: Experimental study, *Construction and Building Materials*, 239, 117882. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117882>

Şengün, E., Aykutlu, M. A. & Yaman, İ. Ö. (2017). Silindirle sıkıştırılmış beton yollar üzerine güncel bir tarama - bölüm 1: Özellikleri ve karışım tasarımı, Çimento ve Beton Dünyası, 120, 93-114.

Şimşek, O. (2009). Beton ve beton teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, 4.baskı, Ankara, Türkiye.

TÇMB. (2018). Silindirle sıkıştırılmış beton yollar teknik şartnamesi, Ankara, Türkiye.

TS EN 1097-6. (2013). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 12390-3. (2019). Beton-sertleşmiş beton deneyleri-bölüm 3: Sertleşmiş beton deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 933-1. (2012). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini-eleme yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Yaman, İ.Ö. & Ceylan, H. (2015). Silindirle sıkıştırılmış beton yollar, Türkiye Mühendislik Haberleri, 487, 44-61.

Yazıcı, Ş., 2008, Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB).
<https://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/14954.pdf>

Yetim, E. & Yılmaz, D. (2019). Beton yollar ve silindirle sıkıştırılmış betonun Türkiye'deki yeni uygulama alanı, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/makale---beton-yollar-9-eylul-2019-20191220130448.pdf>

Zhang, W., Zhang, J., Chen, S. & Gong, S. (2018). Degradation of roller-compacted concrete subjected to freeze-thaw cycles and immersion in potassium acetate solution, *Advances in Materials Science and Engineering*. Doi: 10.1155/2018/4282181