

Agrega Kökeni, Agrega/Çimento Oranı ve İnce Malzemeli Agreganın Geçirimli Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi Üzerine Bir Çalışma

Özgür Barış TOPÇU^{1*}, Burak FELEKOĞLU², Barış ÇAYLAK²

^{1*}Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye

²Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

Geliş / Received: 11/07/2018, Kabul / Accepted: 12/11/2018

Öz

Bu çalışmada agrega/çimento (a/ç) oranının, agrega tipinin, ince malzemeli agrega kullanımının geçirimli betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca üretilen geçirimli betonların uygulamada karşılaştığı ıslak ve kuru haldeki durumları için basınç dayanımları tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında; dolomit ve kireçtaşı agrega kullanılarak yapılan tasarımlar için a/ç oranı 3.5, 4, 4.5 olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda a/ç oranı 3.5 ve 4.5 için ince malzemeli dolomit kullanılarak da geçirimli betonlar hazırlanmıştır. Farklı karışım oranlarında üretilen geçirimli beton numunelerinin basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, boşluk oranı ve geçirimsizlik değerleri belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçları geçirimli beton tasarımda kullanılan a/ç oranının geçirimli betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur. Numunelerin ıslak-kuru haldeki basınç dayanımları arasında büyük farkların bulunduğu tespit edilmiştir. İnce malzemeli agrega kullanımının ise geçirimli betonun basınç ve yarmada çekme dayanımı değerlerini önemli ölçüde düşürdüğü görülmüştür. Çalışma sonunda ise hafif yük altındaki kaplama malzemesi olarak kullanılabilir geçirimli beton karışımları önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geçirimli beton, İnce malzemeli agrega, Islak-kuru basınç dayanımı, Agreganın çimento oranı

A Study on The Effect of Aggregate Type, Aggregate/Cement Ratio and The Use of Aggregate with Fine Materials on The Physical and Mechanical Properties of Pervious Concrete

Abstract

In this study, the effects of aggregate/cement (a/c) ratio, aggregate type, usage of aggregate with fines on the physical and mechanical properties of pervious concrete was investigated. In addition, compressive strengths have been determined for the wet and dry conditions where the pervious concrete produced will be encountered in practice. The a/c ratio was determined as 3.5, 4, 4.5 for mix designs incorporating dolomite and limestone aggregates within the scope of experimental studies. At the same time, pervious concrete was prepared by using dolomite with fines for a/c ratio 3.5 and 4.5. The compressive-split tensile strength, void ratio and permeability values of the pervious concrete specimens prepared at different mixture ratios were determined. The results of the experiments showed that the ratio of a/c used in the production/design of pervious concrete significantly affected the physical and mechanical properties of pervious concrete. It has been found that there are significant differences between the wet and dry compressive strengths of the samples. The use of aggregate with fine material significantly reduced the compressive and split tensile strength values of pervious concrete. At the end of the study, pervious concrete mixes are proposed which can be used as pavement material under light loading.

1. Giriş

Son yıllarda kentleşmenin hızlı gelişimi ile birlikte geçirimsiz üst yapı kaplamalarının

kullanımı yoğunlaşmaktadır. Şehirlerdeki ısınmayla ortaya çıkan düzensiz yağış rejimi, ani ve şiddetli yağışların bu tür geçirimsiz

kaplamalarda yeterli hızda drene edilemeyerek sele dönüşmesine yol açmaktadır. Geçirimli beton; bünyesinde bulunan bir kısmı bağlantılı boşluklardan (%15-35) suyu kolaylıkla geçirebilmesi sayesinde, şiddetli yağışın yüzeysel akışa dönüşme oranını azaltma potansiyeline sahip alternatif bir üst yapı kaplama malzemesidir. Sağladığı drenajla birlikte yeraltı su kaynaklarının beslenmesine de katkıda bulunmaktadır. Buna ek olarak boşluklu yapısından dolayı suyu filtreleme işlevi de görmektedir. Böylece su kaynaklarındaki azalmanın ve kirlenmenin önüne geçilmesi açısından da potansiyel bir kaplama malzemesi olarak düşünülebilir. Geçirimli betonun su geçirgenlik özelliği; tasarımında kullanılan iri agreganın dar bir tane boyut aralığında olması ve ince agregada miktarının minimize edilmesinden (kütlege %10 ve daha az) ileri gelmektedir (ACI, 2010).

Geçirimli betonun tasarımında, agregada/çimento oranı ve agregada tane boyut dağılımı betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini (boşluk oranı, geçirimsizlik, dayanım vb.) etkileyen temel parametrelerdir (Ghafoori ve Dutta, 1995; Akkaya ve Çağatay, 2017). Kullanılan agregada ve çimento miktarı, agregayı çevreleyen çimento hamuru kalınlığını etkilediğinden betonun boşluk yapısını ve mekanik özelliklerini değiştirir. Agregaları çevreleyen çimento hamuru kalınlığı artışı, betonun boşluk oranı değerinin azalmasına ve bunun sonucu olarak bağlantılı boşlukların kaybıyla beraber geçirimsizlik değerinde de azalışa yol açmaktadır. Diğer taraftan agregayı çevreleyen çimento hamuru miktarı artışı ile çekme/basınç dayanımı değerlerinde artış kaydedilmektedir (Torres vd., 2015). Çimento hamuru miktarının yanında kohezyon ve kıvam özellikleri de agregalar arasındaki bağlantının sağlanması açısından etkili bir diğer faktördür. Su/çimento oranı ve süperakışkanlaştırıcı katkı dozajı dengesi kurularak çimento hamurunun kohezyon ve kıvam özellikleri optimize edilebilir.

Geçirimli beton hacminin büyük bir bölümünü oluşturan agregaların kökeni ve kalitesi de beton performansını

etkilemektedir. Aynı agregada/çimento hamuru oranı ve eşit boşluk oranı değerinde bulunan karışımların aşınma dayanımının agregada kökeninden önemli derecede etkilendiği, ince çakıllı numunelerin aşınma dirençlerinin daha az olduğu bildirilmiştir (Gaedicke vd., 2014). Agregada içerisinde bulunan kil-silt gibi ince malzemelerin fazla miktarda bulunması; betondaki agregada ile çimento arasındaki aderansı zayıflatması, çimento hidratasyonunu geciktirmesi, karışım suyu miktarını arttırması, betonun hacim değişikliklerine yol açması, betonda büzülme arttırması nedenleriyle beton dayanımı açısından problem oluşturmaktadır (Baradan vd., 2012). Agregada içerisindeki kil-silt miktarının artmasıyla beraber geleneksel betonun basınç dayanımını düşüğü ve işlenebilirliğinin azaldığı bilinmektedir (İpek vd., 2003).

Geleneksel betonun nem içeriğinin basınç dayanımı üzerinde etkisi olduğu bilinmektedir. Sertleşmiş betonun nem içeriği arttıkça, kapiler boşluklarda bulunan su çimento CSH jeli tarafından adsorbe edilir. CSH jeli genişir ve katı parçacıkların kohezyonu azalır. Bu durum betonun basınç dayanımında bir miktar azalışa neden olmaktadır. Diğer taraftan nem içeriğindeki azalış suyun kama etkisini kırarak CSH jeli tabakalarını birbirine yaklaştırır ve basınç dayanımında artış gözlenir (Neville, 2011). Chen vd. (2000) yaptığı çalışmada geleneksel betonun nem içeriği artışının betonun basınç dayanımını azalttığını, yarmada çekme dayanımı üzerinde ise önemli bir etkisinin olmadığını bildirmişlerdir. Geçirimli beton; yaya yolu, park yeri, düşük yoğunluklu trafiğe sahip yol vb. uygulamalar için tasarlanan bir kaplama malzemesi olması nedeniyle yağışa maruz kalmaktadır. Bundan dolayı geçirimsiz betonun nem içeriğinde sürekli olarak bir değişim söz konusudur. Geçirimli betonlar üzerinde yapılan incelemede, hava kurusu numunelerin basınç dayanımının ıslak durumdaki numunelerine göre %13 daha fazla olduğu bildirilmiştir (Ghafoori ve Dutta, 1995).

Yukarıda özetlenen literatür bilgisi ışığında, bu deneysel çalışmanın amaçları şu şekilde sıralanabilir:

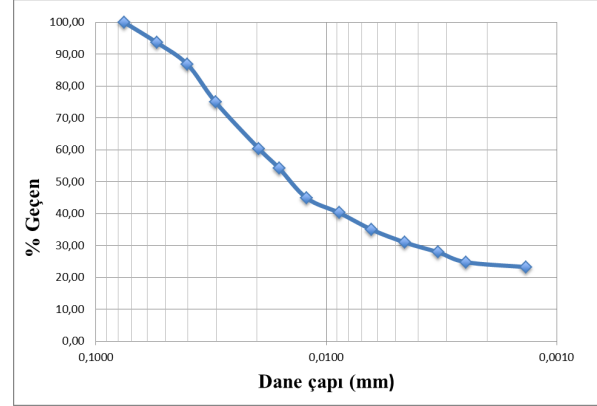
- Geçirimli betonun dayanım ve boşluk özellikleri üzerinde agrega/çimento oranının önemli etkisi vardır. Bu oranın belli bir aralıkta değişiminin beton özellikleri üzerindeki etkisi incelenerek amaca yönelik olarak en uygun agrega/çimento oranı tespit etmek hedeflenmiştir.
- Geçirimli betonun servis ömrü boyunca yağışa maruz kalması nedeniyle, betonun nem durumunun basınç dayanımı üzerine etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir.
- Farklı agrega kökeni ve ince malzeme içeriğinin geçirimli betonun mekanik özelliklerini ve geçirimsizliğini ne derecede etkilediğinin belirlenmesi hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme

Deneysel çalışmada; kireçtaşı, yıkanmış temiz dolomit ve ince malzemeli dolomit olmak üzere toplamda 3 adet agrega kullanılmıştır. Kireçtaşı agregası Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü depo sahasında bulunan temiz kireçtaşı agregasının 4 ve 8 mm elekten geçirilmesiyle elde edilmiştir. İnce malzemeli dolomit agregası Dere Madencilik firmasından temin edilmiş olup ince malzemesi yıkanmadan kullanılmıştır. Temiz dolomit agregası ise ince malzemeli dolomit agreganın 0.063 mm elekten yıkanarak geçirilip temizlenmesi suretiyle elde edilmiştir. Temiz ve ince malzemeli dolomit agregalar da 4 ve 8 mm'lik eleklerden geçirilerek benzer tane boyut dağılımı içinde kalması sağlanmıştır. Agregaların özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. İnce malzemeli dolomit agrega karışımlarında Tablo 2'de belirtilen agrega miktarının kütlece %2'si ince malzemedan oluşmaktadır. İnce malzemenin %75.88'i siltten, %24.12' si ise

kilden oluşmaktadır. Kil-silt miktarı ASTM D 422 - 63 standardı kullanılarak bulunmuş olup, ince malzemenin tane boyut dağılımı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. İnce malzemenin tane boyut dağılımı

Deneysel çalışmada; kireçtaşı, yıkanmış temiz dolomit ve ince malzemeli dolomit olmak üzere toplamda 3 adet agrega kullanılmıştır. Kireçtaşı agregası Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü depo sahasında bulunan temiz kireçtaşı agregasının 4 ve 8 mm elekten geçirilmesiyle elde edilmiştir. İnce malzemeli dolomit agregası Dere Madencilik firmasından temin edilmiş olup ince malzemesi yıkanmadan kullanılmıştır. Temiz dolomit agregası ise ince malzemeli dolomit agreganın 0.063 mm elekten yıkanarak geçirilip temizlenmesi suretiyle elde edilmiştir. Temiz ve ince malzemeli dolomit agregalar da 4 ve 8 mm'lik eleklerden geçirilerek benzer tane boyut dağılımı içinde kalması sağlanmıştır. Agregaların özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. İnce malzemeli dolomit agrega karışımlarında Tablo 2'de belirtilen agrega miktarının kütlece %2'si ince malzemedan oluşmaktadır. İnce malzemenin %75.88'i siltten, %24.12' si ise

2.2. Metot

Beton karışımında 3.5, 4, 4.5 olmak üzere toplamda üç adet agrega/çimento (a/ç) oranı belirlenmiş olup karışım isimlendirmesi agrega kökeni ve a/ç oranına göre yapılmıştır. Karışım oranları Tablo 2'de verilmiştir. Taze betonun karıştırılmasında 12.5 dm³ etkin karıştırma kapasiteli eğik eksenli 30 devir/dakika dönüş hızlı bir portatif laboratuvar mikseri kullanılmıştır. Beton karıştırma süreci 3 aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada kuru karışım 1 dakika karıştırılmıştır. İkinci aşamada karışım hesabında bulunan su miktarının 2/3'ü karışıma ilave edilmiş karışım 1 dakika daha karıştırılmıştır. Üçüncü aşamada kalan su ve süperakışkanlaştırıcının tamamı karışıma eklenerek karışım 1 dakika daha karıştırılmış ve sonlandırılmıştır.

Basınç ve yarmada çekme deneyleri için üçer adet, boşluk oranı ve geçirimsizlik deneyleri için ise üç adet olmak üzere her bir karışım için dokuz adet, toplamda 72 adet 100 mm ayrıtlı küp numune hazırlanmıştır. Karışımlar kalıplara 2 katman halinde ve her katmanda 25 kez şişleme yapılarak yerleştirilmiştir. Numuneler 1 gün kalıp içinde bekletildikten sonra kalıptan çıkarılarak su kaybına uğramayacak şekilde ince plastik film ile sarılmıştır. Numuneler 27. güne kadar laboratuvar ortamında bekletilerek kür edilmiştir. 27. günde numunelerin tamamı 40 °C'de etüve

yerleştirilmiş ve 1 gün süreyle etüve bekletildikten sonra çıkartılmıştır. Etüve bekletilen numunelerden her bir karışım için 6 adedi kuru halde 28. günde basınç ve yarmada çekme testlerine tabi tutulmuşlardır. Geriye kalan üçü ise yoğunluk, boşluk oranı ve geçirimsizlik deneyleri için 1 gün daha 40 °C'de etüve bekletilmiştir. Söz konusu numunelerin 29. günde yoğunluk, boşluk oranı ve geçirimsizlik değerleri belirlenmiş ve bu deneyler belirtilen sırada gerçekleştirildikten sonra ıslak haldeki numuneler de basınç dayanım testine tabi tutulmuşlardır.

Tablo 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan agreg a özellikleri

Agreg a tipi	Agreg a tane sınıfı	Kil ve Silt İçeriği (%)	Özgül Ağırlık	Su emme (%)
Kireçtaşı	4-8 mm	-	2.70	0.3
Yıkanmış Temiz Dolomit	4-8 mm	-	2.82	0.8
İnce malzemeli Dolomit	4-8 mm	2	2.82	0.8

Tablo 2. Geçirimli beton karışım bileşenleri

Agreg a tipi	Karışım Kodu	Agreg a (kg/m ³)	Çimento (kg/m ³)	S.akışkan./Çimento (%)	Su (kg/m ³)
Kireçtaşı	K3,5	1470	420	0.6	126
	K4,0	1520	380	0.6	114
	K4,5	1575	350	0.6	105
Yıkanmış Temiz Dolomit	D3,5	1505	430	0.6	129
	D4,0	1572	393	0.6	118
	D4,5	1620	360	0.6	108
İnce Malzemeli Dolomit	İD3,5	1505	430	0.6	129
	İD4,5	1620	360	0.6	108

* İnce malzemeli dolomit agregası, a/ç oranının üst ve alt sınır değerlerinde (3.5 ve 4.5) kullanılmıştır.

2.3. Deney yöntemleri

2.3.1. Basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri:

Basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri sırasıyla TS EN 12390-3 ve TS EN 12390-6 standartlarındaki yükleme şartlarına uygun olarak 100 mm ayrıtlı küp numunelerde gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımının belirlenmesinde 3 adet örnek 28. günde etüvden çıkarıldıktan sonra başka bir deneye tabi tutulmadan kuru halde, boşluk oranı ve geçirimsizlik deneyi yapılan örnekler ise 29. günde ıslak halde basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Yarmada çekme dayanımı deneyi 3 adet kuru numune etüvden çıkarıldıktan sonra başka bir deneye tabi tutulmadan gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarının ortalaması alınarak ıslak ve kuru haldeki betonun basınç dayanımı ve kuru haldeki betonun yarmada çekme dayanımı değerleri belirlenmiştir.

2.3.2. Birim hacim ağırlık, boşluk oranı ve geçirimsizlik deneyleri:

Birim Hacim Ağırlık değerleri; numunelerin etüv kurusu ağırlığının (40°C de 2 gün bekletilen etüv kurusu ağırlığı), hacim değerine bölünmesiyle elde edilmiştir. Numunelerin ayrıtları kumpas ile her kenarından 2 ölçümün ortalaması alınarak bulunan uzunlukların çarpımıyla hesaplanmıştır.

Boşluk oranı ASTM C1754/C1754M-12 standardında belirtilen A metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Bu metot kullanılarak geçirimsiz betonun boşluk oranı değerinin belirlenmesinden sonra diğer özelliklerinin de (dayanım ve geçirimsizlik gibi) belirlenmesi mümkün olduğundan A metodu kullanılmıştır. Bu metoda göre deneylerin yapılabilmesi için numunelerin 40°C'de 24 saat boyunca etüve atılmasından önce ve sonrasında tespit edilen ağırlıklarının arasındaki farkın %0.5 in altına inmesi gerektiğinden numunelerin toplamda 2 gün etüvde 40°C'de kalması gerekmiştir. Bundan dolayı birim hacim ağırlık ve boşluk oranı deneyi 29. günde yapılmıştır. Söz konusu deneylerin tamamlanmasından sonra

geçirimsizlik deneyi yapılmış, sonrasında ıslak haldeki geçirimsiz betonun basınç dayanım değeri bulunmuştur. Boşluk oranı tayininde Eşitlik 1 kullanılmıştır.

$$P = \left[1 - \left(\frac{W_2 - W_1}{\rho_w Vol} \right) \right] 100(\%) \dots \dots \dots (1)$$

P: Boşluk oranı (%)
W₁: Numunenin su altındaki ağırlığı, g.
W₂: Numunenin fırın kurusu ağırlığı, g.
Vol: Numunenin hacmi, cm³.
ρ_w: Suyun yoğunluğu, g/cm³.

Geçirimsizlik değerlerinin belirlenmesinde numunenin yanal yüzeylerinden akışın meydana gelmemesi için etrafı lateks membranla sarılıp sızdırmazlık sağlanmıştır. Sonrasında 60.5 mm iç çaplı şeffaf boru küp numune üzerine yerleştirilmiştir. Borunun numuneye temas ettiği yüzeyden de sızmanın meydana gelmemesi için plastik kıvamlı hamur ile etrafı sarılmış ve düzenek deneye hazırlanmıştır. Boruya 600 cm³ su konulup su sütununun 400 cm³'ten 200 cm³'e düşmesine kadar geçen süre ölçülmüştür. Eşitlik 2 kullanılarak geçirimsizlik değeri belirlenmiştir.

$$\Phi = \frac{V_w}{A * t} \dots \dots \dots (2)$$

Φ: Geçirimsizlik (cm/sn).
V_w: Tutulan süre içerisinde geçen su hacmi (200 cm³).
t: 200 cm³ suyun geçme süresi (sn).
A: Numune yüzey alanı (100 cm²).

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Boşluk oranı ve geçirimsizlik deney sonuçları

Tablo 3'de sunulan deney sonuçlarına göre a/ç oranı arttıkça, boşluk oranı ve geçirimsizlik değerleri de artmaktadır. Agregas kökeni açısından aynı a/ç oranında kireçtaşı numunelerin temiz dolomitli numunelere göre boşluk oranı değerlerinin daha az olduğu görülmektedir. Bu sonuca paralel şekilde geçirimsizlik değerleri de kireçtaşı agregalı numunelerde daha düşük ölçülmüştür.

Tablo 3. Geçirimli betonların boşluk oranı ve geçirimsizlik değerleri

Karışım kodu	Boşluk oranı (%)	Geçirimsizlik (cm/sn)
K3.5	21.9	0.3
K4.0	24.2	0.6
K4.5	27.7	0.9
D3.5	24.0	0.5
D4.0	28.9	1.0
D4.5	30.0	1.4
İD3.5	30.0	1.3
İD4.5	33.5	3.0

Karışımlarda aynı tane boyut dağılımı aralığında kireçtaşı ve dolomit agreg a kullanılmış olsa da agreg aların boyut dağılımı 4-8 mm arasında dahi farklılık gösterebilmektedir. Bundan dolayı agreg a etrafında oluşan çimento pastası kalınlığı değişebilmektedir. Her bir agreg a tipi için aynı a/ç oranında karışımlar tasarlanmış olmasına rağmen, agreg aların 4-8 mm arasındaki olası farklı boyut dağılımından ötürü, temiz dolomit kullanılan numunelerin kireçtaşı kullanılan numunelere göre boşluk oranı ve geçirimsizlik değerlerinin daha fazla olduğu düşünülmektedir. İnce malzemeli (yıkamamış) dolomit kullanılan numunelerin boşluk oranı değerlerinin a/ç oranı 3.5 ve 4.5 için sırasıyla %30.0 ve %33.5 olduğu görülmektedir. Temiz yıkamış dolomit kullanılan numunelerle karşılaştırıldığında boşluk oranı değerlerinin aynı a/ç oranında daha yüksek olduğu görülmüştür. İnce malzemeli dolomit kullanılan karışımlarda; agreg a ve çimento hamurunda topaklaşmalar meydana gelmiştir. Böylece çimento hamuru numune içerisinde homojen dağılamamış ve belirli bölgelerde

yoğunlaşmıştır (Şekil 2). Bundan dolayı boşluk oranı değerlerinin aynı a/ç oranında temiz dolomit kullanılan numunelere göre daha yüksek olduğu düşünülmektedir. İnce malzeme çimento hamurunun kıvamını ve kohezyonunu olumsuz etkileyerek boşluk yapısında artışa neden olmuştur.



Şekil 2. İnce malzemeli dolomit kullanılan karışımların agreg a ve çimento hamurunda topaklaşmalarına neden olması.

3.2. Birim hacim ağırlık, basınç ve yarmada çekme dayanımı deney sonuçları

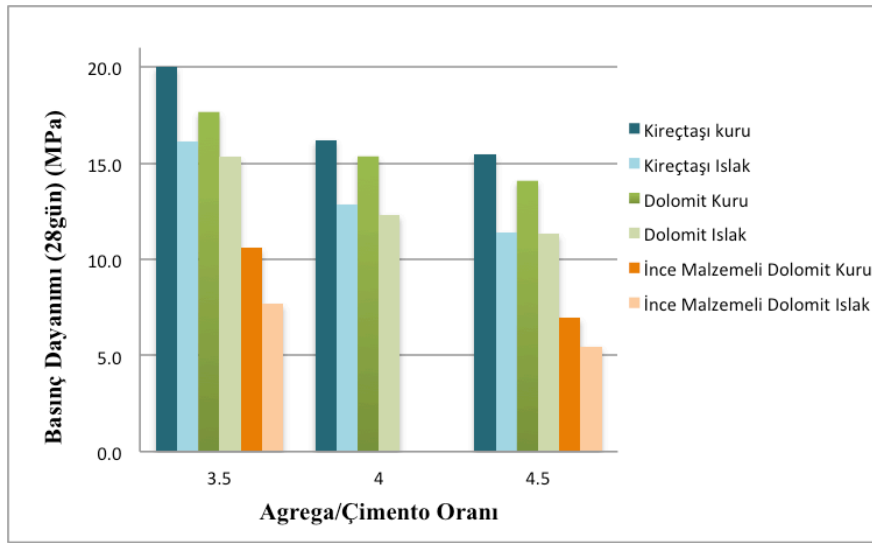
Karışımında çimento içeriği artışı (a/ç oranının düşmesi), agreg a etrafında oluşan çimento pastası kalınlığı artışına neden olmakta, bu da betonun boşluk içeriğini düşürerek daha yoğun içyapıya sahip olmasına ve birim hacim ağırlık değerinde artışa yol açmaktadır. Bundan dolayı her bir agreg a türü için karışımların a/ç oranı arttıkça numunelerin birim hacim ağırlık, basınç ve yarmada çekme dayanımı değerleri azalmaktadır (Şekil 3-4-5).

Agreg a türü açısından değerlendirme yapılacak olursa, Şekil 4'de verilen kuru birim hacim ağırlık değerlerine göre en fazla azalma ince malzemeli dolomit kullanılan betonlardan elde edilmiştir. Bu sonuç bir önceki bölümde sunulan boşluk oranı sonuçları ile uyumludur.

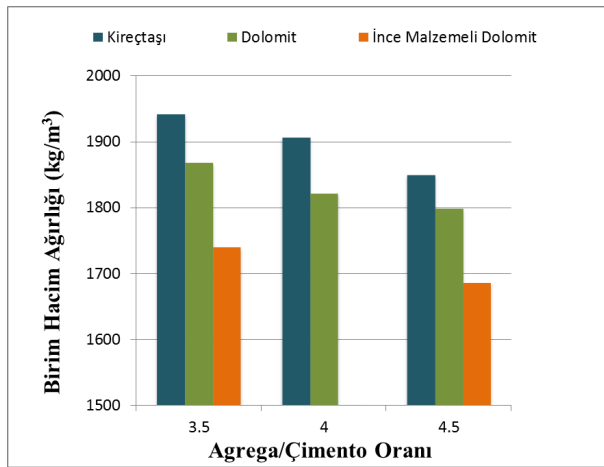
Aynı a/ç oranında kireçtaşı kullanılan numunelerin basınç ve yarmada çekme dayanımları; temiz dolomit kullanılan numunelere göre, temiz dolomit kullanılan

numunelerin ise ince malzemeli dolomit kullanılan numunelere göre daha fazladır (Şekil 3-5). Geçirimli betonların ıslak ve kuru olma durumlarına göre de basınç dayanımları değişmektedir (Şekil 3). Kuru basınç dayanımları ile ıslak basınç dayanımları arasındaki fark: Kireçtaşı agregası kullanılan numuneler için %19.5-26.2 arasında, dolomit agregası kullanılan numuneler için %13.3-19.7 arasında, ince malzemeli dolomit kullanılan numuneler için ise %21.3-27.4 arasında değişmektedir. Her geçirimli beton grubu için kuru basınç

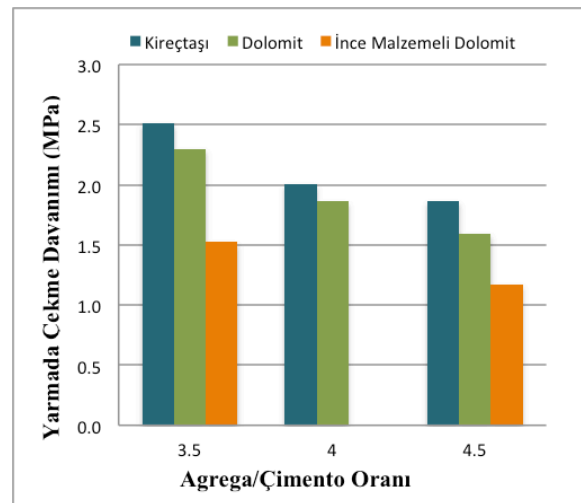
dayanımı ıslak basınç dayanımından fazladır. Geleneksel betona benzer şekilde nemli durumdaki geçirimli beton numunelerinin de daha düşük basınç dayanımı verme nedeninin; çimento hamur fazındaki CSH jeline adsorbe olan su moleküllerinin tabakaları birbirinden uzaklaştırması ve bu nedenle Van der Waals bağlarının zayıflaması olduğu düşünülmektedir. Bu konuda literatürde geleneksel beton için de benzer bulgular elde edilmiştir (Neville, 2011; Chen vd., 2000).



Şekil 3. Geçirimli betonların basınç dayanımlarının agrega/çimento oranına göre değişimi



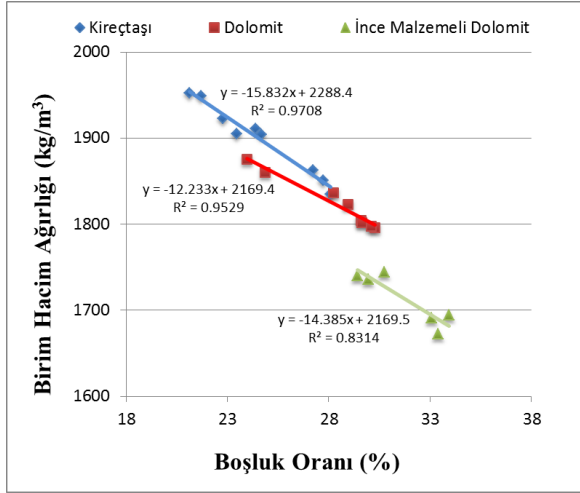
Şekil 4. Geçirimli betonların kuru birim hacim ağırlıklarının agrega/çimento oranına göre değişimi



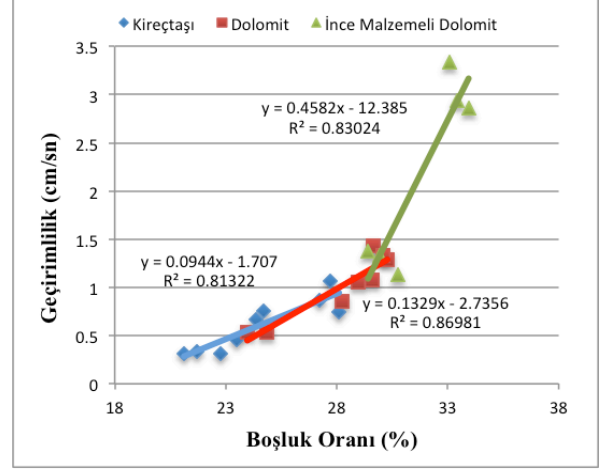
Şekil 5. Geçirimli betonların yarmada çekme dayanımlarının agrega/çimento oranına göre değişimi

3.3. Geçirimli betonların birim hacim ağırlık – boşluk oranı – geçirimsizlik ilişkileri ve mekanik özellikleri ile birlikte değerlendirme

Şekil 6 ve 7’de farklı türde agregalar ile üretilen geçirimsiz betonların boşluk oranı artışı ile kuru birim hacim ağırlık ve geçirimsizlik değerlerinin değişimi görülmektedir. Her agregada türü için yüksek korelasyon oranlarına sahip ilişkiler elde edilmiştir. Geçirimli betonun kaldırım gibi araç yükünün olmadığı kaplamalarda kullanılması halinde 13.8 MPa, trafik yüküne maruz kalması durumunda 20.7 MPa’dan daha yüksek basınç dayanımına sahip olması gerektiği literatürde belirtilmiştir. Geçirimsizlik değerleri ise literatürde 0.003’ten 3.3 cm/s’ye kadar çok büyük aralıkta değişmekte olup herhangi bir standart değer bulunmamaktadır (Kia vd., 2017). Bu çalışmada ise beton numunelerinin geçirimsizlik değerleri 0.3 ile 3 cm/s aralığında değişmekte olup literatürdeki değer aralığında kaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 6. Farklı türde agregalar ile üretilen geçirimsiz betonların kuru birim hacim ağırlık değerlerinin boşluk oranı ile değişimi



Şekil 7. Farklı türde agregalar ile üretilen geçirimsiz betonların geçirimsizlik değerlerinin boşluk oranı ile değişimi

Ancak çevresel şartlar göz önüne alındığında gerekli olan geçirimsizlik değerinin belirlenmesinde meteorolojik verilerin göz önüne alınarak tasarım yapılması gerekmektedir. Basınç dayanımı açısından incelenen numunelerden ıslak koşuldaki hiçbirinin trafik yüküne maruz kalan kaplamalar için gerekli olan sınır dayanım değerini sağlamadığı görülmüştür. Ancak araç yüküne maruz kalmayan kaplamalar için K3.5 ve D3.5 beton numuneleri sınır değeri olan 13.7 MPa basınç dayanım değerini aşmıştır (Kia vd., 2017). Söz konusu tasarımlar mekanik özellikler ve geçirimsizlik açılarından araç yüküne maruz kalmayan kaplamalar için önerilebilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada dar bir aralıkta a/ç değişiminin geçirimsiz betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Beton agregasının ince malzeme içermesinin, geçirimsiz betonun basınç ve yarmada çekme dayanımını büyük ölçüde düşürdüğü, geçirimsiz betonun daha boşluklu yapıya sahip olmasını sağlayarak geçirimsizlik değerlerini arttırdığı belirlenmiştir. Geçirimsiz beton numunelerinin ıslak durumdaki basınç dayanımının kuru haldeki basınç dayanımına kıyasla en az %13.3 en fazla ise %27.4 oranda daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Deneysel çalışma sonuçlarına göre:

- Tüm geçirimli beton gruplarında kuru haldeki basınç dayanımı, ıslak haldeki basınç dayanımından daha fazla olduğundan, geçirimli betonun basınç dayanımı tayininde ıslak durumdaki numunelerin dikkate alınması gerektiği değerlendirilmiştir.
- Geçirimli beton karışımlarında ince malzeme içeren agregaların kullanılması durumunda, geçirimli betonun basınç dayanımının büyük ölçüde düştüğü tespit edilmiştir.
- Geçirimli betonun a/ç değeri arttıkça boşluk oranı ve geçirimsizlik değeri artmakta ve yarmada çekme-basınç dayanımında ise azalma meydana gelmektedir.

Bu çalışmada her ne kadar araç yüküne maruz kalmayan yaya kaldırımları gibi alanlarda kaplama olarak kullanılacak iki adet karışım önerilmiş olsa da, geçirimsizlik değerleri yüksek olan karışım tasarımlarının mineral katkılarla (yüksek fırın cürufu, silis dumanı, pirinç kabuğu külü), kimyasal katkılarla (hiperakışkanlaştırıcılar, kıvam arttırıcı) ve liflerle (polipropilen, cam, polietilen) modifiye edilmesiyle mekanik özelliklerinde gelişme sağlanabileceği öngörülmektedir. Söz konusu amaçlara yönelik çalışmalarımız birinci yazarın yüksek lisans tezi kapsamında devam etmektedir.

5. Teşekkür

Bu çalışma kapsamında gerekli ekipmanların sağlanmasında gösterdiği yakın ilgiden dolayı Doç. Dr. Kamile Tosun Felekoğlu'na teşekkür ederiz. Bu çalışma yüksek lisans öğrencisi İnş. Müh. Özgür Barış Topçu'nun "Geçirimli beton tasarımı ve zemin kaplama bloklarında kullanım olanaklarının araştırılması" konulu ve devam etmekte olan tez çalışmasından türetilmiştir.

6. Kaynaklar

- ACI. 522R-10. Report on Pervious Concrete
ACI Committee 522 (2010)
- Akkaya, A., Çağatay, İ.H. (2017) "Geçirimli Betonların Permeabilite Ölçümleri

Üzerine Deneysel Bir Çalışma". 2 nd
International Mediterranean Science and Engineering Congress, October 25-27, 2017, Adana / TURKEY

ASTM C1754 / C1754M-12, 2012. Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete.

ASTM D 422-63, 2002, Standart Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.

Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S. (2015) "Beton", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 162-166.

Chen, X., Huang, W., Zhou, J. (2012). "Effect of moisture content on compressive and split tensile strength of concrete". *Indian journal of Engineering & Materials Sciences*, 19, 427-435.

Gaedicke, C., Marines, A., Miankodila F. (2014). "Assessing the abrasion resistance of cores in virgin and recycled aggregate pervious concrete". *Construction and Building Materials*, 68, 701-708.

Ghafoori, N., Dutta, S. (1995). "Laboratory Investigation of Compacted No-Fines Concrete for Paving Materials". *Journal of Materials In Civil Engineering*, 7, (3), 183-191.

İpek, M., Meral, Z., Çelik, M. (2003). "Sakarya Pamukova Bölgesinden Alınan Yapay Agregat (kırmataş) İçerisindeki Kil - Silt Miktarının Deneysel Olarak Beton Basınç Dayanımına Etkisi". *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7, (3), 197-204.

Kia, A., Wong, H. S., Cheeseman, C. R. "Clogging in permeable concrete: A

- review". *Journal of Environmental Management*, 193, 221-233.
- Neville, A.M. (2011). "Properties of Concrete 5th ed.", *Pearson Education*, England, 602-603.
- Torres, A., Hu, J., Ramos, A. (2015). "The effect of the cementitious paste thickness on the performance of pervious concrete". *Construction and Building Materials*, 95, 850-859.
- TS EN 12390-3. Deney Numunelerinin Basınç Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-6. Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.