



AGREGA TANE BOYUTUNUN VE BAĞLAYICI TÜRÜNÜN GEÇİRİMLİ BETON ÖZELİKLERİNE ETKİSİ

Serhat ÇELİKTE^{1,*} , Mehmet CANBAZ² 

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye

ÖZET

Hızlı ve plansız kentleşme nedeniyle, şehirlerde azalan geçirimli alanlar yağmur ve sel sularının tahliyesinde yetersiz kalmaktadır. Kent içi yol ve kaldırımlarda geçirimsiz kaplamaların kullanımının yaygınlaşması da, kentlerde daha fazla sel vakalarının görülmesine yol açmıştır. Bu nedenle özellikle kent içi yağmur ve sel sularının hızlı bir şekilde tahliyesinin sağlanabilmesi için daha çevre dostu ve sürdürülebilir çözümler üretilmelidir. Bu çözümlerden biri de kentlerde geçirimli beton kaplamalarının yaygınlaştırılmasıdır. Geçirimli beton, açık gözenek yapısı sayesinde üzerine gelen suları hızlı bir şekilde tabii zemine aktarabilme özelliğine sahip yenilikçi bir özel beton türüdür. Son yıllarda artan sel olayları nedeniyle önemi her geçen gün daha da artan geçirimli betonlar hakkında daha çok akademik çalışma yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada da CEM I 42.5R ve CEM IV/B (P) 32.5 N çimentolarıyla 2-3 mm aralığında ve 3-4 mm aralığında ince agregalar ile 7-8 mm aralığında iri agregalar ayrı ayrı kullanılarak geçirimli betonlar üretilmiştir. Üretilen geçirimli betonların birim ağırlık, ultrases geçiş süresi, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, aşınma direnci ve geçirimsizlik özellikleri üzerine betonlardaki iki farklı bağlayıcı türü (CEM I ve CEM IV) ile üç farklı agrega tane boyutunun (2-3mm, 3-4mm ve 7-8mm) etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geçirimli beton, Bağlayıcı türü, Agregata tane boyutu, Geçirimsizlik, Aşınma direnci

THE INFLUENCE OF AGGREGATE PARTICLE SIZE AND BINDER TYPE ON THE PROPERTIES OF PERVIOUS CONCRETE

ABSTRACT

Due to the rapid and unstudied urbanization, the decreased permeable areas in the cities are become insufficient for discharging the floodwaters. The increased usage of impermeable pavements in the urban roads and footpaths is caused to increase the water flooding incidents. For this reason, more environmentally friendly and sustainable solutions are requiring for discharging the rain and flood water from the urban areas. One of these solutions is the use of pervious concrete pavements more widely. Pervious concrete is an innovative special type of concrete that it can transmit the water to the ground thanks to its open-pore structure. In recent years, the importance of the pervious concrete has been increased due to the increased number of flood events and so, the number of the studies performed about the pervious concretes are increased nowadays. In this study, CEM I 42.5R and CEM IV/B (P) 32.5 N cements are used as binders and three different aggregate particle sizes as 2-3mm and 3-4 mm fine aggregates and 7-8 mm coarse aggregates are used for the production of pervious concretes separately. The influence of the binder types and aggregate particle size on the unit weight, ultrasonic pulse velocity, flexural strength, compressive strength, abrasion resistance and permeability properties of the manufactured pervious concretes are investigated.

Keywords: Pervious concrete, Binder type, Aggregate particle size, Permeability, Abrasion resistance

1.GİRİŞ

Özellikle kent içi ulaşımında tercih edilen geleneksel geçirimsiz yol kaplamaları, kullanıldıkları bölgelerdeki tabii zeminlerin geçirimsiz hale gelmelerine neden olmaktadır [1, 2]. Tabii zeminin geçirimsiz hale gelmesi ise hidrolojik ve termal değişikliklere yol açacaktır [3, 4]. Geçirimsiz yol

*Sorumlu Yazar: scelikten@nevsehir.edu.tr

Geliş: 19.06.2019 Yayın: 31.08.2020

kaplamaları özellikle ani sel sularının tahliyesinde zorluklara neden olmaktadır. [5-7] Ek olarak, geçirimsiz yol kaplamalarının birçoğu, gündüz saatlerinde ısınıp, gece de bu ısıyı atmosfere vererek çeşitli termal problemlere neden olmaktadır. [8]. Bu problemlerden biri ise kentsel ısı adası oluşumudur. Kentsel ısı adası oluşumu, kent sakinlerinin serinlemek için daha çok enerji harcamalarına ve CO₂ salınımının artmasına yol açmaktadır [9-11]. Bu nedenlerle yüksek darbe dayanımına sahip bu geçirimsiz kaplamalar yerine daha düşük darbe dayanımına sahip olsa bile yüksek geçirimsizliğe sahip geçirimli betonların kent içi yol kaplamalarında daha yenilikçi ve çevre dostu bir çözüm olabileceği düşünülmektedir. Geçirimli beton araç lastiği ile kaplama arasında yağmur suları nedeniyle meydana gelen sesi azaltma, yeraltı sularına karışması muhtemel kirleticileri kısmen tutma ve kentsel ısı adası etkilerini azalma gibi çeşitli çevresel faydaları nedeniyle son yıllarda daha popüler bir malzeme olmuştur [12-14]. Bu ekolojik faydaları nedeniyle geçirimli betonlar günümüzde tali yollarda, otoparklarda, garaj yollarında, yürüyüş yollarında ve kaldırımlarda kullanılmakta ve kullanımı her geçen gün artmaktadır [15]. Geçirimli betonların bütün bu avantajları ve sürdürülebilir bir malzeme olarak tanımlanması açık gözenek yapısına bağlanmaktadır. Açık gözenek yapısı ise birbirleriyle bağlantılı boşlukları ve bu boşlukların makro boyutta olmasına atfedilir. Geçirimli betonda istenilen boşluk dağılımı genellikle kesikli gradasyona sahip iri agregalar kullanılması ve beton karışımında çok az ince agrega kullanılarak veya ince agrega kullanılmayarak elde edilebilmektedir [16]. Yapılan bir çalışmada geçirimli betonun geçirebileceği yağış miktarı Tablo 1'deki gibi hesaplanmıştır [17].

Tablo 1. Geçirimli betonun geçirebileceği yağış kapasitesi

Geçirimsizlik katsayısı, cm/sn	Karşılacağı yağış, mm/dk
4	2400
3.5	2100
3	1800

Geçirimli betonda kullanılan bağlayıcı türü ve miktarı ile agrega türü, miktarı ve gradasyonu geçirimli betonların özelliklerini etkileyen en önemli etmenlerdir. Yapılan bazı çalışmalarda çoğunlukla boşluk boyutunu artırmak amacıyla geçirimli beton karışımlarında ince agrega miktarı olabildiğince düşük tutulmuştur [18-19]. Ayrıca, bazı çalışmalarda da ince agrega içeriğinin geçirimli betonların donma-çözülme dayanıklılığını ve aşınma direncini artırdığı rapor edilmiştir [20-22]. Agreganın geçirimli beton özellikleri üzerine de halen çalışmalar yapılmaktadır [23-25]. Çeşitli endüstriyel atıkların geçirimli betonlarda agrega veya bağlayıcı olarak değerlendirilmesi ile ilgili de çalışmalar yapılmıştır [26, 27]. Geçirimli beton ile ilgili yapılan çalışmalarda genelde ince agregayı çıkararak farklı tane boyutlarındaki iri agreganın birlikte kullanılması ile üretim yapılmıştır. Bu çalışmanın daha önceki çalışmalardan farkı agrega tane boyut aralığı oldukça dar bir aralıkta tutularak daha fazla geçirimsizliğin sağlanmasıdır. Ayrıca geçirimsizliği olumsuz etkilemeden, çimento dozajın artırılması yolu ile dayanımın artırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada ise tercih edilen üç farklı agrega tane boyutunun ve iki farklı bağlayıcı türünün geçirimli betonların özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Kullanılan Malzemeler

Çimento: Eskişehir Çimento Fabrikası üretimi olan CEM I 42.5R ve CEM IV/B (P) 32.5 N çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentolara ait özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Deneyde kullanılan çimentonun özellikleri

	CEM IV/B (P) 32.5 N	CEM I 42.5R		CEM IV/B (P) 32.5 N	CEM I 42.5R
SiO ₂ , %	38.0	19.2	Yoğun., g/cm ³	2.87	3.09
Al ₂ O ₃ , %	9.68	4.56	Özg.Yüz., cm ² /g	3590	4450
Fe ₂ O ₃ , %	2.91	3.09	Priz Baş., dk	190	163
CaO, %	32.2	62.9	Priz Bitiş, dk	270	228
MgO, %	1.64	1.88	Genleşme, mm	1	1
K ₂ O, %	1.14	0.63	Basınç Dayanımları, MPa		
Na ₂ O, %	1.00	0.31	7 gün	20.1	36.5
SO ₃ , %	2.06	3.21	28 gün	38.1	52.1

Agrega : Geçirimli beton üretiminde kalker kökenli kırmakum ve kırmataşlar 7 mm ve 8 mm; 3 mm ve 4 mm; 2 mm ve 3 mm göz boyutlu eleklerden elenerek sadece 7-8 mm, 3-4 mm ve 2-3 mm arası tane boyutuna sahip agregalar kullanılmıştır.

Su : Eskişehir şebeke suyu kullanılmıştır. Suyun sülfat içeriği 45 mg/lt, kalsiyum içeriği 57 mg/lt, magnezyum içeriği 83 mg/lt, klorür içeriği 49 mg/lt, buharlaşma bakiyesi 438 mg/lt ve pH 6.75'tir [17].

2.2. Yöntem

Tablo 3'te verilen karışım oranları ile farklı boyutta agrega, farklı dozajda, farklı çimento kullanılarak beton karışımları hazırlanmıştır. Su miktarı ise çimento şerbetinin agrega tanelerinin çevresini sarması için yeterli olacak şekilde ve kalıba yerleşme sırasında çimento şerbetinin alt yüzeye toplanıp geçirimsizliği önleyecek kadar çok olmamasına dikkat edilerek karışımlara konulmuştur. Deneme karışımlarında yüksek dozajlarda agrega tane boyutu azaldıkça yüzeyinin artması ve tane çevresini saran bağlayıcı hamurun etkisi ile geçirimsizlik olumsuz etkilediğinden dozaj azaltılmak zorunda kalmıştır.

Tablo 3. Karışım oranları, kg.

Agrega boyutu	7-8 mm				3-4 mm				2-3 mm			
	CEM IV		CEM I		CEM IV		CEM I		CEM IV		CEM I	
Çimento türü	400	500	400	500	200	300	200	300	200	300	200	300
Çimento	1310	1310	1310	1310	1285	1285	1285	1285	1262	1262	1262	1262
Agrega	0.4	0.4	0.4	0.4	0.42	0.42	0.42	0.42	0.45	0.45	0.45	0.45
Su/Çimento												

Hazırlanan karışımlardan Şekil 1'de görülen ϕ 10x10 cm boyutlarında silindir ve 4x4x16 cm boyutlarında kare prizma numuneler alınmıştır. Bir gün sonra kalıptan çıkarılan numuneler kür havuzunda standart kür ortamında bekletilmiştir.



Şekil 1. Üretilen numune türleri

Tablo 4. Değişkenlere bağlı deney programı

Agrega boyutu	Çimento tipi	Dozaj kg	Deneyler (Numune boyutu)	
			UGH (ultrases geçiş hızı)	
7-8 mm	CEM I	400	Hidrolik iletkenlik (□10x10 cm), UGH, eğilme, basınç, aşınma (4x4x16 cm)	
		500	Hidrolik iletkenlik (□10x10 cm), UGH, eğilme, basınç, aşınma (4x4x16 cm)	
	CEM IV	400	Hidrolik iletkenlik (□10x10 cm), UGH, eğilme, basınç, aşınma (4x4x16 cm)	
		500	Hidrolik iletkenlik (□10x10 cm), UGH, eğilme, basınç, aşınma (4x4x16 cm)	
3-4 mm	CEM I	200	Hidrolik iletkenlik (□10x10 cm), UGH, eğilme, basınç, aşınma (4x4x16 cm)	
		300	Hidrolik iletkenlik (□10x10 cm), UGH, eğilme, basınç, aşınma (4x4x16 cm)	
	CEM IV	200	Hidrolik iletkenlik (□10x10 cm), UGH, eğilme, basınç, aşınma (4x4x16 cm)	
		300	Hidrolik iletkenlik (□10x10 cm), UGH, eğilme, basınç, aşınma (4x4x16 cm)	
2-3 mm	CEM I	200	Hidrolik iletkenlik (□10x10 cm), UGH, eğilme, basınç, aşınma (4x4x16 cm)	
		300	Hidrolik iletkenlik (□10x10 cm), UGH, eğilme, basınç, aşınma (4x4x16 cm)	
	CEM IV	200	Hidrolik iletkenlik (□10x10 cm), UGH, eğilme, basınç, aşınma (4x4x16 cm)	
		300	Hidrolik iletkenlik (□10x10 cm), UGH, eğilme, basınç, aşınma (4x4x16 cm)	

Üretimden 28 gün sonra prizma numuneler üzerinde birim ağırlık, ASTM C 597 [27] standardına uygun olarak ultrases geçiş süresi, TS EN 196-1 [29] standardına göre eğilme ve basınç dayanımı ve DIN52108 [30] standardına göre de aşınma deneyleri yapılmıştır. Silindir şeklindeki numunelerde ise hidrolik iletkenlik deneyleri yapılmıştır. Agregat boyutu, dozaj, çimento cinsine bağlı deney programı Tablo 4’te verilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen geçirimli betonun birim ağırlığı, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımları, aşınma kayıpları ve geçirimsizlik katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan her bir değer üç adet numunenin değerlerinin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Şekil 2’de görüldüğü gibi 1.1 m uzunluğundaki boru içerisine silindir şeklindeki 10 cm yüksekliğinde numune yerleştirilmiş ve üstü 1 m yüksekliğinde su ile doldurulmuş ve bu suyun boşalma süresi ölçülmüştür. Denklem 1’e göre [31] birim alandan birim sürede geçen su miktarı belirlenmiştir. Burada a borunun alanı, l numunenin boyu, A numunenin alanı, t geçen süre, h₁ test başladığındaki su seviyesi, h₂ test bitimindeki su seviyesidir.

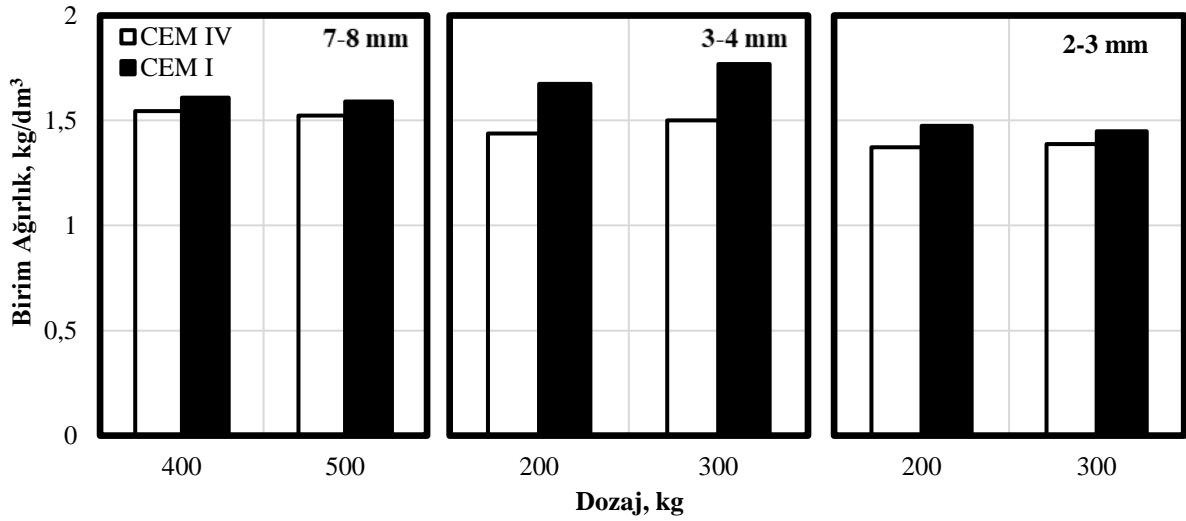
$$k = \frac{a \times l}{A \times t} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (1)$$



Şekil 2. Geçirimli beton üzerinde yapılan deneyler

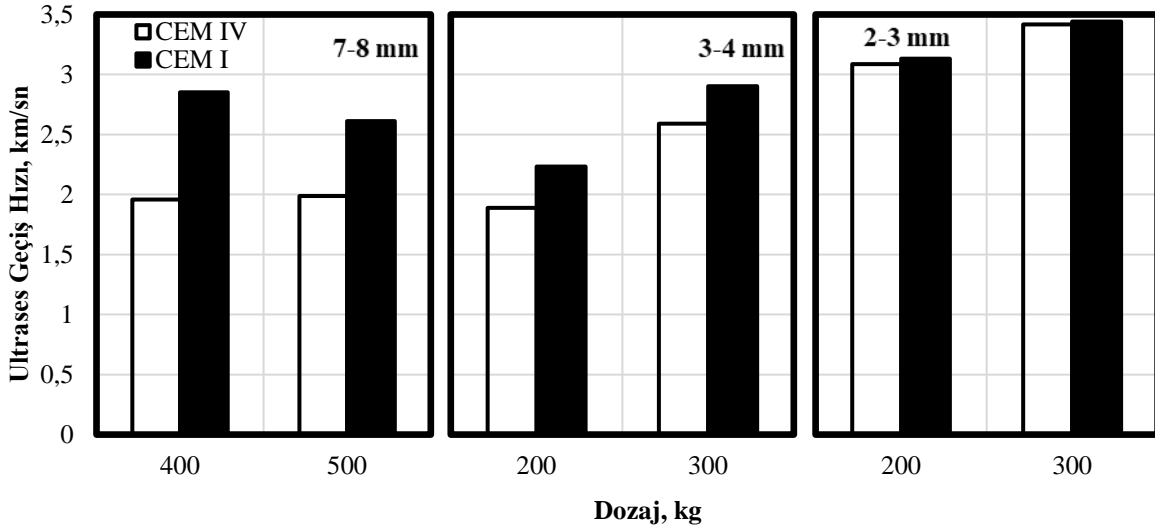
3. DEĞERLENDİRME

Agrega tane boyutunun geçirimli beton numunelerinin birim ağırlığına etkisi Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3 incelendiğinde birim ağırlık değerleri $1.37-1.77 \text{ kg/dm}^3$ arasında değişmektedir. Geçirimli betonların birim ağırlığı dozaj arttıkça % 6'ya ulaşan oranlarda artarken, CEM IV tipi katkı çimento kullanılması durumunda % 15'e ulaşan oranda azalmıştır. Agregatane boyutu da geçirimli beton birim ağırlığını etkilemiştir. En düşük birim ağırlıklar taneler arasında daha fazla boşluk bulunan 2-3 mm agregatane boyutuna sahip numunelerde görülmüştür. CEM I türünün yüksek yoğunluğu nedeni ile çimento dozajının artışı birim ağırlıkta artışa neden olurken, CEM IV tipi çimentolarda mineral katkı kullanılması nedeni ile yoğunluk düştüğü için CEM I çimentosu ile üretilen numunelere göre birim ağırlıkta düşüşe neden olmuştur.



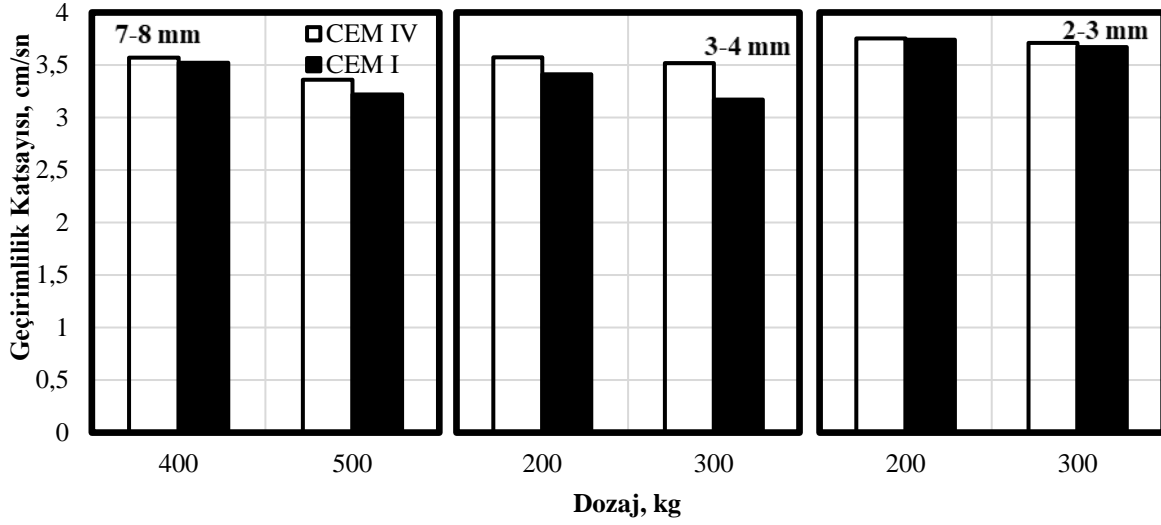
Şekil 3. Agregatane boyutu ve bağlayıcının geçirimli beton birim ağırlığına etkisi

Agregatane boyutuna bağlı olarak ultrases geçiş hızlarında meydana gelen değişimler Şekil 4'te gösterilmektedir. Şekil 4 incelendiğinde numunelerin ultrases geçiş hızları $1.8-3.5 \text{ km/sn}$ arasında değişmektedir. Geçirimli betonun yapısında oldukça fazla boşluk olması ultrases geçiş hızlarının düşmesine neden olmuştur. Dozaj artışı daha iyi bağlayıcılık sağladığı için ultrases geçiş hızlarında % 37'ye ulaşan oranlarda artış görülmüştür. Mineral katkı çimento kullanılması durumunda puzolanik katkıların etkinlik faktörlerinin düşük olması nedeni ile ultrases geçiş hızlarında % 13'e ulaşan oranlarda kayıplara neden olmuştur. Agregatane boyutunun azalması geçirimli betonların ultrases geçiş hızlarında artışa neden olmuştur. Agregatane boyutu azaldıkça boşluk miktarlarının artmasına rağmen daha küçük boşluklar oluşmakta ve bu boşlukların çevresinden dolaşan ultrases dalgaları daha az mesafe kat ettiğinden hız artmaktadır.



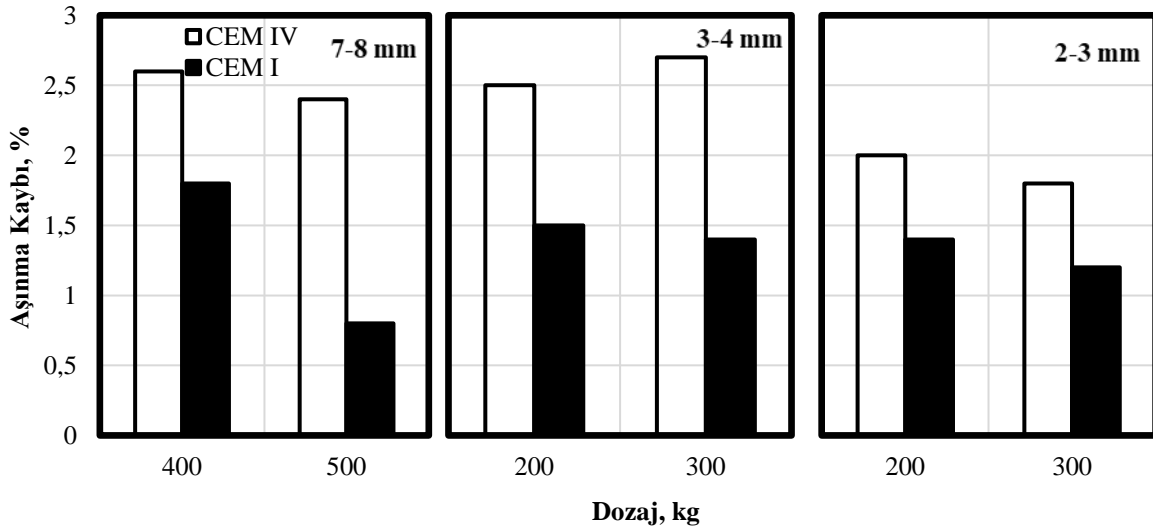
Şekil 4. Agreg a boyutu ve bağlayıcının geçirimli beton ultrases geçiş hızına etkisi

Agrega tane boyutunun, bağlayıcı tür ve miktarının numunelerin hidrolik iletkenliğine etkisi Şekil 5’te verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde geçirimlilik katsayılarının 3.17-3.76 cm/sn arasında değiştiği görülmüştür. Agreg a tane boyutunun azalması numunelerin içerdiği boşluk miktarını arttırdığından, en yüksek hidrolik iletkenliğin 2-3 mm agreg a tane boyutuna sahip numunelerde olduğu gözlenmiştir. Çimento dozajın artması geçirimliliği % 9’a ulaşan oranlarda azaltırken, katkılı çimento kullanılması durumunda geçirimlilik katsayısı % 11’e ulaşan oranlarda artmıştır. Dozajın artması agreg a taneleri arasındaki boşluğun daha fazla doldurulmasına neden olduğundan boşluk oranını azaltmıştır. Yüksek dayanımlı olan CEM I çimentosunun daha fazla öğütülmüş olması sonucu CEM IV çimentosuna göre daha ince olması boşlukları doldurmada etkili olmuş ve geçirimlilik katsayısının düşmesine neden olmuştur. Çalışmada 7-8 mm agreg a ile üretilen betonda yeterli dayanım sağlanması için diğer beton numunelere göre daha yüksek dozaj çimento kullanılmıştır, bu nedenle 7-8 mm agreg a ile üretilen betonun geçirimlilik katsayısı 3-4 mm ve 2-3 mm agreg a ile üretilen betonlardan genel olarak daha düşük bulunmuştur. Bu durum agreg alar arası geçirimliliğe neden olan boşluk miktarının diğer iki tip agreg a ile üretilen betonlardan daha düşük olduğunu göstermektedir. Aynı dozajdaki 2-3 mm ve 3-4 mm agreg a ile üretilen betonların geçirimlilik katsayıları karşılaştırıldığında ise daha küçük agreg alı olan (2-3 mm agreg alı) beton numunenin geçirimliliği daha yüksek çıkmıştır. Bu durum 2-3 mm agreg alı betondaki toplam agreg a yüzey alanının fazla olması ve kullanılan çimento dozajının tüm agreg a yüzeyi baz alındığında yetersiz kalarak geçirimliliği sağlayacak boşlukların 3-4 mm agreg alı betona göre daha fazla oluşması ile açıklanabilir.

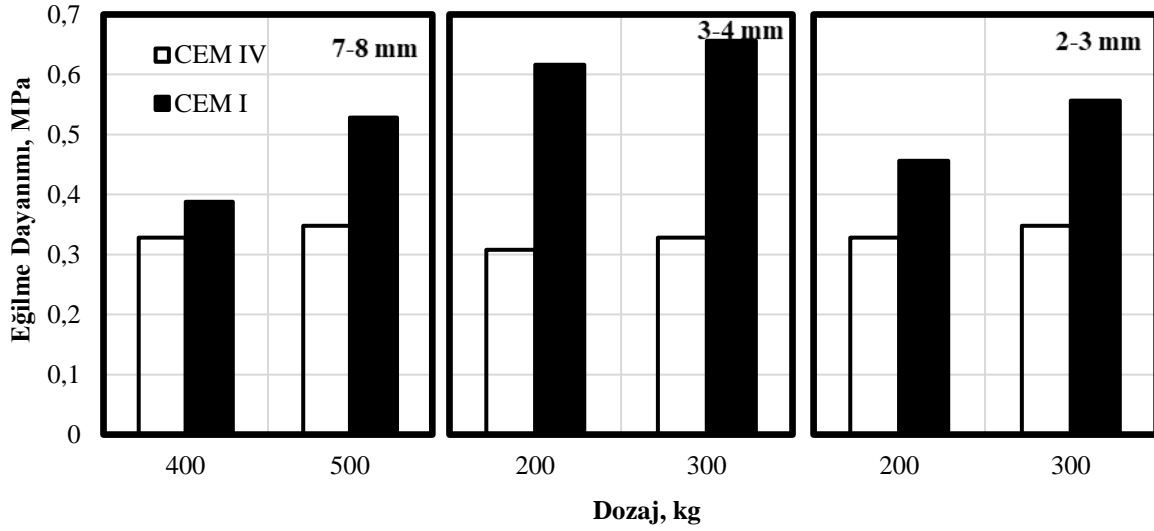


Şekil 5. Agrega boyutu ve bağlayıcının geçirimsiz beton hidrolik iletkenliğine etkisi.

Agrega tane boyutunun geçirimsiz beton numunelerin aşınmaya karşı direncine etkisi Şekil 6’da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde aşınma kayıpları % 0.8-2.7 arasında değişmektedir. Agrega tane boyutunun azalması aşınmaya karşı direnci olumlu yönde etkilerken, aşınma kaybının en az olduğu karışım türlerinin 2-3 mm tane boyutuna sahip agregalardan oluştuğu görülmüştür. Bunun nedeni, agrega tane boyutunun azalması yüzey alanının artmasına neden olmakta ve bu yüzey alanının kapladığı çimento hamurunun aşınmaya dirençte etkili olduğu şeklinde açıklanabilir. Dozaj artışı aşınma kaybını % 56’ya ulaşan oranlarda azaltmıştır. Yüksek dayanımlı katkısız çimento kullanılması durumunda ise aşınma kaybı % 67’e ulaşan oranlarda azalmıştır. Dayanımı düşük, katkılı çimento kullanımı agregaların bağlanmasında yeterince etkili olamaması aşınma direncini oldukça olumsuz yönde etkilemiştir.

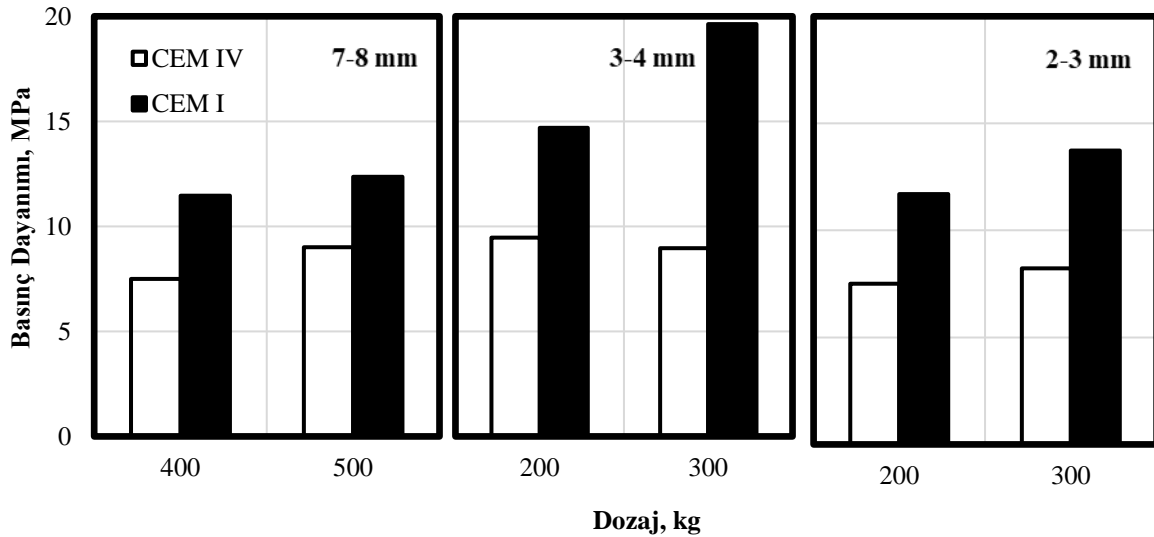


Şekil 6. Agrega boyutu ve bağlayıcının geçirimsiz beton aşınma direncine etkisi



Şekil 7. Agreg a boyutu ve bağlayıcının geçirimli beton eğilme dayanımına etkisi

Agrega tane boyutunun geçirimli betonların eğilme dayanımları üzerine etkisi Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde geçirimli betonların eğilme dayanımları 0.33-0.66 MPa arasında değişmektedir. Numunelerin eğilme dayanımı değişimlerinde yükleme yapılan kesit önemlidir. Geçirimli betonda hidrolik iletkenliğin sağlanması açısından elde edilen yapının boşluklu olması kesiti zayıflatmış ve eğilme dayanımlarını düşürmüştür. Katkısız çimento daha yüksek dayanıma sahip olması nedeni ile agrega taneleri daha iyi bağlanmış ve eğilme dayanımları artmıştır. Düşük nominal dayanıma sahip katkılı çimentolarda agrega tane boyutunun değişimi numunelerin eğilme dayanımlarını önemli oranda değiştirmezken, katkısız ve dayanımı yüksek çimento kullanıldığında agrega tane boyutunun etkisi ortaya çıkmıştır. En yüksek eğilme dayanımları CEM I türü çimento ve 3-4 mm agrega kullanılan numunelerde görülmüştür.



Şekil 8. Agreg a boyutu ve bağlayıcının geçirimli beton basınç dayanımına etkisi

Geçirimli betonların basınç dayanımları Şekil 8’de verilmiştir. Şekil 8 incelendiğinde numunelerin basınç dayanımlarının 7.5-19.7 MPa arasında değişmektedir. Geçirimli betonun sahip olduğu boşluklu yapı beton basınç dayanımlarını olumsuz etkilemiştir. Dozajın artması basınç dayanımlarında % 34’e

ulaşan oranlarda artışa neden olurken, daha düşük dayanıma sahip ve katkı içeren CEM IV türü çimento kullanıldığında basınç dayanımları % 47'ye ulaşan oranlarda azalmıştır. Numunelerin içerdiği agregaların tane boyutu da basınç dayanımı değişiminde etkili olmuştur. Geçirimli betonların en yüksek basınç dayanımı 3-4 mm agrega tane boyutuna sahip numunelerde görülmüştür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Agrega tane boyutunun geçirimli beton özelliklerine etkisinin belirlenmesi için yapılan deneyler sonucunda:

- Üretilen geçirimli betonlarda 2-3 mm agrega tane boyutu tercih edilmesi durumunda betonların birim ağırlık, eğilme ve basınç dayanımları ile aşınma kayıpları genellikle azalırken, ultrases geçiş hızları ve hidrolik iletkenlikleri artmıştır.
- Dozajın artışı numunelerin birim ağırlığını, ultrases geçiş hızını ve basınç dayanımını arttırırken, geçirimsizlik katsayısını ve aşınma kaybını azaltmıştır.
- Bağlayıcı olarak CEM I türü çimento kullanılması durumunda birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımı artarken, geçirimsizlik katsayısı ve aşınma kaybı azalmıştır.
- Geçirimli betonların hidrolik iletkenlikleri dikkate alındığında Tablo 1'den de görüldüğü üzere en az 1800 mm/dk gibi oldukça yüksek düzeyde yağışı geçirebilecek kapasitede olduğu belirlenmiştir.
- Bu çalışmada sadece iri agregalar ile değil ince agrega kullanılarak da geçirimli beton üretilebileceği görülmüştür. Ayrıca agrega tane boyutunun dar aralıkta tutulması, literatüre göre hidrolik olarak daha iletken betonlar elde etmeyi sağlamıştır [31].

En yüksek yağış miktarının 38 mm/dk olduğu dikkate alındığında [17, 32] elde ettiğimiz geçirimli betonun sadece anlık yağışı değil aynı zamanda çevreden gelebilecek yüzeysel akışı da geçirebileceğinden dolayı herhangi bir su birikintisine imkân vermeyeceği söylenebilir. Ancak buradaki yağış partikül içerebileceğinden zamanla geçirimli beton gözlerinin kısmen dolacağı göz ardı edilmemelidir. Agregatane boyutunun azaltılması hidrolik iletkenliği arttırmasına rağmen, dayanım ve dayanıklılık dikkate alındığında 3-4 mm agrega tane boyutunun kullanılması önerilir. Dozajın arttırılması, daha yüksek dayanıma sahip çimentoların kullanılması hidrolik iletkenliği düşürse de yollar ve kaldırımlar için önemli olan aşınma direnci ve dayanım için önerilir. Bu çalışma geçirimli betonların bazı fiziksel, mekanik özelliklerin yanı sıra aşınma dayanıklılığını da belirlenmesini hedeflemiştir. Ancak uygulamalarda beton dayanıklılık etkileri içinde önemli bir yere sahip olan donma çözülme, sülfat etkisi gibi etkilerin de dikkate alınması yapılacak çalışmalar için önerilir. Ayrıca boşluk miktarının ve dağılımının tespiti, akışın modellenmesi için nümerik analiz yöntemleri incelenmesi daha sonraki yapılacak çalışmalar için önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Yang J, Jiang G. Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials. Cement and Concrete Research 2003; 33(3): 381-386.
- [2] Volder A, Watson T, Viswanathan B. Potential use of pervious concrete for maintaining existing mature trees during and after urban development. Urban Forestry & Urban Greening 2009; 8(4): 249-256.
- [3] Takebayashi H, Moriyama, M. Study on surface heat budget of various pavements for urban heat island mitigation. Advances in Materials Science and Engineering, 2012.

- [4] Weng Q, Lu D, Schubring J. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of Environment* 2004; 89(4): 467-483.
- [5] Haselbach LM, Valavala S, Montes F. Permeability predictions for sand-clogged Portland cement pervious concrete pavement systems. *Journal of environmental management* 2006; 81(1): 42-49.
- [6] Lim E, Tan KH, Fwa TF. Effect of mix proportion on strength and permeability of pervious concrete for use in pavement. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 2013; 10: 1565-1575.
- [7] Li H, Kayhanian M, Harvey J T. Comparative field permeability measurement of permeable pavements using ASTM C1701 and NCAT permeameter methods. *Journal of Environmental Management* 2013; 118: 144-152.
- [8] Wong, E., Akbari, H., Bell, R., & Cole, D. (2011). Reducing urban heat islands: compendium of strategies. Environmental Protection Agency, retrieved May, 12, 2011.
- [9] Akbari, H. (2005). Energy saving potentials and air quality benefits of urban heat island mitigation (No. LBNL-58285). Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA (US).
- [10] Kolokotroni, M., Ren, X., Davies, M., & Mavrogianni, A. (2012). London's urban heat island: Impact on current and future energy consumption in office buildings. *Energy and buildings*, 47, 302-311.
- [11] Chandrappa, A. K., & Biligiri, K. P. (2016). Pervious concrete as a sustainable pavement material–Research findings and future prospects: A state-of-the-art review. *Construction and Building Materials*, 111, 262-274.
- [12] ACI 522R-06. Pervious Concrete. American Concrete Institute Committee, 2006.
- [13] Neithalath N, Sumanasooriya MS, Deo O. Characterizing pore volume, sizes, and connectivity in pervious concretes for permeability prediction. *Materials characterization* 2010; 61(8), 802-813.
- [14] Tennis PD, Leming ML, Akers DJ. Pervious concrete pavements (No. PCA Serial No. 2828). Skokie, IL: Portland Cement Association 2004.
- [15] Nguyen DH, Sebaibi N, Boutouil M, Leleyter L, Baraud F. A modified method for the design of pervious concrete mix. *Construction and Building Materials* 2014; 73, 271-282.
- [16] Hesami S, Ahmadi, S, Nematzadeh M. Effects of rice husk ash and fiber on mechanical properties of pervious concrete pavement. *Construction and Building Materials* 2014; 53, 680-691.
- [17] Çelikten S, Canbaz M. Geçirimli Beton Parke Taşlarının Özellikleri, Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi, IMASCON 2019, 26-28 Nisan 2019, Kartepe Park Otel Kartepe/Kocaeli/Türkiye.

- [18] Sonebi M, Bassuoni MT. Investigating the effect of mixture design parameters on pervious concrete by statistical modelling. *Construction and Building Materials* 2013; 38, 147-154.
- [19] Torres A, Hu J, Ramos A. The effect of the cementitious paste thickness on the performance of pervious concrete. *Construction and Building Materials* 2015; 95, 850-859.
- [20] Bonicelli A, Giustozzi F, Crispino M. Experimental study on the effects of fine sand addition on differentially compacted pervious concrete. *Construction and Building materials* 2015; 91, 102-110.
- [21] Kevern JT, Schaefer VR, Wang K, Suleiman MT. Pervious concrete mixture proportions for improved freeze-thaw durability. *Journal of ASTM International*, 2008; 5(2), 1-12.
- [22] Wang K, Schaefer VR, Kevern JT, Suleiman MT. Development of mix proportion for functional and durable pervious concrete. In *NRMCA concrete technology forum: focus on pervious concrete 2006*; May, pp. 1-12.
- [23] Tijani MA, Ajagbe WO, Ganiyu AA, Agbede OA. Effect of Aggregate Type on Properties of Pervious Concrete. *Journal of Modern Technology and Engineering* 2019; 4(1): 37-46.
- [24] Lori AR, Hassani A, Sedghi R. Investigating the mechanical and hydraulic characteristics of pervious concrete containing copper slag as coarse aggregate. *Construction and Building Materials* 2019; 197: 130-142.
- [25] Sata V, Wongs A, Chindapasirt P. Properties of pervious geopolymer concrete using recycled aggregates. *Construction and Building Materials* 2013; 42: 33-39.
- [26] Zaetang Y, Wongs A, Sata V, Chindapasirt P. Use of coal ash as geopolymer binder and coarse aggregate in pervious concrete. *Construction and Building Materials*; 2015: 96, 289-295.
- [27] Sriravindrarah R, Wang NDH, Ervin LJW. Mix design for pervious recycled aggregate concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials* 2012; 6(4): 239.
- [28] ASTM C597-16, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, ASTM International, 2009.
- [29] TS EN 196-1. Çimento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara. 2016.
- [30] DIN 52108, Testing the abrasive wear of inorganic, nonmetallic materials using the Bohme abrasive wheel. 2010.
- [31] Kılınç C, Akakın T. Farklı Agregatane Dağılımına Sahip Geçirimli Betonların İncelenmesi, *Hazır Beton*, Mart-Nisan 2012, ss. 79-84.
- [32] Mansell, M. G., *Rural and urban hydrology*, Thomas Telford, (2003).