

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETONLARDA MAKSİMUM AGREGA TANE ÇAPININ DAYANIM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Berkay SAĞLAM¹  İsmail KILIÇ^{2*} 

¹Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırklareli.

²Kırklareli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırklareli.

Öz

Yapılan çalışmada, maksimum agrega tane çapı (D_{max}) 12,5mm, 16mm ve 22,4mm olacak şekilde 300kg ve 350kg dozajlı silindirle sıkıştırılmış betonlar (SSB) üretilmiştir. Karışımların tamamında, su/çimento oranı 0,34 olarak sabit tutulmuştur. Bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R portland çimentosu kullanılmıştır. Deneylerde, 15cm×15cm×15cm boyutlarında küp ve 10cm×10cm×50cm boyutlarında prizmatik kırış örnekler kullanılmıştır. Üretilen SSB örnekleri üzerinde birim hacim ağırlık, su emme, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Maksimum agrega tane çapları farklı karışımlardan üretilen SSB örneklerinin özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen verilerden, silindirle sıkıştırılmış betonlarda maksimum agrega tane çapının dayanım özelliklerine etkisi tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silindirle sıkıştırılmış beton, Agrega tane çapı, Agrega boyutu, Dayanım

EFFECT OF MAXIMUM AGGREGATE GRAIN DIAMETER ON STRENGTH PROPERTIES IN ROLLER COMPACTED CONCRETES

Abstract

In the study, roller compacted concrete (RCC) with a dosage of 300kg and 350kg was produced with a maximum aggregate grain diameter (D_{max}) of 12.5 mm, 16 mm and 22.4 mm. In all the mixtures, the water/cement ratio was kept constant as 0.34. CEM I 42.5 R portland cement was used as binder. In these experiments, cube samples of 15 cm×15 cm×15 cm and prismatic beam samples of 10 cm×10 cm×50 cm were used. Unit weight, water absorption, ultrasound transmission velocity, compressive strength and bending strength tests were performed on the produced RCC samples. The properties of RCC samples produced from mixtures with different maximum aggregate grain diameters were researched. From the obtained data, the effect of maximum aggregate grain diameter on the strength properties of roller compacted concretes was determined.

Keywords: Roller compacted concrete, Aggregate grain diameter, Aggregate size, Strength

Sorumlu Yazar: İsmail KILIÇ, ismail.kilic@klu.edu.tr

1. Giriş

Beton, birçok alanda kullanılan en önemli yapı malzemelerinden bir tanesidir [1]. Beton üretiminde kullanılan agrega ve çimento gibi malzemeleri yerel koşullarda bile temin etmek mümkündür [2]. Betonun kullanım özelliklerinin araştırılmasında birincil olarak bakılması gereken parametreler betonun mekanik özellikleridir [3]. Basınç dayanımı betonda aranılan en önemli özelliktir. Beton basınç dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden biri agrega özellikleridir [4, 5]. Beton basınç dayanımını artırabilmek için öncelikle beton içerisindeki boşluk miktarını en aza indirmek gerekmektedir [6, 7].

Silindirle sıkıştırılmış beton (SSB), normal beton ile aynı bileşenlerden oluşmaktadır [8]. Sertleşmemiş halde, üzerinden silindirlerin geçmesine imkan verecek şekilde, kuru kıvama sahiptir [9]. SSB’de su/çimento oranı 0,30 ile 0,40 arasında olmalıdır [10]. Genellikle, karayolu, havaalanı pisti ve baraj inşaatlarında tercih edilmektedir. SSB’nin normal betona göre bağlayıcı madde oranının daha az olması, daha az hidratasyon ısısının oluşması, karayolu ekipmanları ile serilip sıkıştırılabilmesi, hızlı ve seri üretimi, çok daha hızlı kullanıma açılması, ekonomik oluşu en önemli farklılıklarıdır [11, 12].

SSB üretimi yapılmadan önce agrega granülometrisi ve maksimum agrega tane çapı seçimine dikkat edilmelidir [13]. Agrega, betonda iskelet görevi üstlenmiştir [14]. Diğer beton çeşitlerinde olduğu gibi SSB’nin ekonomik oluşunu ve kalitesini belirlemedeki en önemli etkenlerden biri doğru agreganın seçilmesidir. SSB ve geleneksel betonlardaki agregalar arasında en önemli farklardan biri agrega granülometrisidir [10]. SSB’de kullanılan agrega hacimsel olarak %85’den fazla olduğu için agreganın özellikleri SSB’nin özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle uygun granülometride agrega seçimi yapılması gerekmektedir. SSB’de maksimum agrega tane çapı ve kum içeriği gibi özellikler geleneksel betona göre bazı farklılıklar göstermektedir. Agrega granülometrisi SSB’nin sıkışabilme özelliğini etkilemektedir [15]. Ayrışma olmaması, karıştırmayı kolaylaştırmak ve yüzey düzgünlüğünü oluşturmak amacıyla dane boyutu yüksek seçilmemelidir [16].

SSB karışımlarını sıkıştırma işlemi sırasında maksimum yoğunlukta olması için taneler arasındaki boşlukların yeterli miktarda hamur ile doldurulması gerekmektedir [17]. Betonun harç ihtiyacını agrega boşluk hacmi ve tane şekli belirlemektedir. Geleneksel betonda olduğu gibi maksimum

agrega tane çapı arttıkça agrega boşluk oranı azalır ve gerekli olan harç miktarı da azalmış olur [15]. SSB üretiminde doğru agrega granülometrisi ile çimento dozajını azaltmak ve işlenebilirliği iyileştirmek mümkündür [18].

Yapılmış olan çalışmalarda, yıkanmamış agrega SSB üretiminde başarıyla kullanılmıştır [15]. Ayrıca SSB üretiminde geri dönüştürülmüş agregaların kullanılabilmesi araştırıcılar tarafından tespit edilmiştir [19, 20].

Beton bileşiminde kullanılan malzemeler arasında en büyük hacmi agregalar oluşturmaktadır. Agregaların özellikleri betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, yapılan çalışmada maksimum agrega tane çapının (D_{max}), SSB üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Karışımlarda 3 farklı D_{max} kullanılmış, 300kg ve 350kg dozajlı SSB örnekleri üretilmiştir. Sıkıştırma ile yapılan üretim sonucu dayanım açısından en iyi sonuçları veren ve en iyi agrega granülometrisini sağlayan maksimum agrega tane çapı belirlenmiştir. Yapılacak olan sonraki çalışmaların maksimum agrega tane çapı seçimine katkı sunulması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada, bağlayıcı olarak Traçim CEM I 42,5 R portland çimentosu kullanılmıştır. Tablo 1’de çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri verilmiştir. Karma suyu olarak şebeke suyu, agrega olarak ise dolomit kökenli kırmataş II, kırmataş I, kırmataş tozu ve doğal kum kullanılmıştır. Karışımda kullanılan agregaların ve karışım agregalarının elek analizi değerleri Tablo 2’de, granülometri eğrileri ise Şekil 1’de verilmiştir.

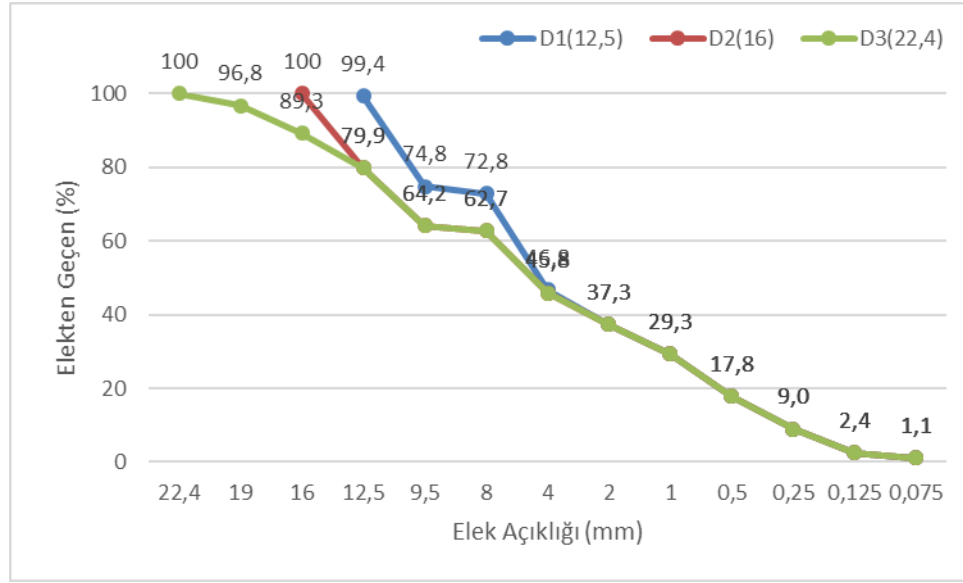
Tablo 1. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri [21]

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

Agregalar, %55 iri ve %45 ince olacak şekilde karışım tasarımı yapılmıştır. Kendi içerisinde %20 kırmataş II, %35 kırmataş I, %15 kırmataş tozu ve %30 doğal kum olacak şekilde karıştırılarak agrega granülometrisi ele edilmiştir. Tablo 3’de 1m^3 silindirle sıkıştırılmış beton için gerekli olan bileşenlerin miktarları verilmiştir.

Tablo 2. SSB üretiminde kullanılan agregaların ve karışım agregalarının elek analizi değerleri

Elek No (mm)	Elekten Geçen (%)						
	Kırmataş II	Kırmataş I	Kırmataş Tozu	Doğal Kum	Karışım		
					D1(12,5)	D2(16)	D3(22,4)
22,4	100	100	100	100	100	100	100
19	84,11	100	100	100	100	100	96,8
16	46,85	100	100	100	100	100	89,3
12,5	1,3	99,08	100	100	99,4	79,9	79,9
9,5	1,2	54,24	100	100	74,8	64,2	64,2
8	0	50,58	100	100	72,8	62,7	62,7
4	0	5,02	94,64	99,56	46,8	45,8	45,8
2	0	0	57,71	95,79	37,3	37,3	37,3
1	0	0	33,36	81,22	29,3	29,3	29,3
0,5	0	0	20,49	49,09	17,8	17,8	17,8
0,25	0	0	14,54	22,95	9,0	9,0	9,0
0,125	0	0	9,24	3,53	2,4	2,4	2,4
0,075	0	0	5,52	1,02	1,1	1,1	1,1
İncelik Modülü					6,09	6,50	6,64



Şekil 1. Karışım agregalarının granülometri eğrileri

Maksimum agrega tane çapı 12,5mm, 16mm ve 22,4mm olan karışımlar, sırasıyla D1, D2 ve D3 olarak kodlanmışlardır. 300kg dozajlı SSB örneklerine D11, D21 ve D31 kodları, 350kg dozajlı SSB örneklerine ise D12, D22 ve D32 kodları verilmiştir.

Tablo 3. 1m³ silindirle sıkıştırılmış beton için karışım miktarları

Karışım Kodu	Dmax (mm)	Su (kg)	Çimento (kg)	Kırmataş II (kg)	Kırmataş I (kg)	Taş Tozu (kg)	Doğal Kum (kg)
D11	12,5	102	300	-	1234	337	661
D21	16	102	300	449	785	337	661
D31	22,4	102	300	449	785	337	661
D12	12,5	119	350	-	1183	323	634
D22	16	119	350	430	753	323	634
D32	22,4	119	350	430	753	323	634

Yapılan karışım hesaplarında kıvamın kuru ve çökmenin sıfır olması için su/çimento oranı 0,34 olarak belirlenmiştir. SSB karışımında kullanılan bileşenler laboratuvar tipi mikserde karıştırılmış, üretim öncesinde betonun kıvam kontrolü yapılmıştır. ASTM C 1435/C1435M-20 [22] standardına göre silindirle sıkıştırılmış beton örnekleri üretilmiştir. Kalıplara doldurulan taze beton örnekleri kalıp üst hizasında tesviye edildikten sonra tek tabaka halinde ve 15 saniye boyunca titreşimli çekiç ile sıkıştırılmıştır (Şekil 2). Sıkıştırma işlemi sonrası kalıpta meydana gelen boşluk

SSB ile doldurulmuş ve tekrar sıkıştırma işlemi yapılarak kalıp boyutuna uygun SSB örnekleri üretilmiştir. Deneyler için 15cmx15cmx15cm boyutlarında 54 adet küp ve 10cmx10cmx50cm boyutlarında 18 adet prizmatik kiriş SSB örnekleri üretilmiştir (Şekil 3). Üretilen örnekler bir gün sonra kalıptan çıkarılarak deney günlerine kadar kür havuzunda 20-21°C sıcaklığında kirece doymun suda bekletilmiştir.



Şekil 2. SSB'nin mikserde üretimi ve titreşimli çekiç ile sıkıştırılması



Şekil 3. Küp ve prizmatik kiriş SSB örnekleri

SSB örneklerinin üretimi ve deneyler için Kırklareli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarı kullanılmıştır. Agregada özgül ağırlık ve su emme oranı tayini TS EN 1097-6 [23], agrega parçalanma direnci tayini TS EN 1097-2 [24], elek analizi TS EN 933-1[25], taze beton birim hacim ağırlık TS EN 12350-6 [26], basınç dayanımı TS EN 12390-3[27], eğilme dayanımı TS EN 12390-5 [28], ultrases geçiş hızı ASTM C 597-09 [29] standartlarına göre yapılmıştır. Ultrases geçiş hızının belirlenmesi için yapılan deneylerde Proceq marka Pundit PL-200 ultrasonik test cihazı kullanılmıştır. Ultrases geçiş hızı tespiti için dalga boyu 68,5mm olan 54kHz P dalgası duyargaları kullanılmıştır. Dalga boylarının hesaplanmasında 3700m/s'lik boyuna dalga darbe hızı kullanılmıştır. Ultrases geçiş hızı, basınç ve eğilme dayanımı deneylerine ait görüntüler Şekil 4'te verilmiştir.

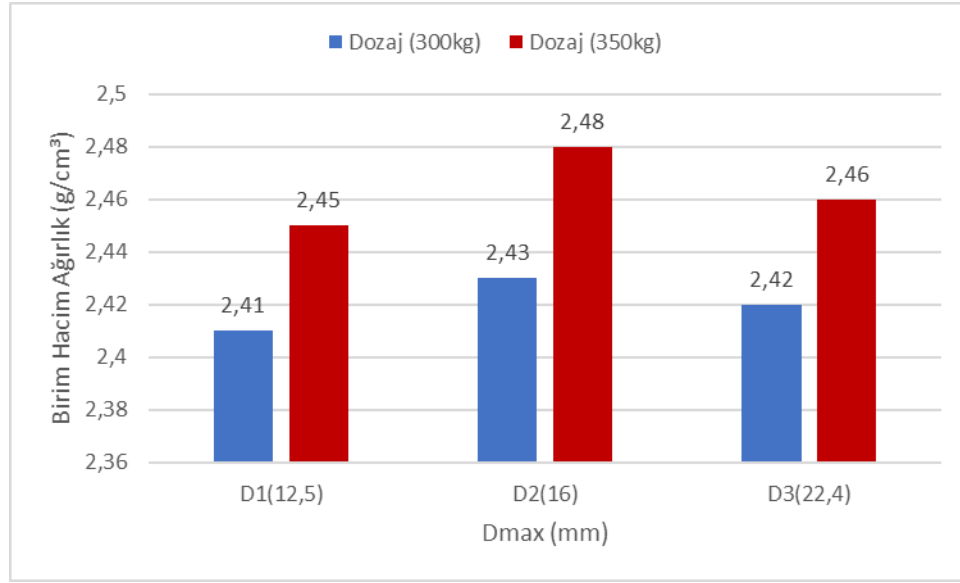


Şekil 4. Ultrases geçiş hızı, basınç ve eğilme dayanımı deney görüntüleri

3. Bulgular

SSB üretiminde kullanılan agregalardan kırmataş II, kırmataş I ve taş tozunun özgül ağırlıkları 2,80 doğal kumun ise 2,75 olarak bulunmuştur. Agregalar üzerinde Los Angeles parçalanma direnci tayini yapılmış, LA katsayısı 18,37 olarak belirlenmiştir. Yol kaplamalarında kullanılacak agregalarda LA değeri 30'un altında olması gerektiğinden, bu koşul sağlanmıştır.

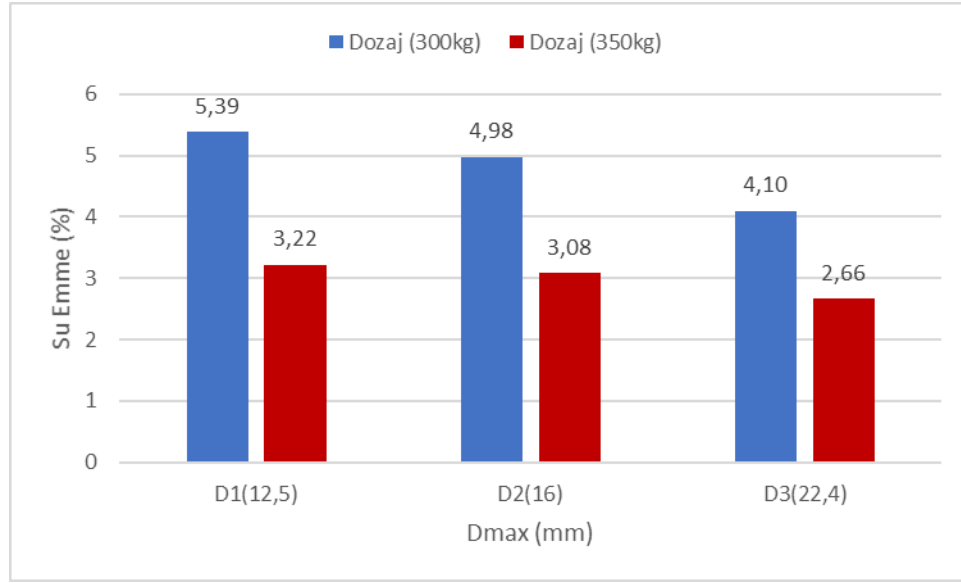
Üretilen SSB örnekleri üzerinde birim hacim ağırlık, su emme, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Her deney, 3 adet SSB örneği üzerinde yapılmış, elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması veri olarak grafiklerde kullanılmıştır (Şekil 5, 6, 7, 8 ve 9).



Şekil 5. SSB örneklerinin birim hacim ağırlık değerleri

300kg dozajlı SSB örnekleri içerisinde D1(12,5) kodlu harç örneği $2,41\text{gr/cm}^3$ olarak en düşük birim hacim ağırlık değerini, D2(16) kodlu harç örneği ise $2,43\text{gr/cm}^3$ olarak en yüksek değeri almıştır. 350kg dozajlı SSB örnekleri içerisinde en düşük değer D1(12,5) kodlu harç örneğinde $2,45\text{gr/cm}^3$, en yüksek değer ise D2(16) kodlu harç örneğinde $2,48\text{gr/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir. 300kg ve 350kg dozajlı SSB örneklerinde birim hacim ağırlık değerleri birbirine yakın olmakla birlikte, dozaj arttıkça örneklerin birim hacim ağırlık değerlerinde de artış gözlenmiştir. SSB karışımlarında çimento miktarının artışı, çimentonun yoğunluğunun diğer bileşenlerden fazla olmasından dolayı birim hacim ağırlık değerlerini de artırdığı belirlenmiştir.

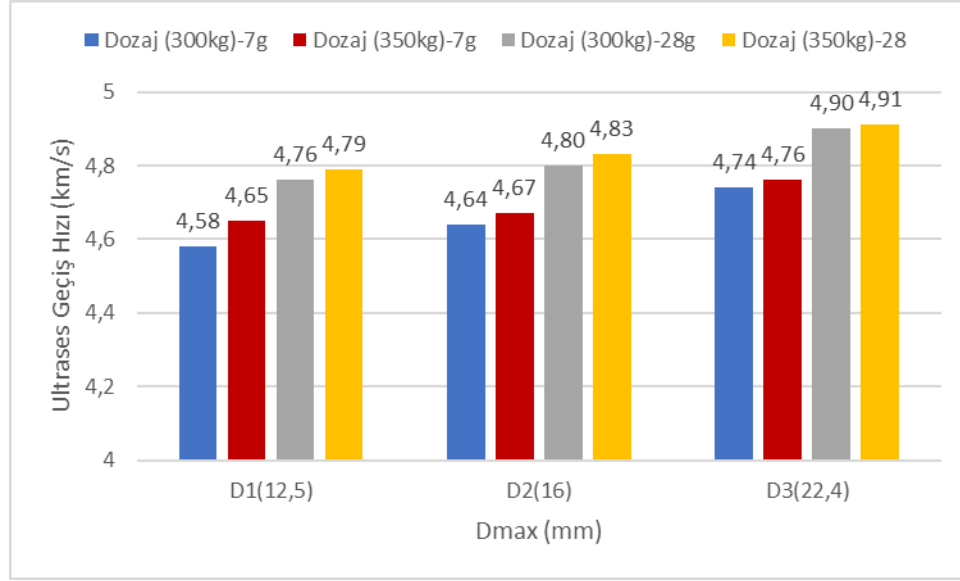
Maksimum agrega tane çapı 12,5mm, 16mm ve 22,4mm olan örneklerin birim hacim ağırlık değerleri arasında belirgin bir farklılık görülmemiştir. Bu üç grup içerisinde en yüksek birim ağırlık değerleri 16mm maksimum agrega tane çapı kullanılan karışımlarda elde edilmiştir. Eroğlu (2008) yapmış olduğu çalışmada, farklı maksimum tane boyutlu betonlarda, tane çapı küçük olan numunelerin birim ağırlıklarının da daha küçük sonuçlar verdiğini belirtmiştir [30].



Şekil 6. SSB örneklerinin su emme değerleri

300kg dozajlı SSB örneklerinin su emme miktarları, D1(12,5) kodlu örnekte %5,30, D2(16) kodlu örnekte %4,98 ve D3(22,4) kodlu örnekte %4,10 olarak belirlenmiştir. 350kg dozajlı SSB örneklerinin su emme miktarları ise D1(12,5) kodlu örnekte %3,22, D2(16) kodlu örnekte %3,08 ve D3(22,4) kodlu örnekte %2,66 olarak tespit edilmiştir.

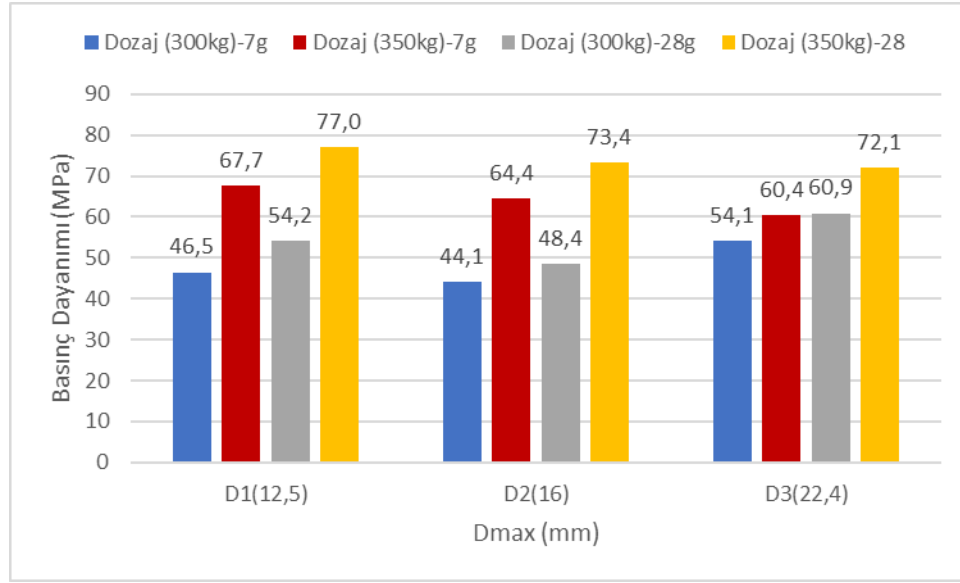
SSB karışımlarındaki çimento dozajının artması su emme miktarını azaltmıştır. 300kg ve 350kg dozajlı SSB örneklerinde maksimum agrega tane çapı (D_{max}) arttıkça su emme miktarı azalmıştır. Agrega tane çapının artması kompasiteyi arttırmıştır. Eroğlu (2008) çalışmasında kullanılan agrega karışımları arasında maksimum agrega tane çapı 31,5mm olan numunelerin kompasitenin, agrega tane çapı daha küçük olan numunelere göre daha fazla olduğunu tespit etmiştir [30].



Şekil 7. SSB örneklerinin ultrases geçiş hızı değerleri

28 günlük SSB örneklerinin 7 günlük SSB örneklerine göre ultrases geçiş hızı değerleri daha yüksek değerler almıştır. 28 günlük 300kg dozajlı SSB örneklerinde ultrases geçiş hızı değerleri, D1(12,5) kodlu örnekte 4,76km/s, D2(16) kodlu örnekte 4,80km/s ve D3(22,4) kodlu örnekte 4,90km/s olarak belirlenmiştir. 28 günlük 350kg dozajlı SSB örneklerinde ise ultrases geçiş hızı değerleri, D1(12,5) kodlu örnekte 4,79km/s, D2(16) kodlu örnekte 4,83km/s ve D3(22,4) kodlu örnekte 4,91km/s olarak tespit edilmiştir.

300kg ve 350kg dozajlı SSB örneklerinde, maksimum agrega tane çapı (D_{max}) arttıkça boşluk oranı azalmış ve buna ters orantılı olarak ultrases geçiş hızı artmıştır. Aydeniz (2012) yapmış olduğu çalışmada, maksimum agrega tane boyutu 5 mm ile 32 mm olan küp numunelerinde ultrases geçiş hızları benzerlik göstermiş, 15 mm olan numunelerde ise artış hızı en büyük değeri almıştır [31]. Eroğlu (2008) ultrases geçiş hızının maksimum dane boyutuna göre değişmediğini ancak ultrases geçiş hızının düşük çıkmasının küçük taneli numunelerde ki hava miktarının fazlalığını gösterdiğini vurgulamıştır [30]. Ayrıca, SSB karışımındaki çimento miktarının artması, ultrases geçiş hızı değerlerini de artırmıştır. Çimento hamuru agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak kompazitenin artmasına katkı sağlamıştır.



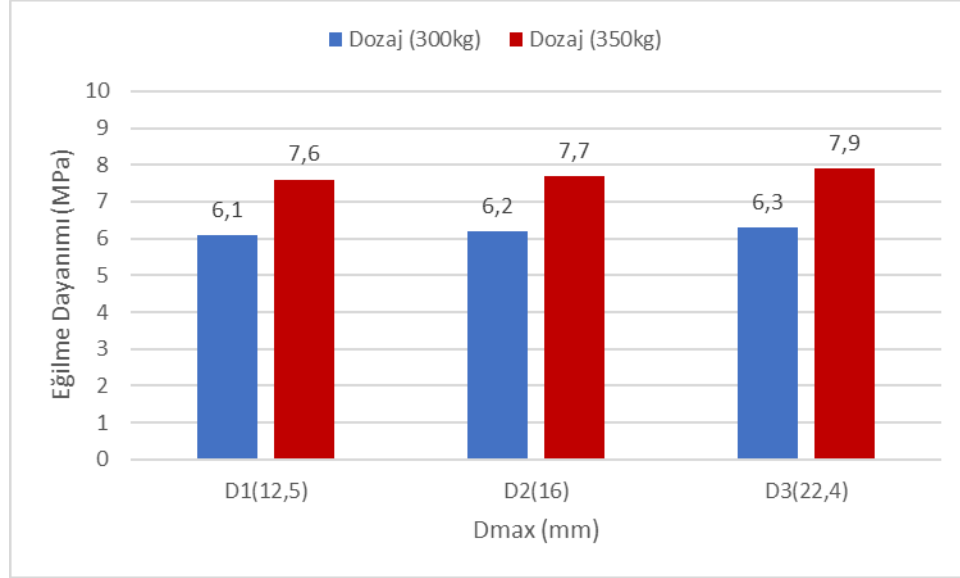
Şekil 8. SSB örneklerinin basınç dayanımı değerleri

300kg ve 350kg dozajlı SSB örnekleri incelendiğinde, karışımlarda çimento miktarı arttıkça dayanım değerlerinde de artış olduğu görülmüştür. 300kg dozajlı 7 ve 28 günlük örneklerde en yüksek basınç dayanımı değerleri D3(22,4) kodlu harç örneğinde sırasıyla 54,1MPa ve 60,9MPa olarak belirlenmiştir. 350kg dozajlı 7 ve 28 günlük örneklerde en yüksek basınç dayanımı değerleri D1(12,5) kodlu harç örneğinde sırasıyla 67,7MPa ve 77MPa olarak tespit edilmiştir.

300kg dozajda en yüksek basınç dayanımı en yüksek agrega çapına (22,4mm) sahip SSB örneklerinde, 350kg dozajda ise en yüksek basınç dayanımı en düşük agrega çapına (12,5mm) sahip SSB örneklerinde elde edilmiştir. Karışımdaki ince agrega oranının artması çimento gereksinimini artırmıştır. Çimento gereksiniminin 350kg gibi yeterli bir düzeye çıkmasıyla birlikte maksimum agrega tane çapı 12,5mm olan SSB örneklerinde en yüksek basınç dayanımı değerlerine ulaşılmıştır.

Aydeniz (2012) yaptığı araştırmada, tane çapı arttıkça beton basınç dayanımının arttığını, deney numunelerinde birim ağırlık arttıkça tane boyutuna bağlı olmaksızın basınç dayanımının da buna bağlı olarak arttığını gözlemlemiştir [31]. Eroğlu (2008) maksimum agrega tane çapı 4 mm, 8 mm ve 16 mm olan numunelerin küp ve silindir basınç dayanımlarının birbirlerine çok yakın olduğunu, betonların basınç dayanımlarının 16 mm'ye kadar tane boyutundan çok fazla etkilenmediğini

belirtmiştir. Kompozitesi yüksek olan numunelerin basınç dayanımlarının da yüksek olduğunu belirtmiştir. Ancak basınç dayanımının tane boyutundan bağımsız olduğunu gözlemlemiştir [30].



Şekil 9. SSB örneklerinin eğilme dayanımı değerleri

300kg dozajlı SSB örneklerinde eğilme dayanımı değerleri, D1(12,5) kodlu örnekte 6,1 MPa, D2(16) kodlu örnekte 6,2MPa ve D3(22,4) kodlu örnekte 6,3MPa olarak belirlenmiştir. 350kg dozajlı SSB örneklerinde ise eğilme dayanımı değerleri, D1(12,5) kodlu örnekte 7,6MPa, D2(16) kodlu örnekte 7,7MPa ve D3(22,4) kodlu örnekte 7,9MPa olarak tespit edilmiştir.

300kg ve 350kg dozajlı SSB örneklerinde maksimum agrega tane çapının artmasıyla doğru orantılı olarak az da olsa eğilme dayanımı değerlerinde artış görülmüştür. Buna rağmen, 300kg ve 350kg dozajlı SSB örneklerinde maksimum agrega tane çapı değişikliğinin eğilme dayanımı değerlerinde belirgin bir değişikliğe neden olmadığı söylenebilir.

4. Sonuçlar

Farklı maksimum agrega tane çapı kullanılarak üretilen silindire sıkıştırılmış beton örneklerinden elde edilen sonuçlar;

- Maksimum agrega tane çapı farklı olan SSB karışımlarından üretilen 300kg ve 350kg dozajlı örneklerin birim hacim ağırlık değerleri birbirine yakın değerler almıştır. Karışımlarda çimento miktarı arttıkça, örneklerin birim hacim ağırlık değerleri de artmıştır.

- 300kg ve 350kg dozajlı SSB örneklerinde maksimum agrega tane çapı arttıkça su emme miktarı azalmış, ultrases geçiş hızı ise artmıştır. Maksimum agrega tane çapının artması SSB örneklerinde daha az boşluk oluşmasını sağlamıştır.
- 300kg dozajlı karışımlarda maksimum agrega tane çapı en büyük olan D3(22,4) kodlu SSB örneği, 60,9 MPa olarak en yüksek basınç dayanımı değerini almıştır. 350kg dozajlı karışımlarda ise maksimum agrega tane çapı en küçük olan D1(12,5) kodlu SSB örneği 77 MPa olarak en yüksek basınç dayanımı değerini almıştır. Dozaj artışı, agrega granülometrisi daha ince olan karışımlardaki boşlukların dolmasını ve agrega yüzeylerinin çimento ile yeterli düzeyde kaplanmasını sağlayarak basınç dayanımı değerlerinde artışa neden olmuştur.
- 300kg ve 350kg dozajlı SSB örneklerinde maksimum agrega tane çapının artması ile birlikte eğilme dayanımlarında da artış görülmüş olmasına rağmen, birbirlerine yakın eğilme dayanımı değerleri aldıkları tespit edilmiştir.

SSB üretiminde, maksimum agrega tane çapı küçük olan ince granülometriye sahip karışımlarda çimento miktarının yeterli düzeyde olması sağlanmalıdır. Agrega granülometrisinde kopukluk olmayacak ve sıkışma sonucunda en az boşluk düzeyini sağlayacak şekilde SSB tasarımı yapılmalıdır. Ayrıca, çimento hamurunun agregalardan ayrışmaması için silindirle sıkıştırılmış beton üretiminde kıvam tercihine ve sıkıştırma süresine dikkat edilmesi önerilmektedir.

Kaynaklar

- [1] Şimşek, O., Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, 4. baskı, Ankara, 2009.
- [2] Kobu, B., Üretim Yönetimi, Avcıol Basım Yayın, 11. baskı, ss. 712, İstanbul, 2003.
- [3] Pourhossein, P., Yüksek Dayanımlı Çelik Lifli Betonarme Kiriş ve Kolonlarda Çatlamalar Göz Önüne Alınarak Deplasmanların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2012.
- [4] Arslan, M., Beton, Atlas Yayın Dağıtım, 1. baskı, ss. 237, İstanbul, 2001.
- [5] Yaman, İ.Ö., Ceylan, H., Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar, Türkiye Mühendislik Haberleri, s. 487, ss. 44-61, 2015.

- [6] Sarı, D.S., Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Davranışına Lif İçeriğinin ve Dayanımının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [7] Özışık, B., Beton, Birsen Yayınevi, ss. 360, İstanbul, 2000.
- [8] Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W., Hazaree, C., Ceylan, H., Bektaş, F., Guide for Roller-Compacted Concrete Pavements, Ames, USA: National Concrete Pavement Technology Center, Institute for Transportation, Iowa State University, ss. 104, 2010.
- [9] Ağırlioğlu, N., Baraj planlama ve Tasarımı, Su Vakfı Yayınları, c. 2, ss. 259, 2005.
- [10] Portland Cement Association (PCA), Roller-Compacted Concrete Pavements for Highways and Streets, <http://conf.tac-atc.ca/english/resourcecentre/readingroom/conference/conf2009/pdf/Halsted.pdf>, 26.10.2021
- [11] Hansen, K.D., Reinhardt, W.G., Roller Compacted Concrete Dams, New York, USA: Mc Graw-Hill, ss. 298, 1991.
- [12] Portland Cement Association (PCA), Roller-Compacted Concrete (RCC), https://www.cement.org/docs/default-source/cement-concrete-applications/sn2975.pdf?sfvrsn=414bfdbf_2, 26.10.2021
- [13] Kılıç, İ., Savaş, A.O., Farklı Tür Agregalarla Üretilen Silindirle Sıkıştırılmış Betonların Özellikleri, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9 (5), 2012-2022, 2021. DOI: 10.29130/dubited.869509
- [14] Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M., Concrete-Microstructure, Properties and Materials, New York, USA: Mc Graw-Hill Professional Publishing, 3. baskı, ss. 684, 2005.
- [15] Mardani, A., Bayqra, S.H., Özen, S., Faqiri, Z.A., Ramyar, K., Silindirle Sıkıştırılmış Beton Karışımlarında Kullanılan Malzemelerin Özellikleri, International Journal of Engineering Research and Development, 12(1), 61-72, 2020. DOI:10.29137/umagd.56950
- [16] Portland Cement Association (PCA), Guide Specification for Construction of Roller Compacted Concrete Pavements, <https://www.chaneyenterprises.com/files/productdocs/Guidetorcc.PDF>, 26.10.2021
- [17] Mardani-Aghabaglou, A., Bayqra, S. H., Özen, S., Altun, M.G., Faqiri, Z.A., Ramyar, K., Silindirle Sıkıştırılmış Beton Karışımlarının Tasarım Yöntemleri ve Yapılan Çalışmalar, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(3), 419-431, 2020. DOI: 10.5505/pajes.2019.93530
- [18] Khayat, K.H., Libre N.A., Wu, Z., Roller Compacted Concrete for Rapid Pavement

Construction. Technical Report, 2019.

- [19] Gök, S.G., Kilic, I., Sengul, O., Properties of Alkali-Activated Roller Compacted Concretes Produced from Waste Aggregates, *Cement Wapno Beton*, 26(4), 352-363, 2021. DOI: 10.32047/CWB.2021.26.4.7
- [20] Kılıç, İ., Gök, S.G., Silindirle Sıkıştırılmış Atık Beton Agregasının Silindirle Sıkıştırılmış Beton Üretiminde Yeniden Değerlendirilmesi, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (3), 999-1008, 2021. DOI: 10.17798/bitlisfen.877421
- [21] Traçim Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş., Kalite Raporu (22.04.2021), Kırklareli, 2021.
- [22] American Society for Testing and Materials, Standard Practice for Molding Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer, ASTM C1435, 2020.
- [23] Türk Standartları Enstitüsü, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranının Tayini, TS EN 1097-6, 2013.
- [24] Türk Standartları Enstitüsü, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar, TS EN 1097-2, 2020.
- [25] Türk Standartları Enstitüsü, Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini-Elleme Yöntemi, TS EN 933-1, 2012.
- [26] Türk Standartları Enstitüsü, Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 6: Yoğunluk, TS EN 12350-6, 2019.
- [27] Türk Standartları Enstitüsü, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Sertleşmiş Beton Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TS EN 12390-3, 2019.
- [28] Türk Standartları Enstitüsü, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Sertleşmiş Beton Deney Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini, TS EN 12390-5, 2019.
- [29] American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concete, ASTM C 597-09, 2009.
- [30] Eroğlu, O., Maksimum Agregada Dane Boyutunun Elastisite Modülüne Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [31] Aydeniz, S., Agregada Dane Boyutunun Beton Dayanımına Etkisi ve Su Emmesine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2012.