

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) YOLLARIN SAHA VE LABORATUVAR MEKANİK PERFORMANSININ KARŞILAŞTIRILMASI*

Emin Şengün¹, B. Alam², Hüseyin Levent Sevin³,
Ahmet Hilmi Aytaç⁴, İsmail Özgür Yaman⁵

Özet

Silindirle sıkıştırılmış Beton (SSB) yollar esnek (asfalt) üstyapı kaplamaları ile benzer serme ve sıkıştırma işlemlerine sahip olmasından ve ayrıca geleneksel beton yollara göre daha hızlı imal edilmesinden dolayı ülkemizde özellikle kent içi yollarda belediyeler ve il özel idareleri tarafından artık önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Ancak bu özel beton türü için saha koşullarını laboratuvar koşullarına tam olarak yansıtabilecek bir sıkıştırma prosedürünün zorluğu sebebi ile sahadan alınan ve laboratuvar ortamında imal edilen numuneler arasında mekanik özellikler bakımından oluşabilecek farklılıkların boyutu önemli bir araştırma konusudur. Bu çalışma kapsamında böyle bir karşılaştırma yapılmak üzere; Bursa Beton AŞ tarafından Bursa'nın Kestel ilçesinde yapılmış olan beton santrali saha içi SSB yol uygulaması için iki farklı çelik tamburlu silindir tonajı (2 ve 10 ton) ve iki farklı en büyük agrega boyutu (12 ve 22 mm) ile oluşturulan SSB sahasından kesilerek alınan kiriş numuneleri ve karotlar ile laboratuvar koşullarında üretilen numuneler ODTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarlarında test edilerek karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre laboratuvar koşullarında üretilen kiriş numunelerinin, sahadan alınan kiriş numunelerinden yaklaşık %20 oranında daha yüksek eğilme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca hem kiriş numunelerinin eğilme dayanımlarında hem de karotların basınç

dayanımlarında maksimum agrega boyutu küçük olan (D_{max} 12 mm) numuneler daha yüksek değerler vermiştir.

1.GİRİŞ

Silindirle sıkıştırılmış betonlar (SSB) sağlamış olduğu hızlı, ekonomik ve sürdürülebilir üstünlükleri sayesinde başta baraj, havaalanı, endüstriyel depo, askeri alan ve yol üstyapı inşaatları olmak üzere birçok alanda her geçen gün biraz daha tercih sebebi olmaktadır. Çimento, agrega ve su gibi geleneksel betonla aynı malzeme içeriğine sahip olmasına rağmen geleneksel betondan farklı olarak SSB'lerde; daha düşük dozajlı çimento (bağlayıcı malzeme) ve daha az su kullanılırken daha iyi tane boyut dağılımına sahip ince ve iri agregalar kullanılmaktadır. Kullanılan agregalar SSB'lerin hacimce yaklaşık %75 ile 85'ini oluşturmaktadır. Bu şekilde geleneksel betonla karışım oranı olarak ayrıldığı en temel nokta içerdiği yüksek oranda ince agrega kullanımıyla daha iyi sıkıştırılması, daha sıkı bir içyapı elde edilmesi ve böylece daha kuru ve katı kıvamlı betonlar olmasıdır [1]. Tüm bu sebeplerden dolayı SSB'ler taze halde iken çökme (slump) değeri göstermez ve isminden de anlaşılacağı üzere taze halde iken silindirleri taşıyabilecek kadar katı kıvama sahip olup, agregaların hamur içerisinde dağılabileceği kadar da yaştır. Genellikle sıkıştırma işlemi için titreşimli çelik tambur ya da lastik tekerlekli silindirler kullanılır. 1970'li yıllardan itibaren titreşimli sıkıştırma ekipmanlarında görülen gelişmelere paralel olarak bu teknoloji başta Kanada ve ABD olmak üzere diğer ülkelerde de

A Comparison of The Mechanical Performance Between Site and Laboratory Prepared Roller Compacted Concrete (RCC) Roads

Because the laying and compacting procedures of Roller Compacted Concrete (RCC) are similar to the ones of flexible pavements (asphalt) especially, and since the production period of RCC is faster than traditional concrete roads, RCC is now considered as an alternative pavement in city roads for Turkey. However, since it is hard to produce RCC in the laboratory using a compacting method that represents the one used at worksite, it is highly important to investigate the differences between those two methods. In this work, specimens taken from a pilot RCC road produced by Bursa Beton AŞ using two different roller compactors (2 and 10 tons) with two different maximum aggregate sizes (12 ve 22 mm) were compared to laboratory made specimens. The tests were carried out in METU Construction Materials Laboratory and revealed that laboratory made specimens have %20 higher flexural strength. Moreover, specimens with smaller maximum aggregate (D_{max} 12 mm) size showed higher compressive and flexural strength.

1) esengun@ybu.edu.tr, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara; 2) balam@metu.edu.tr, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara; 3) hl.sevin@bursabeton.com.tr,

4) a.hilmiaytac@bursabeton.com.tr, Bursa Beton AŞ, Bursa; 5) ioyaman@metu.edu.tr, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara;

(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, 1970'li yıllardan itibaren bu teknolojiyen faydalanılmasına rağmen, henüz tam anlamıyla saha şartlarını laboratuvar koşullarına yansıtabilecek bir sıkıştırma metodolojisi ve karışım oranlaması geliştirilememiştir [2]. Beton tasarım yönteminin (karışım oranlama metodu) belirlenmesinde dünyada en yaygın olarak kullanılan iki farklı yöntem vardır. Bunlar; zemin sıkıştırma yöntemi ve klasik beton karışım yöntemidir. Özellikle, SSB yol uygulamalarında tercih edilen zemin sıkıştırma yöntemi ile yapılan karışım oranlamasının temeli ni, betonun maksimum kuru yoğunluğunu elde etmek için betonun sahip olması gereken en uygun (optimum) su muhtevasının belirlenmesi oluşturmaktadır.

Sahada kullanılan çelik tamburlu sıkıştırıcıların laboratuvar numunelerinin hazırlanmasında kullanımı imkânsız olduğu için özellikle akademik çalışmalarda sahadaki sıkıştırma derecesini ve dayanımı daha gerçekçi verebilecek daha kolay ve daha verimli deney teknikleri denenmiştir. Bunlardan bazıları ise çekiçli vibratör, darbeli çekiç, modifiye proktor, sarsma tablası, hava basınçlı çekiç ve yoğurtmalı sıkıştırıcıdır (gyratory compacter) [3] [4][5]. Ayrıca bunların dışında, gerçek saha koşullarını yansıtabileceği düşünülen sadece çalışmacılara özgü olan özel tasarım ekipmanları da geliştirilmiştir [6][7]. SSB'ler, mekanik özellikleri bakımından geleneksel betonla genellikle benzer sonuçlar vermesine rağmen sahada göstereceği performans büyük ölçüde karışım oranlarına ve sıkıştırma kalitesine bağlıdır [8][9]. Son dönemde yapılan uygulamalara bakıldığında SSB'lerin 28. gün basınç dayanımlarının ortalama 30-40 MPa arasında değiştiği ancak bazı durumlarda yaklaşık 60 MPa'lara kadar çıktığı görül-

müştür [1]. Diğer taraftan SSB kiriş numunelerinin laboratuvar ortamında hazırlanmasının ya da saha koşullarında kesiminin zor olmasından dolayı eğilmede çekme dayanımları ile ilgili bilgiler oldukça kısıtlıdır [ACI, 1995]. Genellikle dayanımların 3,4 MPa ile 6,9 MPa arasında değiştiği belirtilmektedir [1].

Bu çalışma kapsamında Bursa Beton AŞ tarafından Bursa'nın Kestel ilçesinde yapılmış olan hazır beton santrali yatırımı kapsamında santral içi ve dışı SSB yol uygulamasına veri teşkil edebilmesi için bir dizi ön çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sırasında SSB'ler üzerinde yerinden kesilerek kiriş numuneleri elde edilmiştir. Ayrıca, aynı beton karışımı laboratuvar koşullarında da kalıba doldurularak kiriş üretimi yapılmış ve yerinden kesilerek alınan kiriş dayanımlarıyla karşılaştırılmıştır. Diğer taraftan karot numuneleri de alınarak basınç dayanımları incelenmiştir.

2. ÖN ÇALIŞMALAR

Karışım tasarımına karar verilmesi adına bir takım ön denemeler Bursa Beton AŞ tarafından gerçekleştirilmiştir. Ayrıca karışım tasarımı sırasında laboratuvar koşullarında farklı sıkıştırma tekniklerinin numunenin mekanik özelliklerine etkisini görmek için sarsma tablası ve vibratörlü çekiç olmak üzere iki farklı sıkıştırma ekipmanı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen 14 farklı karışım tasarımı ile üretilen SSB numuneleri üzerinde 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ile 100x100x500 mm³lük kiriş numuneleri üzerinde 3, 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları elde edilmiştir (Tablo 1-2).

Tablo 1: Sarsma tablası ile SSB karışım tasarımı denemeleri ve mekanik özellikleri

KARIŞIM NO		1	2	3	4	5	6
CEM I 42.5 R	kg/m ³	300	300	300	300	260	260
UÇUCU KÜL	kg/m ³	0	0	40	40	90	90
SU	kg/m ³	100	100	104	104	98	98
SU/BAĞLAYICI	-	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
0/5 mm kum	kg/m ³	1.043	1.043	911	1.019	1.008	1.008
5/12 mm çakıl	kg/m ³	525	631	714	1.019	711	1.017
12/22 mm çakıl	kg/m ³	527	422	409	0	306	0
ÇÖKME	cm	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2
BASINÇ DAYANIMI (N/mm ²)	1 gün	15,5	14,4	10,9	9,0	6,9	4,2
	3 gün	40,4	43,0	22,2	24,2	15,0	9,9
	7 gün	51,5	45,8	40,3	31,7	15,0	8,9
	28 gün	58,4	54,5	44	37,4	22,8	17,8
SERTLEŞMİŞ BHA	kg/m ³	2.402	2.336	2.345	2.233	2.079	2.111
KİRİŞ EĞİLME DAYANIMI (N/mm ²)	3 gün	-	6,0	5,2	4,1	4,0	-
	7 gün	-	6,6	7,9	5,6	5,4	-
	28 gün	-	8,1	8,8	6,4	4,7	-

Yapılan çalışmalar sonucunda vibratörlü çekiç ile sıkıştırılarak hazırlanan numunelerin aynı karışım oranına sahip sarsma tablası ile hazırlanan numunelere göre daha iyi basınç ve eğilme dayanımı verdiği görülmüştür. Sarsma tablasında yapılan sıkıştırmaların her zaman eş düzeyde olmamasından kaynaklanan birim ağırlık değişimi dayanımların da değişmesine neden olmuştur. Birim ağırlığın düşmesine bağlı olarak dayanımlar da düşmüştür. Sarsma tablasında yeterli bir sıkıştırma gerçekleşmediği için tasarım parametreleri üzerinden bir sonuca gitmek ve tasarımın uygunluğuna karar vermek pek mümkün

değildir. Çimento dozajı, uçucu kül kullanımı, s/b oranı gibi parametrelerin mekanik özelliklere etkisini incelemek için vibratörlü çekiçle yeterince sıkışmış olan karışımlar üzerinden hareket etmek daha gerçekçidir. Vibratörlü çekiç uygulamasında elde edilen birim ağırlıklar geleneksel beton için uygun değerler aralığındadır. Birim ağırlıkta sarsma tablasındaki gibi bir düşüşün yaşanmaması, düşük dayanım elde edilmesinin de önüne geçmiştir. Vibratörlü çekiç uygulaması sonuçlarına göre uçucu kül kullanımının 28 günlük dayanım değerlerinde kayda değer bir değişikliğe yol açmadığı görülmüştür.

Tablo 2: Vibratörlü çekiç ile SSB karışım tasarımı denemeleri ve mekanik özellikleri

KARIŞIM NO		7	8	9	10	11	12	13	14
CEM I 42.5 R	kg/m ³	300	300	300	260	260	260	300	260
UÇUCU KÜL	kg/m ³	0	0	0	90	90	90	0	90
SU	kg/m ³	100	100	100	98	98	98	100	98
SU/BAĞLAYICI	-	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
0/5 mm kum	kg/m ³	1.043	1.043	1.043	1.008	1.008	1.008	1.043	1.008
5/12 mm çakıl	kg/m ³	631	841	1051	609	812	1015	841	812
12/22 mm çakıl	kg/m ³	422	211	0	408	204	0	211	204
ÇÖKME	cm	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2
BASINÇ DAYANIMI (N/mm ²)	1 gün	18,6	19,6	20,4	16,9	16,9	19,1	25,1	21,1
	3 gün	47,8	48,2	49,5	43,5	38,4	47,8	45,0	42,1
	7 gün	55,5	55,0	54,7	51,7	53,4	50,9	51,8	47,1
	28 gün	58,7	59	61,4	61,5	61,2	66,1	57,2	60,5
SERTLEŞMİŞ BHA	kg/m ³	2.507	2.498	2.490	2.466	2.454	2.478	2.496	2.475
KİRİŞ EĞİLME DAYANIMI (N/mm ²)	3 gün	7,7	-	6,7	7,5	-	-	6,9	7,6
	7 gün	7,7	-	8,9	7,6	-	-	-	-
	28 gün	7,9	-	8,4	7,8	-	-	7,4	7,3

3. SAHA UYGULAMASI

Tasarım çalışmalarından elde edilen tecrübeler ışığında saha uygulamasına geçilmiştir. Her biri 30 m x 5 m ebatlarında olan 3 kısımda, en büyük agrega boyutu ve sıkıştırmada kullanılan farklı silindir yüklerinin etkileri incelenmiştir (Tablo 3).

Beton imalatına ön çalışmalardan elde edilen verilerle başlanmasına rağmen saha uygulamasında suyun bir miktar artırılması ihtiyacı doğmuş, dolayısıyla su/bağlayıcı oranı 0,35 olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3: Karışım oranları

		I. KISIM 2 tonluk silindir Dmax: 22	II. KISIM 10 tonluk silindir Dmax: 22	III. KISIM 10 tonluk silindir Dmax: 12
CEM I 42.5 R	kg/m ³	300	300	300
SU	kg/m ³	105	105	105
SU/ BAĞLAYICI	-	0,35	0,35	0,35
0/5 mm kum	kg/m ³	828	828	1.033
	%	40	40	50
5/12 mm çakıl	kg/m ³	828	828	1.033
	%	40	40	50
12/22 mm çakıl	kg/m ³	419	419	-
	%	20	20	-

Alt temel kalınlığı 0/25 mm'lik kırma agregası ile 30 cm, SSB plaka kalınlığı ise 20 cm olarak kararlaştırılmıştır. Tablo 3'te de görüldüğü üzere I. ve II. kısımda en büyük agrega boyutu 22 mm iken, III. kısımda 12 mm'dir. Ayrıca I. kısım 2 ton silindirle sıkıştırılırken II. ve III. kısım 10 tonluk silindirle sıkıştırılmıştır. Tüm kısımlarda çelik tamburlu silindirler sonrasında 25 tonluk lastik tekerlekli silindir uygulaması yapılmıştır.

Tüm kısımlardan 500x100x120 mm³ boyutlu kiriş numuneleri ile 75 mm x 75 mm boyutlu karot numuneleri sahadan kesilerek alınmıştır. Yerinden alınan 500x100x120 mm³ boyutlu 24 adet kiriş ile laboratuvar koşullarında vibratörlü çekiç ile sıkıştırılarak kalıplara yerleştirilen 5 adet 500x100x100 mm³ kiriş numunesi ve karotlar ODTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarına getirilmiştir (Şekil 1-2).



Şekil 1: Sahadan yerinden kesilerek alınan kiriş ve karot numunelerinin bir bölümü



Şekil 2: Vibratörlü çekiçle sıkıştırılan kiriş numuneleri

4. LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI

Kiriş numunelerine, ODTÜ Yapı Malzemeleri Laboratuvarında MTS Landmark 250 kN'luk test cihazında dört noktalı eğilme deneyi yapılmıştır (Şekil 3).

Tablo 4: Eğilme dayanımları

Kiriş Numuneler			Genişlik (mm)	Yükseklik (mm)	Birim ağırlığı (kg/m ³)	Eğilme Dayanımı (MPa)	
7 gün	Sahadan Alınan Numuneler	I. KISIM	Ortalama	101,6	134,5	2.351,0	4,6
			CoV	2,3%	1,8%	1,6%	3,8%
		II. KISIM	Ortalama	101,4	130,4	2.424,2	4,5
			CoV	2,9%	1,0%	1,7%	4,0%
		III. KISIM	Ortalama	101,7	121,1	2379,6	4,8
			CoV	3,0%	6,4%	0,9%	7,0%
	Laboratuvar		Ortalama	101,6	103,6	2.439,3	5,8
			CoV	0,6%	0,3%	0,8%	4,1%
28 gün	Sahadan Alınan Numuneler	I. KISIM	Ortalama	104,3	129,9	2.403,4	4,4
			CoV	3,0%	3,2%	0,7%	4,0%
		II. KISIM	Ortalama	99,6	127,8	2399,3	4,6
			CoV	5,0%	2,2%	0,9%	16,6%
		III. KISIM	Ortalama	98,0	117,7	2.409,0	4,9
			CoV	3,7%	3,5%	2,4%	8,1%
	Laboratuvar		Ortalama	101,2	102,5	2.409,9	5,4
			CoV	0,3%	0,5%	1,8%	4,0%

Tablo 4'te laboratuvar koşullarında vibratörlü çekiçle imal edilen SSB kiriş numunelerinin 7 ve 28. gün ortalama eğilme dayanımlarının, sıkıştırma yönteminden bağımsız olarak sahada kesilen SSB kiriş numunelerinden daha yüksek çıktığı görülmektedir. Ayrıca, III. kısımdan alınan kiriş numuneleri I ve II. kısma göre bir miktar daha yüksek eğilme dayanımı vermiştir.



Şekil 3: Dört noktalı eğilme deneyi

Tablo 5: Karot basınç dayanımları

Karot Numuneler				Birim ağırlığı (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (MPa)
7 gün	Sahadan Alınan Numuneler	I. KISIM	Ortalama	2.386,4	32,7
			CoV	0,4%	17,8%
		II. KISIM	Ortalama	2.353,9	21,7
			CoV	0,9%	9,7%
		III. KISIM	Ortalama	2.360,4	32,4
			CoV	1,1%	7,3%
28 gün	Sahadan Alınan Numuneler	I. KISIM	Ortalama	2.398,2	33,5
			CoV	1,0%	22,9%
		II. KISIM	Ortalama	2.367,2	22,7
			CoV	0,7%	19,2%
		III. KISIM	Ortalama	2.354,4	33,7
			CoV	0,4%	8,9%

Tablo 5'te görüldüğü üzere I. ve III. kısımlardan elde edilen dayanımlar 7 ve 28 gün için benzer iken, II. kısımdan alınan karotların dayanımları düşük çıkmıştır. II kısımda her ne kadar daha yüksek ağırlıkta bir sıkıştırma ekipmanı kullanılmış olsa da, bu ağır ekipman beton yolun kenarlarında herhangi bir kısıtlayıcı engel olmaması nedeni ile betonun sıkıştırılamamasına yol açmıştır. Ancak bu durum III. kısımda herhangi bir olumsuzluğa yol açmamıştır. Buradan da görüleceği üzere beton karışımında kullanılan agrega dağılımı ile kullanılan sıkıştırma teknikleri arasında bir etkileşim söz konusudur ve bu husus araştırma konusudur.

Deneme uygulamalarının ardından elde edilen veri ve tecrübeler neticesinde Bursa Beton AŞ tarafından Bursa'nın Kestel ilçesine yapılan hazır beton santrali yatırımı kapsamında, 60 m uzunluğa ve 10 m genişliğe sahip yeni bir SSB yol uygulaması daha gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). 2 tonluk silindir kullanılması yeterli olacağı anlaşıldığından uygulamada tercih edilmiştir.

5. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Daha az çimento içeriği ile hızlı imalatı sayesinde ekonomik ve sürdürülebilir avantajını 1970'li yıllardan itibaren titreşimli sıkıştırma ekipmanlarında görülen gelişmelere paralel olarak geliştirilen SSB'ler, başta Kanada ve ABD olmak üzere özellikle baraj, havaalanı, endüstriyel depo ve yol üstyapı inşaatları olmak üzere birçok alanda popülerliğini iyice artmıştır. Ancak yaş hâlde çelik tamburlu silindirle sıkıştırılacak kadar katı kuru kıvama sahip SSB'lerin saha şartlarını laboratuvar

koşullarına indirgeyecek ve gerçeğe yakın sonuçlar verebilecek, her kesimce kabul edilebilen bir tasarım metodolojisine ve sıkıştırma ekipmanına ihtiyaç duyması önemli bir araştırma konusu oluşturmaktadır.





Şekil 4: Bursa Beton AŞ Hazır Beton Tesis girişi SSB yol uygulaması (Haziran 2016)

Bursa Beton AŞ tarafından Bursa'nın Kestel ilçesinde yaklaşık 60 m uzunluğa ve 10 m genişliğe sahip yolun SSB ile yapılması ve ayrıca uygulama öncesinde de belli bir takım ön tasarımların ve uygulamaların yapılması SSB hakkında önemli bir veri sağlamıştır.

Ön çalışmalar sırasında aynı içeriğe sahip numunelerden vibratörlü çekiçle sıkıştırılanlar, sarsma tablası ile sıkıştırılanlardan daha iyi basınç ve eğilme dayanımı vermiştir. Sarsma tablasında yeterli bir sıkıştırma gerçekleşmediği için tasarım parametreleri üzerinden bir sonuca gitmek ve tasarımın uygunluğuna karar vermek mümkün görünmemektedir. Çimento dozajı, uçucu kül kullanımı, s/b oranı gibi parametrelerin mekanik özelliklere etkisini incelemek için vibratörlü çekiçle yeterince sıkışmış olan karışımlar üzerinden hareket etmek daha gerçekçidir. Ayrıca ön çalışmalar sonucunda en büyük agrega büyüklüğü değeri küçüldükçe mekanik özelliklerde iyileşmeler olduğu görülmüştür.

Yerinde sahadan alınan kiriş numuneleri ile aynı karışım tasarımı sahip laboratuvar koşullarında vibratörlü çekiçle (el kompaktörü) sıkıştırılan kiriş numuneleri karşılaştırıldığında, laboratuvar koşullarında imal edilen kirişler daha yüksek eğilme dayanımı vermiştir.

Karot basınç dayanım değerlerine bakıldığında 7 günlük ve 28 günlük dayanım değerlerinin birbirine çok yakın olduğu

gözlemlenmiştir. Bu durumun, SSB'nin çok düşük miktarda su içermesi ve sıkışma etkisiyle birlikte hızlı bir hidratasyon sürecine girmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu çalışma özellikle saha davranışı ile laboratuvar koşullarında üretilen SSB'lerin mekanik özelliklerini karşılaştırılması adına oldukça önemlidir. Çünkü SSB'ler üzerine yapılan akademik çalışmalarda en büyük sıkıntılardan birisi gerçek manada sahayı, laboratuvar koşullarına yansıtacak uygun karışım tasarımı ve sıkıştırma metodolojisinin geliştirilememiş olmasıdır. Bu çalışmada sahadan alınan kiriş numunelerinin eğilme dayanımlarının, laboratuvar koşullarında üretilen kiriş numunelerinin eğilme dayanımlarından yaklaşık %20 oranında daha düşük çıkması her koşulda gerçekleşmeyebilir. Sınırlı bir çalışmaya dayanılarak ortaya konulan bu değer araştırmacalara fikir verebilir ancak genelleştirilmesi doğru değildir. Konu üzerinde daha fazla araştırma yapılarak en doğru ilişkinin belirlenmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

- [1] D. Harrington, F. Abdo, W. Adaska, C. V. Hazaree, H. Ceylan, and F. Bektas, "Guide for roller-compacted concrete pavements" 2010.
- [2] P. K. Mehta and P. J. M. Monteiro, "Concrete: microstructure, properties, and materials", vol. 3. McGraw-Hill New York, 2006.
- [3] S. D. Tayabji and D. J. Halpenny, "Thickness Design Of Roller-Compacted Concrete Pavements", *Transp. Res. Rec.*, no. 1136, 1987.
- [4] N. Amer, C. Storey, and N. Delatte, "Roller-compacted concrete mix design procedure with gyratory compactor", *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, no. 1893, pp. 46-52, 2004.
- [5] Y.-K. Choi and J. L. Groom, "RCC Mix Design-Soils Approach", *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 13, no. 1, pp. 71-76, 2001.
- [6] J. Marques, V. A. Paulon, P. J. M. Monteiro, W. Pacelli De Andrade, and D. Dal Molin, "Development of laboratory device to simulate roller-compacted concrete placement", *ACI Mater. J.*, vol. 105, no. 2, pp. 125-130, 2008.
- [7] K. Neocleous, H. Angelakopoulos, K. Pilakoutas, and M. Guadagnini, "Fibre-reinforced roller-compacted concrete transport pavements", *Proc. ICE-Transport*, vol. 164, no. TR2, pp. 97-109, 2011.
- [8] S. D. Tayabji and P. A. Okamoto, "Engineering properties of roller-compacted concrete", no. 1136. 1987.
- [9] S. Williams, "Comparison of the Superpave Gyratory and Proctor Compaction Methods for the Design of Roller-Compacted Concrete Pavements", *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, no. 2342, pp. 106-112, 2013.