

# Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Silindirle Sıkıştırılmış Betonların Özellikleri

## Properties of Roller Compacted Concretes Produced with Fly Ash and Ground Granulated Blast Furnace Slag

Cenk KARAKURT<sup>1\*</sup>, M.Resul PEKTAŞ<sup>1</sup>

**Özet-** Silindirle sıkıştırılmış betonlar (SSB) ülkemizde daha çok baraj yapımında kullanılmakta olup, son yıllarda bazı yerel yönetimler tarafından şehir içi yollarda da kullanılmaya başlanmıştır. SSB düşük su/çimento oranına sahip olup, çökme değeri ise sıfırdır. Bu açıdan bakıldığında yerleştirme öncesinde tıpkı bir zemin malzemesi gibi görünse de sıkıştırma işleminden sonra normal bir beton görünümüne ve özelliklerine sahiptirler. Bu çalışmada ülkemizde yol uygulaması olarak son yıllarda kullanılmaya başlanan SSB'ye farklı oranlarda uçucu kül (UK) ve yüksek fırın cürufu (YFC) katılarak, SSB'nin mekanik ve fiziksel özelliklerindeki etkilerin araştırılması amaçlanmıştır. Bunun için, çimento yerine %10, %20, %30 oranlarında UK ve YFC ikame edilerek hazırlanan SSB numuneleri üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan UK ve YFC katkısının betonun özellikle ileri yaşlarda çekme dayanımına olumlu katkı sağladığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler-** Silindirle sıkıştırılabilen beton, Uçucu kül, Yüksek fırın cürufu, İşlenebilirlik, Dayanım

**Abstract-** In our country the roller compacted concretes (RCC) are generally used for dam construction, however some local governments start to utilize this material in urban road construction. RCC mixtures have lower water/cement ratio with no slump value. According to this behaviour it seems like a soil before placing though, it gains a similar property like traditional concrete after compaction. In this study, it is aimed to investigate the recently used RCC's physical and mechanical properties for road applications which are produced with fly ash (FA) and ground granulated blast furnace slag (GBFS) under different replacement ratios. For this reason, the physical and mechanical tests were carried out on 10 %, 20 % and 30 % FA and GBFS replaced RCC specimens. According to test results, the FA and GBFS additive affected the tensile strength especially for later ages.

**Anahtar Kelimeler-** Roller compacted concrete, Fly ash, Ground granulated blast furnace slag, Workability, Strength

### I. GİRİŞ

Silindirle sıkıştırılabilen beton (SSB), su muhtevası normal betona göre çok az ve neredeyse sıfır çökme değerine sahip kuru kıvamlı bir betondur. Adını uygulama sırasında taze betonun silindirle sıkıştırılmasından almaktadır. Taze halde iken zemin dolgu malzemesini andıran SSB, sıkıştırılıp katılaşmış ise normal beton davranışını sergilemektedir. SSB yaygın olarak rijit yol üst kaplaması ve beton ağırlık barajlarının yapımında kullanılmaktadır [1]. Yol kaplaması uygulamalarında genellikle düşük hızlı ve ağır trafiğe sahip yol kesimlerinde, havaalanı pisti ve taksi yolları gibi dayanım, dayanıklılık ve ekonominin önem taşıdığı yerlerde kullanılmaktadır [2].

SSB yol uygulaması olarak ilk kez 1940'lı yıllarda Washington'da bir havaalanı pistinde kullanılmıştır [3]. SSB yolların ilk modern örneği ise 1970 yılında İspanya'da düşük trafik hacimli bir yol olarak bilinmektedir. 1976 yılında Kanada'da ise ağır trafik hacmine sahip bir yolda uygulanmıştır. 1980 yılından sonra da Fransa, Almanya, Norveç, İsveç, Finlandiya ve Japonya gibi ülkelerde 100.000 m<sup>2</sup>'den fazla SSB yol uygulanması yapılırken, Şili, Uruguay, Meksika ve Güney Afrika gibi ülkelerde de çok az miktarda veya deneme yolu olarak uygulanmıştır [2]. Tablo 1'de Kuzey Amerika'da birçok projede kullanılan karışım oranları ve dayanımları gösterilmiştir [3].

<sup>1\*</sup>Sorumlu yazar iletişim: [cenk.karakurt@bilecik.edu.tr](mailto:cenk.karakurt@bilecik.edu.tr)

<sup>2</sup>İletişim: [mresul.pektas@hotmail.com](mailto:mresul.pektas@hotmail.com)

<sup>1,2</sup>İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

**Tablo 1.** Kuzey Amerika'daki projelere ait SSB karışım oranları ve dayanımları [3].

Refarensler/İnşaat Sahası		Tacoma limanı, WA Intemo dal alanı	CTL Karışımı	Chattanooga, TN	Brownsville, TX	Güney Carolina	Atlanta, GA 1285 Yol Kenarı	Canada PCA RD135
<b>Bağlayıcı (pcy)</b>	Çimento	450	504	300	504	444	500	500 <sub>1</sub>
	Uçucu kül	100	0	150	0	0	0	0
<b>Agregalar</b>	Maksimum agrega boyutu (mm)	15	19	19	19	25	12.5	19
	İri agrega (pcy)	1700	1378	2110	1287	1759	1650	2117
	İnce agrega (pcy)	1700	2106	1657	1762	1658	1650	1349
	No. 200'den geçenler (%)	3-7	2	3.6	2	-	-	-
<b>Su<sub>2</sub> Katkılar (gr)</b>	(kg/m <sup>3</sup> )	257	211	190	236	216	266	160
	Su azaltıcı veya geciktirici	-	-	510	-	-	0	1162
	Hava sürükleyici	-	-	0	-	-	0	1162
<b>Dayanım (MPa)</b>	Basınç, 3 gün	12.48	37.65	35.09 <sub>3</sub>	21.00	24.61	26.66	-
	Basınç, 28 gün	41.71	54.47	42.06	34.10	36.00	35.56	57.70
	Eğilme, 3 gün	3.62	4.76	4.21 <sub>3</sub>	3.40	-	-	-
	Eğilme, 28 gün	5.31	6.21	4.84	4.40	-	-	-

Ülkemizde ise SSB ilk defa 1982–1983 yıllarında Şekil 1'de gösterilen Karakaya Barajı mansap batardosunda kullanılmıştır [4-5]. Daha sonra Suçatı, Çine, Cindere ve Beydağı barajlarında da gövde kısmında kullanılmıştır [6]. Yurtdışında yapılan birçok uygulama sonucunda, SSB'nin birim maliyetinin aynı kesitteki beton veya asfalt kaplamadan daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır [7]. SSB, Türkiye'de yol olarak ilk defa Antalya Büyükşehir Belediyesi tarafından bir proje kapsamında uygulanmıştır [8]. Gerçek anlamdaki ilk SSB yol uygulaması ise Denizli Belediyesi tarafından yapılmış olup, bu uygulamadan sonra yapmış olduğu analizlerin sonucunu da değerlendirerek Belediyenin en çok tercih ettiği kaplama türü olmuştur [9].



**Şekil 1.** Karakaya Barajı

## II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

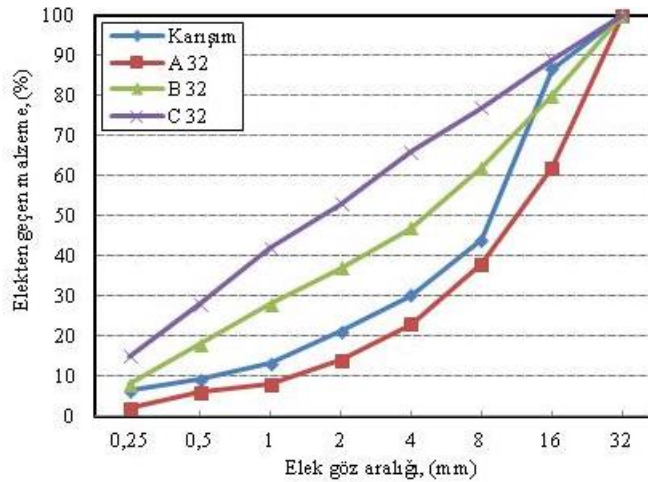
### A. Malzeme

Çalışmada yapılan deneylerde Bilecik Sançim A.Ş. çimento fabrikasından temin edilen TS EN 197-1'e uygun CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır [10]. Karışımda iki tip mineral katkı kullanılmıştır. Bunlardan birisi Bolu Çimento San. A.Ş.' den temin edilen Ereğli Demir-Çelik fabrikası atığı YFC, diğeri de Bilecik Çimsa A.Ş.'den alınan UK'dır. UK, termik santrallerde öğütülmüş kömürün yanmasında elde edilen bir atık olup, en yaygın kullanılan mineral katkıdır [11]. UK, SSB'nin işlenebilirliğini arttırmakta ve karışımın çatlama davranışını önemli derecede etkilemektedir. Bu nedenle sıcak havalarda yol yapımında UK katkılı SSB kullanmak avantaj sağlamaktadır [2]. YFC demir - çelik fabrikalarında üretim atığı olarak ortaya çıkmaktadır. Sıvı bir atık olan YFC üzerine su püskürtülerek hızlı bir şekilde soğutulmasıyla amorf yapılı puzolanik özelliği olan bir malzeme halini alır. YFC'nin çimento inceliğinde öğütülerek betonda ya da çimentoda katkı olarak kullanımı betonun dayanıklılığını arttırmaktadır [12]. Tablo 2'de deney karışımlarında kullanılan bağlayıcı ve mineral katkıların özellikleri verilmiştir.

Tablo 2. Çimento ve mineral katkıların özellikleri

Bileşen (%)	Kimyasal Özellikler			Çimento	
	Çimento	UK	YFC	Fiziksel ve Mekanik Özellikler	
SiO <sub>2</sub>	19.96	51.07	35.09	Özgül Ağırlık, (g/cm <sup>3</sup> )	3.06
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.03	22.65	17.54	Özgül Yüze, (cm <sup>2</sup> /g)	3641
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.88	5.83	0.50	Standart kıvam Su Miktarı, (%)	29.6
CaO	63.6	11.34	37.79	Priz Başlama Süresi, (dk)	190
MgO	1.17	2.48	5.50	Priz Sona Erme Süresi, (dk)	260
K <sub>2</sub> O	0.8	2.40	0.63	Genleşme (Le Chatelier), (mm)	1
Na <sub>2</sub> O	0.27	0.80	0.30	<b>Basınç Dayanımı, (MPa)</b>	
SO <sub>3</sub>	2.79	1.69	1.15	2 Gün	21.6
Cl <sup>-</sup>	0.005	0.004	-	7 Gün	42.7
Kızdırma Kaybı	3.02	1.20	-	28 Gün	61.5

SSB üretiminde 0-5 mm ve 5-12 mm ve 12-22 mm olmak üzere 3 grup kırma taş agregası kullanılmıştır. Kullanılan kırma taş agregaları Bilecik Dağ-İş Madencilik A.Ş.'den temin edilmiştir. Uygun agregası karışım oranları Amerikan Portland Çimento Birliği yönetmeliğine göre %57'si 0-5 mm, %20'si 5-12 mm ve %23'ü ise 12-22mm grubuna ait agregalardan oluşacak şekilde belirlenmiştir [7]. Agregalar üzerinde yapılan elek analizi deneyi sonucunda elde edilen agregası karışım granülometrisi Şekil 2'de verilmiştir. SSB karışımında kullanılan agregası miktarı ise yaklaşık olarak toplam beton hacminin %70'ini oluşturmaktadır. Bu açıdan bakıldığında agregaların taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır [13].



Şekil 2. SSB Agregası Granülometrisi

SSB’de yüksek yoğunluk için karışımda sürekli granülometrilik agregası kullanılması, SSB yüzeyinde düzgünlük için ise ince agreganın ayarlanmasına ve miktarına dikkat edilmesi ve ince agregası miktarının normal betondan biraz daha fazla olması gerektiğini birçok araştırmacı yapmış oldukları çalışmalarda belirtmiştir [1].

### B. Yöntem

Bu çalışmada YFC ve UK’nın SSB üzerindeki fiziksel ve mekanik özelliklerdeki etkilerini belirlemek amaçlanmıştır. Bu amaçla katkısız kontrol karışımı %10, %20, %30 oranlarında UK ve YFC ikameli 7 seri SSB karışımı üretilmiştir. SSB numuneleri basınç dayanımı ve silindirik yarma testi için 150x300 mm’lik silindirik ve eğilme testi için 100x100x500 mm boyutlu dikdörtgen prizma şeklinde üretilmiştir. SSB karışımlarının üretiminde kullanılan malzeme ve karışım oranları Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. 1m<sup>3</sup> SSB’nin betonun karışım oranları

Karışımlar	Çimento (kg)	Agrega (kg)			Su (kg)	YFC-UK (kg)
		0-5 (mm)	5-12 (mm)	12-22 (mm)		
Kontrol	350	1089	383	439	129	-
UK 10	315	1089	383	439	131	35
UK 20	280	1089	383	439	133	70
UK 30	245	1089	383	439	137	105
YFC 10	315	1089	383	439	131	35
YFC 20	280	1089	383	439	137	70
YFC 30	245	1089	383	439	149	105

SSB karışımlarında düşük s/b oranı kullanılmakta olup, bu değer genellikle 0.20 ile 0.40 arasında değişmektedir. SSB karışımları, karıştırma sırasında hamur fazının kütleli saracak kadar ıslak, titreşimli silindirik taşıyacak kadar kuru olmalıdır [14]. Beton karışım suyunun belirlenmesinde Zemin Sıkıştırma Yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, SSB karışımının su muhtevası ile yoğunluğu arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Bu yöntemde Proktor Testi (ASTM D 698) veya Modifiye Proktor Testi (ASTM D 1557) uygulanmaktadır. Her iki yöntemin amacı da optimum su muhtevasına karşılık gelen maksimum kuru yoğunluğu hesaplamaktır [15]. SSB silindirik numunelerinin hazırlanması Modifiye Proktor tokmağı (ASTM D 1557) veya titreşimli tokmak (ASTM C 1435) yöntemleri ile yapılmaktadır [15-16]. Bu çalışmada titreşimli tokmak yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem daha pratik olup, sıkıştırma 10 kg ağırlığında en az 900 W güce sahip ve dakikada en az 2000 darbe uygulayan tokmak ile yapılmaktadır. Matkap ucuna enerjiyi numuneye yayması için özel bastırma plakası kullanılmıştır. Numune kalıba 3 eşit kademede döküldükten sonra 5 ile 15 sn arasında sıkıştırma işlemi uygulanmıştır [16]. Daha sonra SSB numunelerinin taze birim hacim ağırlıkları (BHA) belirlenmiştir. Taze SSB numunelerinin sıkıştırılmasında kullanılan düzenek Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Titreşimli tokmak

Hazırlanan SSB karışımlarının işlenebilirliği beton karışımlarının çok kuru olması nedeniyle çökme deneyiyle belirlenememiş olup bu amaçla dinamik işlenebilirlik deneylerinden Ve-Be ve sıkıştırma faktörü

deneyleri yapılmıştır. Kalıplanan numuneler 1 gün kalıpta bekletildikten sonra kalıptan çıkarılmış ve 23 derecede kirece doygun kür havuzunda deney gününe kadar şartlandırılmıştır. SSB numunelerinin mekanik özellikleri 150x300 mm boyutlarındaki silindir numuneler üzerinde TS EN 12390-3'e göre yapılmıştır [17]. SSB numune üzerine gelen eksenel yükün homojen olarak numuneye etki edebilmesi için alçı başlık uygulaması yapılmıştır. Her bir seri için hazırlanan numuneler 7, 28 ve 90. günler sonunda eksenel basınç deneyine tabi tutulmuştur. SSB numunelerinin çekme dayanımı özellikleri, dolaylı çekme deneylerinden silindir yarma ve kiriş eğilme deneyleriyle belirlenmiştir.

### III. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

#### A. İşlenebilirlik ve Birim Ağırlık Deneyleri

SSB karışımlarının işlenebilirlik özellikleri Ve-Be ve sıkıştırma faktörü deneyleriyle belirlenmiştir. İşlenebilirlik ve BHA deney sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan UK katkı miktarındaki artışa bağlı olarak taze SSB karışımlarının işlenebilirliğinin kontrol numunesine göre iyileştiği görülmüştür. YFC katkılı numunelerde ise işlenebilirliğin olumsuz yönde etkilendiği görülmüştür. Bu davranışların nedeni olarak UK'nın küresel taneli yapısının işlenebilirliği iyileştirmesinin, YFC'de ise inceliğin fazla olması nedeniyle karışımın su gereksiniminin artmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Birim ağırlıkların ise katkı oranlarındaki artışa bağlı olarak azaldıkları görülmüştür. Bunda çimento ile yer değiştirilen katkıların yoğunluklarının çimentoya göre daha düşük olması etkili olmuştur.

Tablo 4. İşlenebilirlik ve birim hacim ağırlık deney sonuçları

Numune Tipi	Taze BA (kg/dm <sup>3</sup> )	Kuru BA (kg/dm <sup>3</sup> )	Ve-Be (sn)	Sıkıştırma Faktörü
Kontrol	2.50	2.51	90	0.83
UK 10	2.48	2.50	69	0.83
UK 20	2.49	2.49	67	0.86
UK 30	2.46	2.47	63	0.83
YFC 10	2.48	2.50	110	0.84
YFC 20	2.49	2.50	105	0.82
YFC 30	2.47	2.48	95	0.80

#### B. Basınç Dayanımı

SSB karışımlarının basınç dayanımı sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Erken yaş dayanımları incelendiğinde katkı oranındaki artışa bağlı olarak UK ve YFC katkılı numunelerin basınç dayanımlarının azaldığı görülmüştür. Bu kayıp YFC katkılı numunelerde daha belirgin olarak gözlenmiştir. İleri yaş dayanımlarında ise 28 günde kontrol numunesine göre UK 20 numunesinin dayanım kaybı % 16 iken 90 günde bu değer puzolanik aktivitenin etkisiyle % 5 seviyesine inmiştir. YFC numunelerinde ise 28 günde dayanım kaybı kontrol numunesine göre YFC 10 numunesinde % 25 olurken 90 günde bu dayanım kaybı % 22 seviyesine gerilemiştir. Bu sonuçlardan UK katkısının puzolanik etkisinin YFC'ye göre daha erken yaşlarda ortaya çıktığı kanısına varılmıştır.

Tablo 5. SSB Basınç Dayanım Sonuçları

Numune Tipi	Basınç Dayanımı, (MPa)		
	7 gün	28 gün	90 gün
Kontrol	35.86	50.65	59.27
UK 10	38.92	44.93	52.98
UK 20	31.44	42.49	56.02
UK 30	29.46	38.20	53.38
YFC 10	35.09	38.11	46.44
YFC 20	30.17	35.41	42.50
YFC 30	24.83	31.82	39.75

Elde ettiğimiz en yüksek SSB basınç dayanımı değerini Kuzey Amerika'daki SSB proje tasarımlarıyla karşılaştırdığımızda, CTL karışımı ve Canada PCA RD135 karışımlarından düşük olmakla beraber Tablo 1'de ifade edilen diğer proje tasarımlarıyla benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür.

### C. Çekme Dayanımı Davranışı

SSB karışımlarının çekme dayanımı silindir yarma ve kiriş eğilme dayanımı ile belirlenmiştir. Deneysel sonuçları Tablo 6’da verilmiştir. Bu sonuçlara göre beton basınç dayanım sonuçlarına benzer bir davranışın çekme dayanımı açısından da olduğu görülmüştür. Eğilme dayanımı deney sonuçlarından YFC katkısının % 20 ikame oranına kadar ileri yaşlarda eğilmede çekme dayanımını iyileştirdiği belirlenmiştir. 90 günlük silindir yarma deney sonuçlarında UK 20 serisi numune yarma dayanımının kontrol serisine göre karşılaştırıldığında % 0,5 oranında daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

**Tablo 6.** Silindir Yarma ve Kiriş Eğilme Deney Sonuçları

Numune Tipi	Yarma Dayanımı, (MPa)			Eğilme Dayanımı, (MPa)		
	7 gün	28 gün	90 gün	7 gün	28 gün	90 gün
Kontrol	4.68	4.91	5.46	5.76	6.54	7.07
UK 10	4.08	4.43	5.16	5.16	6.26	6.34
UK 20	3.77	3.90	5.49	5.01	6.33	6.84
UK 30	3.97	4.22	4.82	5.22	6.17	6.76
YFC 10	3.81	3.54	4.80	6.38	6.61	7.41
YFC 20	3.65	4.84	5.20	6.32	6.46	7.13
YFC 30	3.49	4.18	4.55	5.27	6.14	6.86

Elde edilen eğilme dayanımları Kuzey Amerika’daki tasarımlarla karşılaştırıldığında, daha iyi sonuçlar alındığı görülmektedir.

## IV. SONUÇLAR

UK ve YFC katkılı SSB’lerde yapılan deneysel çalışmalar ışığında aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

- Taze SSB karışımlarının işlenebilirlik özellikleri incelendiğinde UK katkısının YFC katkısına göre daha olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ve-Be süresi UK 30 serisinde 63 sn ile en düşük değer ve sıkıştırma faktöründe de UK 20 serisinde 0,86 oranıyla en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçta UK’nın tane yapısındaki homojenlik ve küresellik etkili olmuştur.
- Basınç dayanımı deney sonuçları değerlendirildiğinde erken yaşlarda UK ve YFC katkısının basınç dayanımlarını azalttığı ancak 90 günden sonra puzolanik etkiyle birlikte özellikle UK katkılı numunelerde kontrol betonuna yakın dayanım değerleri elde edilmiştir. Kontrol betonundan sonra en iyi sonuç UK 20 serisinde elde edilmiştir.
- Dolaylı çekme dayanımı deney sonuçları incelendiğinde UK katkılı karışımların silindir yarma dayanımı deney sonuçlarında özellikle ileri yaşlarda daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. En iyi sonuç UK 20 serisinde elde edilmiştir. Eğilme dayanımı açısından ise YFC katkılı karışımlarda UK katkılı numunelere göre daha yüksek eğilme dayanımı değerleri elde edilmiştir. En iyi sonuç YFC 10 serisinde elde edilmiştir.
- Mekanik özellik deney sonuçları işlenebilirlik deneyleriyle birlikte değerlendirildiğinde en uygun katkı kullanım oranlarının UK için % 20 YFC için ise %10 olduğu sonucuna varılmıştır.
- Yol betonu uygulamalarında kaplama yüzeyinin çeşitli olumsuz çevresel etkiler altında kalacağı düşünüldüğünde, SSB karışımında UK ve YFC kullanımının SSB’nin servis ömrü boyunca göstereceği kalıcılık performansı açısından da olumlu katkısının olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Atış, C. D., 2001, “Uçucu Kül içeren Silindirle Sıkıştırılabilen Betonların Özellikleri”, *Türk J Engin Environ Sci*, 503-515, 2001.
- [2] Açar, E. ve Taşdemir, Y., “Silindirle Sıkıştırılabilen Beton Yollar”, *Türkiye hazır beton birliği*, <http://www.thbb.org/Article.aspx?ID=4>, 2007.

- [3] Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W., Hazaree, C., “Guide for Roller Compacted Concrete Pavements”, *National Concrete Pavement Technology Center, Institute for Transportation, Iowa State University*, 2010.
- [4] Öztürk, A., Yıldız, D., “Silindirle Sıkıştırılmış Beton Baraj Teknolojisi ve Türkiye’deki Uygulamaları”, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye Mühendislik Haberleri*, No. 393, p. 39-46, 1998.
- [5] <http://www.dolsar.com.tr/EN/belge/2-309/karakaya-baraji-ve-hidroelektrik-santrali.html/>, 2015.
- [6] Özcan, S., *Silindirle Sıkıştırılmış Betonun Farklı Yastık Karışımları ile Yapışma Verimliliği*, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2008.
- [7] Adaska, W., “Roller-Compacted Concrete (RCC)”, *PCA Research & Development Information Serial No. 2975*. Skokie, IL: Portland Cement Association, 2006.
- [8] Ecolanes publishable final report., <http://ecolanes.shef.ac.uk/>,2010.
- [9] Yaman, İ. Ö., Ceylan, H., “ Silindirle sıkıştırılmış beton yollar ” *HAZIR BETON*, pp. 69 – 82, Mayıs – Haziran 2013.
- [10] TS EN 197-1, *Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,2002.
- [11] Taşdemir, M. A., “Uçucu Kül Nedir, ACE 2002 Sempozyumu”, *İTÜ İnşaat Fakültesi*, 2002
- [12] Topçu, İ. B., Canbaz, M., “Alkali Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürüflü Harçlarda Donma Çözülme”, *Eskişehir Osmangazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, vol.XXI, S.2, 2008.
- [13] Ragan, S. A., Proportioning RCC Pavement Mixtures, *Roller Compacted Concrete II*, 380-393.
- [14] Tarun R. N., Yoon-Moon, C., Rudolph N. K., Shiw S. S., Lori-Lynn C. P., and Bruce W. R., *Strength and durability of roller compacted hvfa concrete pavements*, Department of Civil Engineering and Mechanics College of Engineering and Applied Science, The University of Wisconsin – Milwaukee, Report No.CBU-2001-08.
- [15] Portland Cement Association (PCA), *Roller Compacted Concrete Density: Principles and Practices*, 2004.
- [16] ASTM C 1435, *Standard Practice For Molding Roller Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer*, Annual Book of ASTM Standards, 1999.
- [17] TS EN 12390-3, *Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.

