

Bazik Ponza Hafif Agregası ile Üretilen Betonun Basınç Dayanımı, Yoğunluk ve Isı İletkenlik Katsayısı Değerleri

Hatice Çiçek

Dicle Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü
agagonul@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3271-1854

İsmail Ağa Gönül

Dicle Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü
ismail@dicle.edu.tr
ORCID: 0000-0002-9833-7140

ÖZET

Yapılarda en çok kullanılan malzemelerden biri olan beton, "normal agregası" dışında "hafif agregası" ile de üretilen bir malzemedir. Hafif agregası ile üretilen betonun bilinen ilk kullanımı 2000 yıl öncesine dayanmaktadır. Hafif agregası ile üretilen betonun, normal agregası ile üretilen betona göre iki önemli avantajı bulunmaktadır: hafiflik ve daha iyi bir ısı yalıtım performansı. Ancak, hafif agregaların çoğu ile yüksek dayanımlı beton (basınç dayanımı minimum 40 MPa olan beton) üretilmemektedir. Doğal bir hafif agregası olan bazik ponzanın tespit edilen özelliklerinin yüksek dayanımlı beton üretimi için uygun olacağı düşünülmüştür. Bu çalışmada, bazik ponza ile yüksek dayanım hedeflenerek üretilen betonun, basınç dayanımı, yoğunluk (etüv kurusu yoğunluğu) ve ısı iletkenlik katsayısı değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın amaçları doğrultusunda, dokuz farklı beton karışımı hazırlanmış ve bu karışımlardan deney numuneleri üretilmiştir. Üretilen deney numunelerin basınç dayanımı, yoğunluk ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri ilgili Türk standartlarındaki prosedürlere uygun olarak belirlenmiştir. Deneylerin sonucunda elde edilen bulgulara göre, bazik ponza agregası ile yüksek dayanımlı (basınç dayanımı 44,09-66,26 MPa aralığında), yarı hafif olarak nitelendirilebilecek (yoğunluğu 1,93-2,11 Mg/m³ aralığında) ve basınç dayanımı ile yoğunluğu dikkate alındığında ısı iletkenlik katsayısı düşük sayılabilecek (ısı iletkenlik katsayısı 0,81-1,18 W/mK aralığında) beton üretililebileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hafif agregası, Bazik ponza, Yüksek dayanımlı beton, Basınç dayanımı, Yoğunluk, Isı iletkenlik katsayısı

Compressive Strength, Density and Thermal Conductivity Coefficient Values of Concrete Produced with Basic Pumice Lightweight Aggregate

ABSTRACT

Concrete, one of the most used materials in buildings, is a material that can be produced with "lightweight aggregate" in addition to "normal aggregate". The first known use of concrete produced with lightweight aggregate dates back to 2000 years ago. Concrete produced with lightweight aggregate has two important advantages over concrete produced with normal aggregate: lightness and a better thermal insulation performance. However, high-strength concrete (concrete with a minimum compressive strength of 40 MPa) cannot be produced with most lightweight aggregates. It was thought that the determined properties of basic pumice, a natural lightweight aggregate, would be suitable for the production of high strength concrete. In this study, it was aimed to determine the compressive strength, density (oven dry density) and thermal conductivity coefficient values of concrete produced with basic pumice, that had aimed to have high strength. For this purpose, nine different concrete mixtures were prepared and test samples were produced from these mixtures. The compressive strength, density and thermal conductivity coefficient values of the produced test samples were determined in accordance with the

procedures in the relevant Turkish standards. According to the findings obtained from the experiments, it was concluded that concrete could be produced with basic pumice aggregate that has high strength (compressive strength is in the range of 44.09-66.26 MPa), can be described as semi-lightweight (density is in the range of 1.93-2.11 Mg/m³) and has thermal conductivity coefficient values that can be considered low when its compressive strength and density are taken into consideration (thermal conductivity coefficient is in the range of 0.81-1.18 W/mK).

Keywords: Lightweight aggregate, Basic pumice, High strength concrete, Compressive strength, Density, Thermal conductivity coefficient

1. GİRİŞ

Beton, dünyada yapı üretiminde en çok kullanılan malzemelerden biridir. Beton, çimento, agrega, su ve gerektiğinde kullanılan katkılardan oluşan bir kompozit malzemedir. Betonun en önemli bileşenlerden biri agregadır. Beton "normal agrega" dışında "hafif agrega" ile de üretilen bir malzemedir. TS 1114 EN 13055-1 (2004), tane yoğunluğu 2 Mg/m³ ve altında olan agregaları hafif agrega olarak adlandırmaktadır.

Hafif agrega ile üretilen betonun bilinen ilk kullanımı 2000 yıl öncesine dayanmaktadır. Akdeniz bölgesinde hafif agrega ile üretilen betondan inşa edilmiş çok sayıda yapı bulunmaktadır; ancak en dikkat çekici üç yapı erken Roma İmparatorluğu döneminde inşa edilmiştir ve Cosa Limanı, Pantheon Tapınağı ve Kolezyum olarak bilinmektedirler (ACI 213R-03, 2003).

Hafif agrega ile üretilen betonun, normal agrega ile üretilen betona göre iki önemli avantajı bulunmaktadır: hafiflik ve daha iyi bir ısı yalıtım performansı.

Hafif agrega ile üretilen beton, yapının ağırlığını azaltarak, taşıyıcı eleman kesitlerinin incelmeye ve malzeme tasarrufuna imkân vermektedir. Yüksek ve büyük açıklıklı yapılarda hafiflik özellikle önemlidir. Yapının hafiflemesi maruz kalacağı depremin olumsuz etkisini de azaltmaktadır. Hafiflik, prefabrik beton elemanların taşıma, nakliye ve montaj maliyetlerini düşürerek ekonomik bağlamda da yarar sağlamaktadır (Mehta ve Monteiro, 2006).

Hafif agrega ile üretilen betonun ısı iletkenlik katsayısı, normal agrega ile üretilen betona göre daha düşüktür. Isı iletkenlik katsayısı, bir malzemenin ısıyı iletme yeteneğini tanımlayan bir değerdir ve yapı elemanlarının oluşturulmasında kullanılacak malzemelerin bu değerinin düşük olması istenir çünkü ısı iletkenlik katsayısı düşük malzemeler ile oluşturulan yapı elemanının ısı yalıtım performansı daha yüksek olmaktadır.

Taşıyıcı yapı elemanı üretiminde kullanılacak betonun en önemli özelliklerinden biri basınç dayanımıdır. Özellikle yüksek dayanımlı beton kullanımı gerektiren uygulamalarda önemi daha da artmaktadır. Yüksek dayanımlı beton, basınç dayanımı minimum 40 MPa olan betondur (ACI 213R-03, 2003). Bu durumda taşıyıcılık ile ilgili kaygılar ön plana geçerek genellikle normal agrega ile beton üretimine gidilmektedir. Yüksek birim ağırlıklı normal agrega ile daha kolay yüksek dayanımlı beton üretilmesine karşın bu betonun yoğunluğu fazla, dolayısıyla ısı iletkenliği yüksek olmaktadır. Yapının özellikle bazı konumlarında yer alan elemanlarında (yapı kabuğu elemanları gibi) hafif agrega ile üretilmiş hem yüksek dayanımlı hem de yoğunluğu ve ısı iletkenlik katsayısı daha düşük olan beton kullanmak önemli kazanlar sağlayacaktır.

Hafif agreganın her çeşidi ile yüksek dayanımlı beton üretilemez. Yüksek dayanımlı beton üretimine uygun olan ve fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirinden farklı olan hafif agrega çeşitleri ile de basınç dayanımı, yoğunluk ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri birbirinden farklı olan beton üretilir. Bu nedenle farklı hafif agrega çeşitleri ile yüksek dayanımlı beton üretim çabalarına yönelik araştırmaların faydalı olacağı düşünülmektedir. Böylece, farklı hafif agrega çeşitlerinin ne tür imkanlar sağladığı belirlenip karşılaştırılabilecektir.

Hafif agregalar çeşitlerinden biri de bazik ponza'dır. Skoria olarak da bilinmektedir. Moufti vd. (2000), bazik ponzanın hafif beton üretiminde agregalar olarak, çimento üretiminde puzolanik katkı maddesi olarak ve yalıtım amaçlı yapı bloğu üretiminde kullanılabileceğini belirtmektedirler. Doğal bir hafif agregalar olan bazik ponzanın tane yoğunluğu (1.819 Mg/m^3) oldukça yüksektir ve hafif agregalar için üst sınır değeri olan 2 Mg/m^3 değerine yakındır. Bu özelliğinin yüksek dayanımlı beton üretiminde avantaj sağlayacağı düşünülmüştür. Bazik ponza agregası ile ilgili Moufti vd. (2000), Kılıç vd. (2003), Yaşar vd. (2003), Hossain (2006), Gönül (2008), Kılıç vd. (2009), Lau vd. (2014), Gomes (2015) ve SamsonDuna (2017) tarafından yapılan çalışmalar genellikle normal dayanımlı hafif beton üretimine yöneliktir. Bu çalışmada ise bazik ponza ile yüksek dayanım hedeflenerek üretilen betonun basınç dayanımı, yoğunluk (etüv kurusu yoğunluğu) ve ısı iletkenlik katsayısı değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. YÖNTEM

Çalışmanın amaçları doğrultusunda dokuz beton karışımı hazırlanmıştır. Üç farklı su/çimento (S/Ç) oranı ve üç farklı iri agregalar/toplam agregalar (Airi/At) oranının kullanıldığı bu beton karışımlarının özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hazırlanan beton karışımlarının özellikleri

Hazırlanan Beton Karışımları	Bileşenlerin Oranları ve Miktarları										
	Bileşenlerin Oranları		Bileşenlerin Miktarları (1000 dm ³ beton karışımında)								
	Su / Çimento (S/Ç) Ağırlıkça Oran (%)	İri Agregalar / Toplam Agregalar (Airi/At) Hacimce Oran (%)	Çimento Miktarı (kg)	Çimento Hacmi (dm ³)	İri Agregalar (Bazik Ponza) Miktarı (kg)	İri Agregalar (Bazik Ponza) Hacmi (dm ³)	İnce Agregalar (Dere Kumu) Miktarı (kg)	İnce Agregalar (Dere Kumu) Hacmi (dm ³)	Su + Hiper Akışkanlaştırıcı Katkı Miktarı (kg)	İri Agregalar Doyma Suyu Miktarı (kg)	İnce Agregalar Doyma Suyu Miktarı (kg)
B1	30	40	500	160,256	502,134	275,898	1051,169	413,846	143,75 + 6,25	37,310	15,768
B2	30	50	500	160,256	627,670	344,872	876	344,872	143,75 + 6,25	46,640	13,140
B3	30	60	500	160,256	753,20	413,846	700,780	275,898	143,75 + 6,25	55,960	10,510
B4	37,5	40	500	160,256	474,834	260,898	994,019	391,346	187,5 + 0	35,280	14,910
B5	37,5	50	500	160,256	593,542	326,122	828,350	326,122	187,5 + 0	44,100	12,425
B6	37,5	60	500	160,256	712,250	391,346	662,681	260,898	187,5 + 0	52,920	9,940
B7	45	40	500	160,256	447,534	245,898	936,869	368,846	225 + 0	33,256	14,053
B8	45	50	500	160,256	559,417	307,372	780,725	307,372	225 + 0	41,565	11,711
B9	45	60	500	160,256	671,300	368,846	624,580	245,898	225 + 0	49,880	9,370

Dokuz beton karışımında da yüksek dayanım hedeflenmiş ve karışım hesapları yapılırken "mutlak hacim" yönteminden yararlanılmıştır.

Beton karışımlarında normal erken dayanımlı, katkısız Portland çimentosu kullanılmıştır.

Beton karışımlarında ince agregalar olarak en büyük tane boyutu 4 mm, tane yoğunluğu ise $2,538 \text{ Mg/m}^3$ olan dere kumu kullanılmıştır. İri agregalar olarak en büyük tane boyutu 16 mm, tane yoğunluğu ise $1,819 \text{ Mg/m}^3$ olan bazik ponza kullanılmıştır. Beton karışımlarında, dere kumu agregası etüvde tamamen kurutulduktan sonra, bazik ponza agregası ise etüvde tamamen kurutulup 30 dakika su içinde bırakıldıktan sonra kullanılmıştır.

Beton karışımlarının S/Ç oranı %30 olanlarında polikarboksilat esaslı hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

Hazırlanan beton karışımlarından deney numuneleri üretilmiştir. Deney numuneleri, TS EN 12390-1 (2002) ve TS EN 12390-2 (2002) standartlarında verilen kurallara uygun olarak

üretilmiştir.

Basınç dayanımı, yoğunluk ve ısı iletkenlik katsayısı deneylerinin her biri için hazırlanan dokuz beton karışımının her birinden üçer adet deney numunesi üretilmiştir. Böylece, basınç dayanımı deneyleri için 27 adet silindir formlu 150x300 mm boyutlarında, yoğunluk deneyleri için 27 adet küp formlu 100x100x100 mm boyutlarında, ısı iletkenlik katsayısı deneyleri için de 27 adet kare plaka şeklinde 240x240x45 mm boyutlarında deney numunesi üretilmiştir.

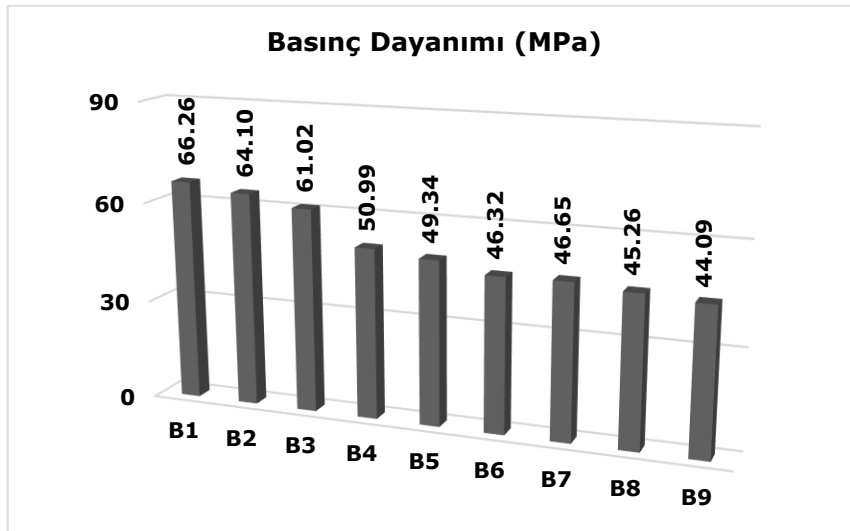
Üretilen deney numuneleri 56 gün boyunca kirece doymun suda kür edilmiştir. Kür işleminden sonra 57. günden 90. güne kadar da doğal ortamda bekletilmiştir. Üretilen betonun uzun dönem performansının belirlenebilmesi için ilgili deneyler 90. günde gerçekleştirilmiştir.

Deney numunelerinin basınç dayanımları TS EN 12390-3 (2003) ve TS EN 12390-4 (2002), yoğunlukları TS EN 12390-7 (2002), ısı iletkenlik katsayıları ise TS ISO 8302 (2002) ile TS 415 EN 12939 (2005) standartlarında belirtilen prosedürlere uygun olarak belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Basınç Dayanımı

Beton numunelerinin basınç dayanımları Şekil 1'de verilmiştir. Beton numunelerinin hesaplanan basınç dayanımları 44,09-66,26 MPa aralığındadır ve her biri 'yüksek dayanımlı' olarak adlandırılabilir basınç dayanımına sahiptir. Basınç dayanımı en düşük olan beton S/Ç oranı %45 ve Airi/At oranı %60 olan betondur. Basınç dayanımı en yüksek olan beton ise S/Ç oranı %30 ve Airi/At oranı %40 olan beton olmuştur.

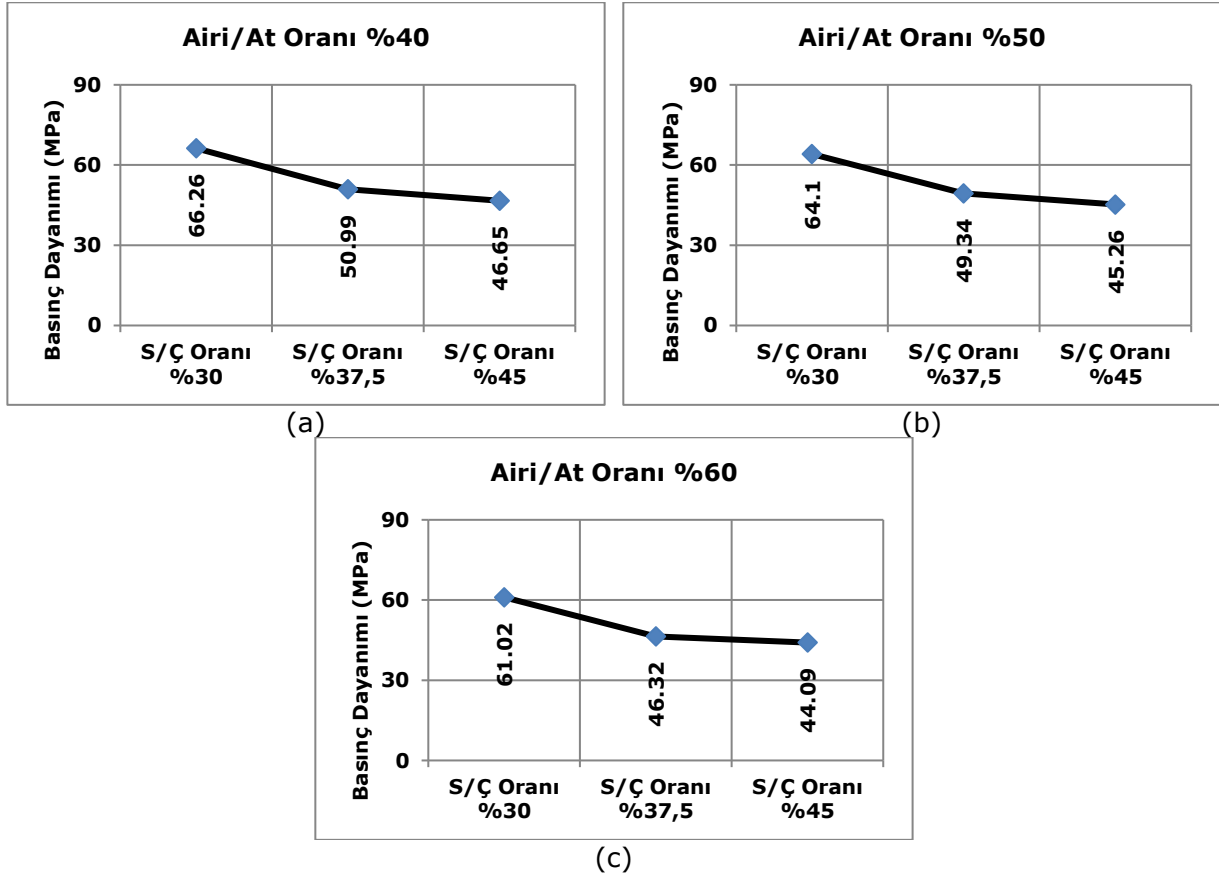


Şekil 1. Beton numunelerinin basınç dayanımları

Basınç dayanımı ve S/Ç oranı ilişkisi Şekil 2'de verilmiştir. Betonun S/Ç oranı arttıkça basınç dayanımı azalmıştır. S/Ç oranı arttıkça betonun bünyesindeki boşluklar ve mikro çatlaklar artmış, bu da basınç dayanımının düşmesine neden olmuştur. S/Ç oranı %30 olan beton numunelerinin (B1-B3) basınç dayanımları ile S/Ç oranı %37,5 ve %45 olan beton numunelerinin (B4-B9) basınç dayanımları arasındaki farklar daha fazla ve belirgindir. S/Ç oranı %30 olan beton numunelerinin üretiminde kullanılan hiper akışkanlaştırıcı katkının bu farkın oluşmasında önemli bir etkisinin olduğu düşünülmektedir. S/Ç oranının %37,5'dan %45'e çıkması ile betonun basınç dayanımında gerçekleşen düşüş ise beklenilenden az olmuştur. S/Ç oranının %37,5'dan %45'e çıkması ile artan su miktarının;

- beton bünyesinde oluşturacağı ekstra boşlukların içsel hidratasyon (artan su miktarının boşluklu bazik ponza agregası tarafından emilmesi ve bu suyun sonradan çimentonun hidratasyon oranını arttıracak şekilde kullanılması) ile azalmış olabileceği ve

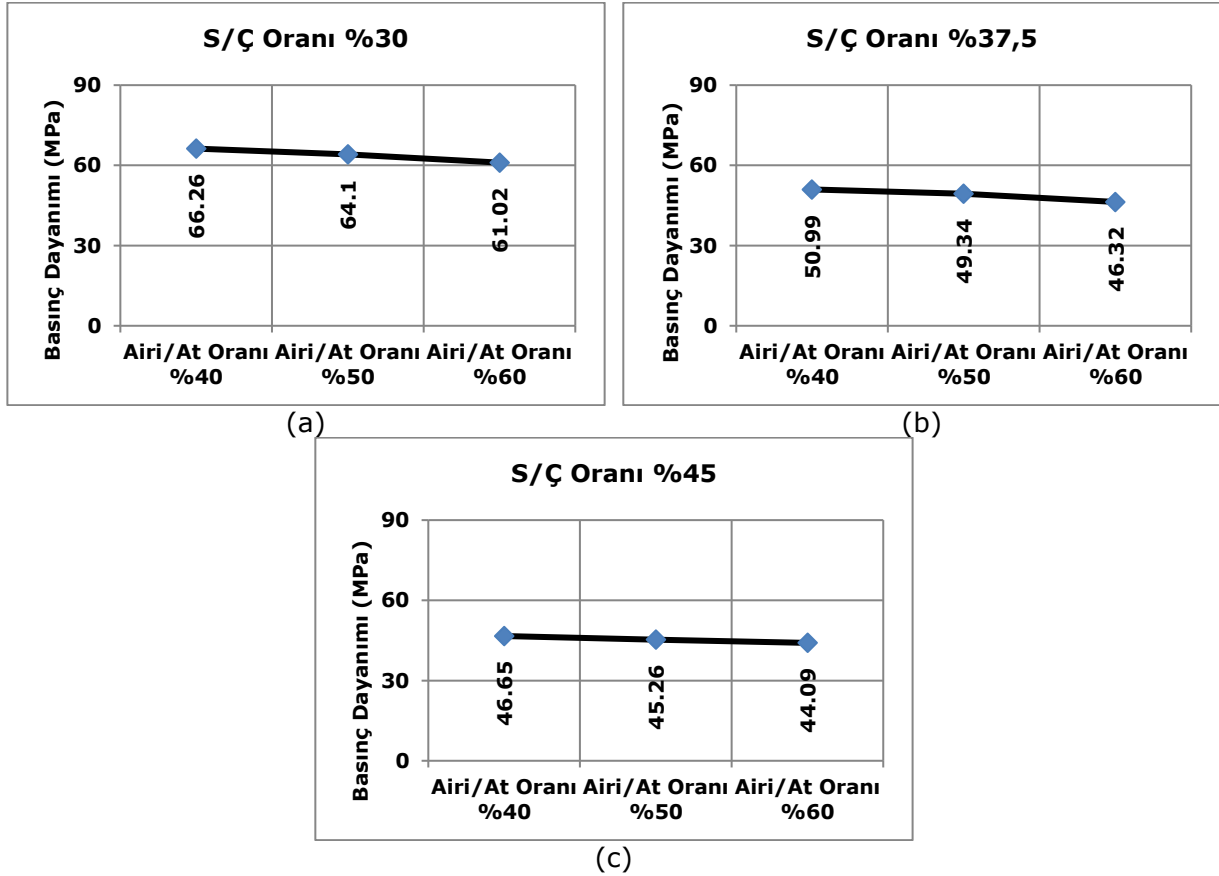
- taze beton kıvamını arttırdığı ve S/Ç oranı %45 olan betonda S/Ç oranı %37,5 olan betona göre daha fazla ancak daha düzgün yayılı olan boşlukların oluşmuş olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 2. Basınç dayanımı ve S/Ç oranı ilişkisi

Basınç dayanımı ve Airi/At oranı ilişkisi ise Şekil 3'de verilmiştir. Betonun Airi/At oranı arttıkça basınç dayanımı azalmıştır. Beton, mikro ölçekte, çimento hamuru, agregalar ve bu ikisi arasında yer alan ara yüzey bölgelerinden oluşmaktadır. Ara yüzeyi bölgesi betonun en zayıf bölgesi olduğu için basınç dayanımının sınırlayıcısı ve belirleyicisidir (Mehta ve Monteiro, 2006). İri agreganın toplam agregada içindeki oranının artmasının, betonun en zayıf bölgesi olan ara yüzey bölgesinin alansal olarak büyümesine neden olduğu ve bunun da betonun basınç dayanımının azalmasına yol açan bir etkisi olduğu düşünülmektedir.

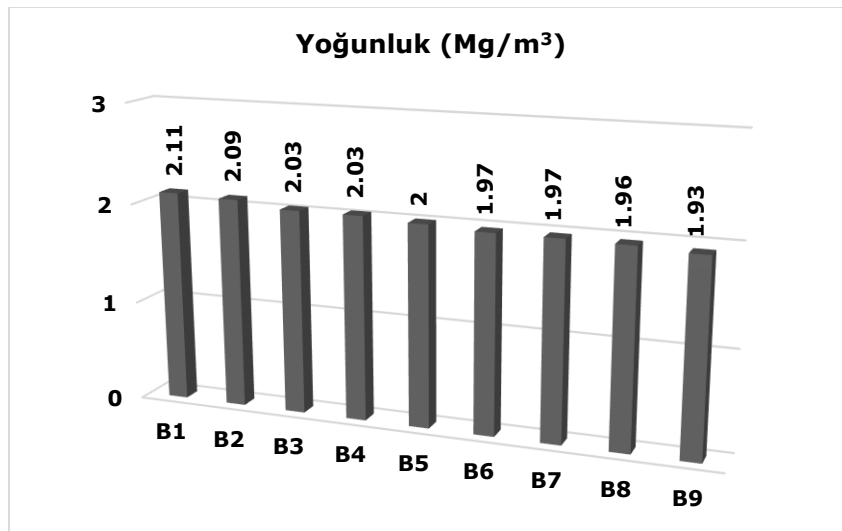
Bu çalışmada bazık ponza ile üretilen betonun basınç dayanımı değerleri, literatürde bazık ponza agregası ile üretilen taşıyıcı hafif betonların basınç dayanımı değerlerinden (Kılıç, 2003; Yaşar, 2003; Moufti vd., 2000) daha yüksektir. Bu farkın oluşmasında, bu çalışmada, daha yüksek dayanımlı ve kalitede çimento kullanılmış olmasının, üretilen beton için daha düşük S/Ç oranlarının seçilmesinin, en düşük S/Ç oranına sahip beton numunelerinde kullanılan hiper akışkanlaştırıcı katkının su ihtiyacını önemli oranda azaltan bir performans göstermesinin ve kür süresi ile deneylerin yapılması için beklenen sürenin, beton performansını arttıracak şekilde doğru seçilmiş olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3. Basma dayanımı ve Airi/At oranı ilişkisi

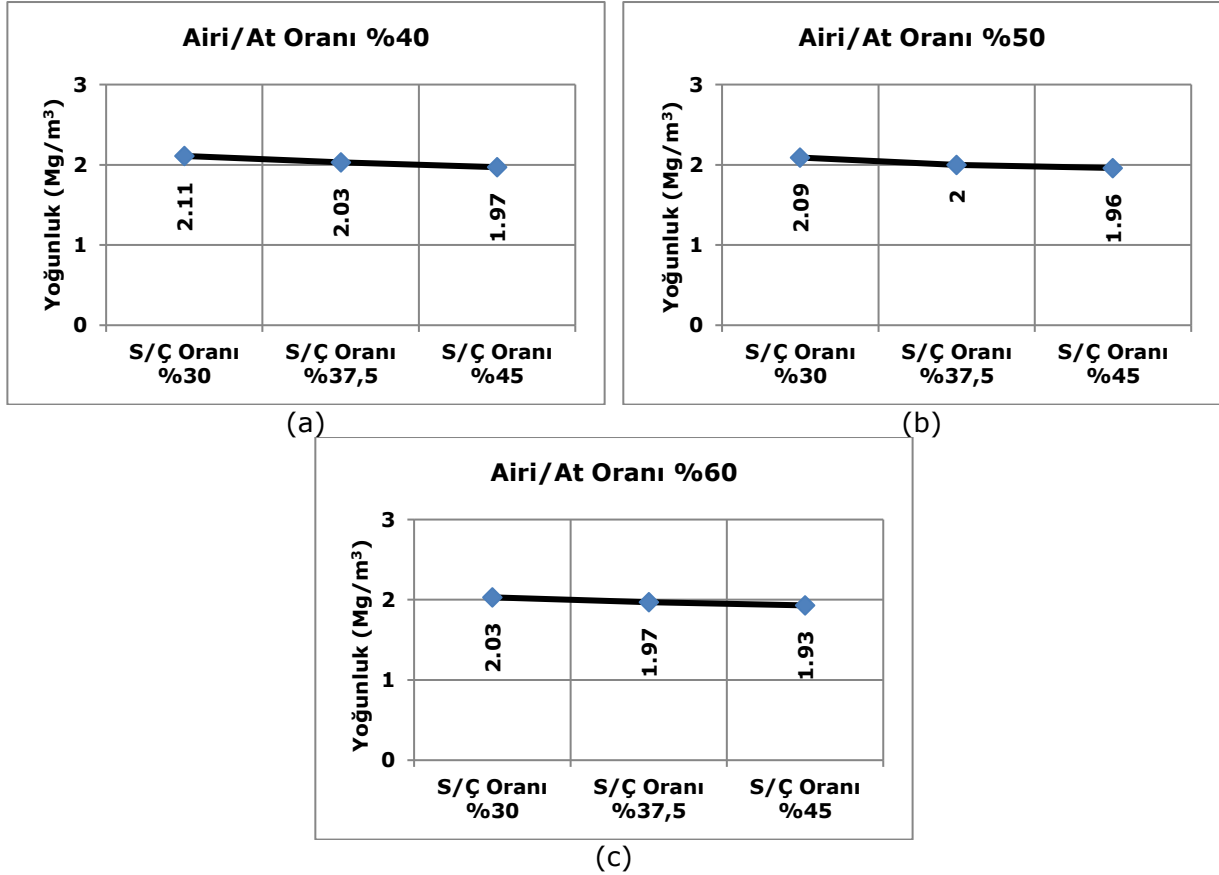
3.2. Yoğunluk

Beton numunelerinin yoğunlukları Şekil 4’de verilmiştir. Beton numunelerinin hesaplanan yoğunlukları 1,93-2,11 Mg/m³ aralığındadır. Yoğunluğu en düşük olan beton S/Ç oranı %45 ve Airi/At oranı %60 olan betondur. Yoğunluğu en yüksek olan beton ise S/Ç oranı %30 ve Airi/At oranı %40 olan beton olmuştur.



Şekil 4. Beton numunelerinin yoğunlukları

Yoğunluk ve S/Ç oranı ilişkisi Şekil 5’de verilmiştir. Betonun S/Ç oranı arttıkça yoğunluk azalmıştır. S/Ç oranı arttıkça betonun bünyesindeki boşluklar artmış, bu da yoğunluğun düşmesine neden olmuştur.

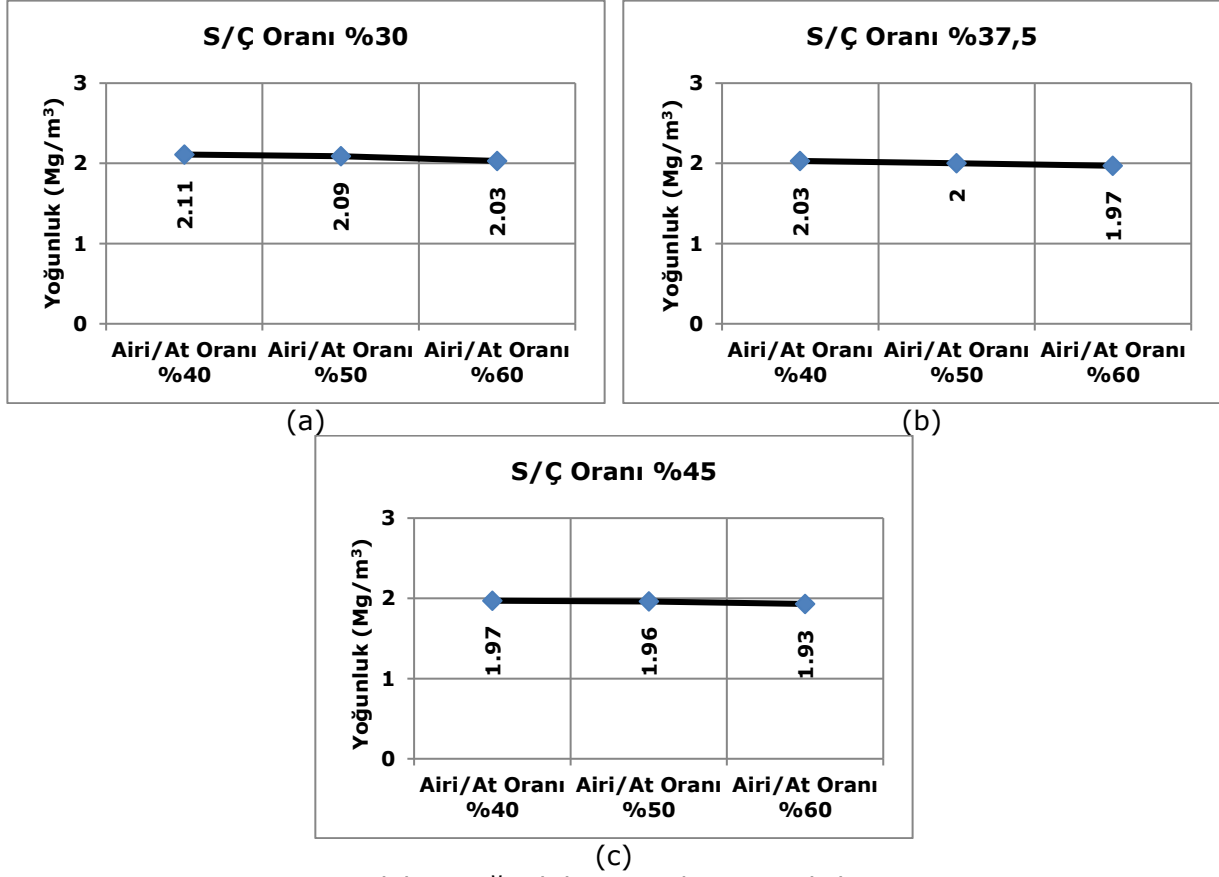


Şekil 5. Yoğunluk ve S/Ç oranı ilişkisi

Yoğunluk ve Airi/At oranı ilişkisi ise Şekil 6'da verilmiştir. Betonun Airi/At oranı arttıkça yoğunluk azalmıştır. Betonun iri agregası olan bazik ponzanın yoğunluğu ince agregası olan dere kumundan daha düşük olduğu için karışımdaki iri agrega oranının artması betonun yoğunluğunun düşmesine neden olmuştur. Bazik ponza ile dere kumunun yoğunlukları arasındaki fark çok fazla olmadığı için beton yoğunluğundaki değişim sınırlı düzeyde kalmıştır.

Betonun yoğunluk bakımından sınıflandırılmasında üzerinde konsensus sağlanmış bir sınıflandırma bulunmamaktadır. B. Postacioğlu'na göre yoğunluğu 1,84 Mg/m³'ü geçmeyen beton hafif beton sınıfına girer (Taşdemir, 2003). RILEM (1978) ise yoğunluğu 2 Mg/m³'ü geçmeyen betonu hafif beton olarak tanımlamıştır. ACI 213R-03 (2003) ve A23.3-14 (2014)'e göre de hafif beton yoğunluğu 1.07-1.87 Mg/m³ aralığında olan, yarı hafif beton (spesifik yoğunluklu beton) yoğunluğu 1.87-2.19 Mg/m³ aralığında olan, normal beton ise yoğunluğu 2.19-2.43 Mg/m³ aralığında olan betondur. Bu çalışmada üretilen beton numuneleri yoğunluk bakımından B. Postacioğlu'na göre "normal beton", RILEM (1978)'e göre bir kısmı "hafif beton" bir kısmı "normal beton", ACI 213R-03 (2003) ve A23.3-14 (2014)'e göre de "yarı hafif beton" olarak nitelendirilebilir.

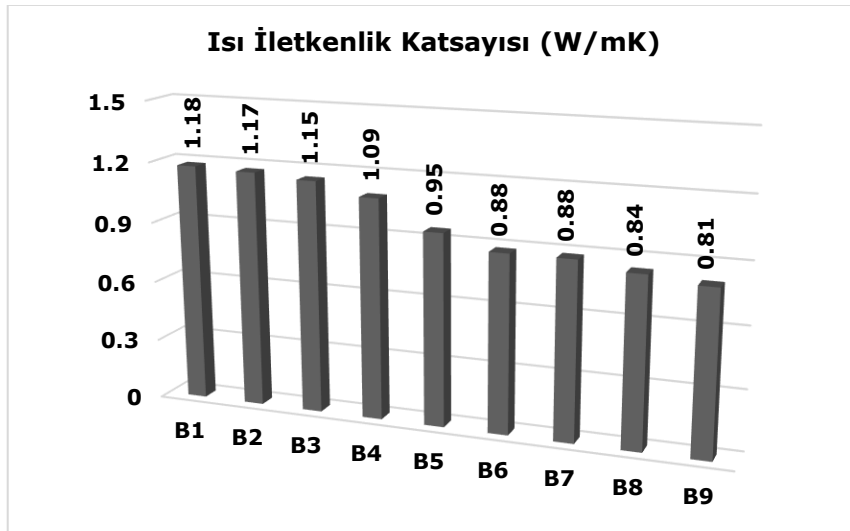
Bu çalışmada bazik ponza ile üretilen betonun yoğunluk değerleri, literatürde bazik ponza agregası ile üretilen beton örneklerinin yoğunluk değerlerinden (Kılıç, 2003; Yaşar, 2003; Moufti vd., 2000) daha yüksektir. İlgili çalışmalardaki örnekler normal dayanımlı hafif beton örnekleridir. Bazik ponza ile yüksek dayanımlı beton elde etmek için hafif beton yoğunluğunun biraz arttırılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6. Yoğunluk ve Airi/At oranı ilişkisi

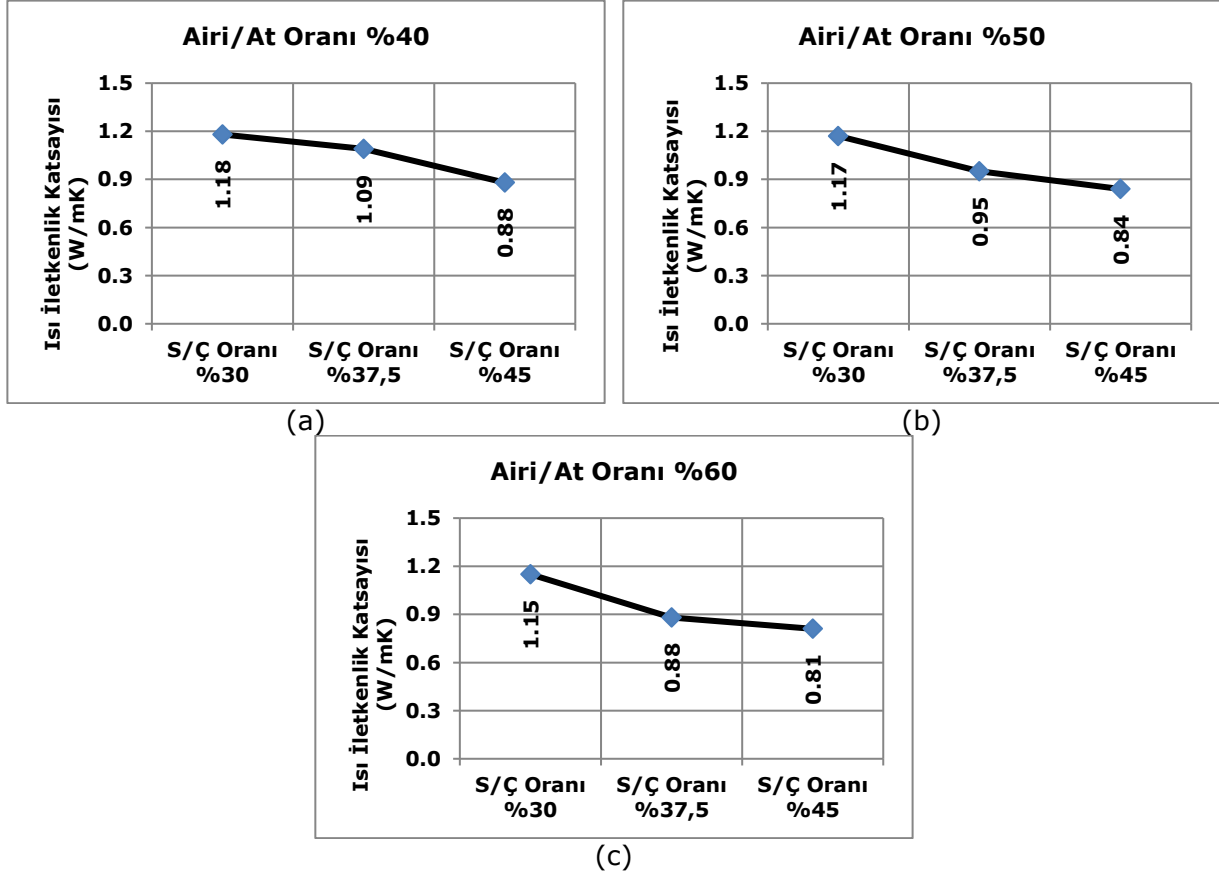
3.3. Isı İletkenlik Katsayısı

Beton numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları Şekil 7’de verilmiştir. Beton numunelerinin hesaplanan ısı iletkenlik katsayıları 0,81-1,18 W/mK aralığındadır. Isı iletkenlik katsayısı en düşük olan beton S/Ç oranı %45 ve Airi/At oranı %60 olan betondur. Isı iletkenlik katsayısı en yüksek olan beton ise S/Ç oranı %30 ve Airi/At oranı %40 olan beton olmuştur.



Şekil 7. Beton numunelerinin ısı iletkenlik katsayıları

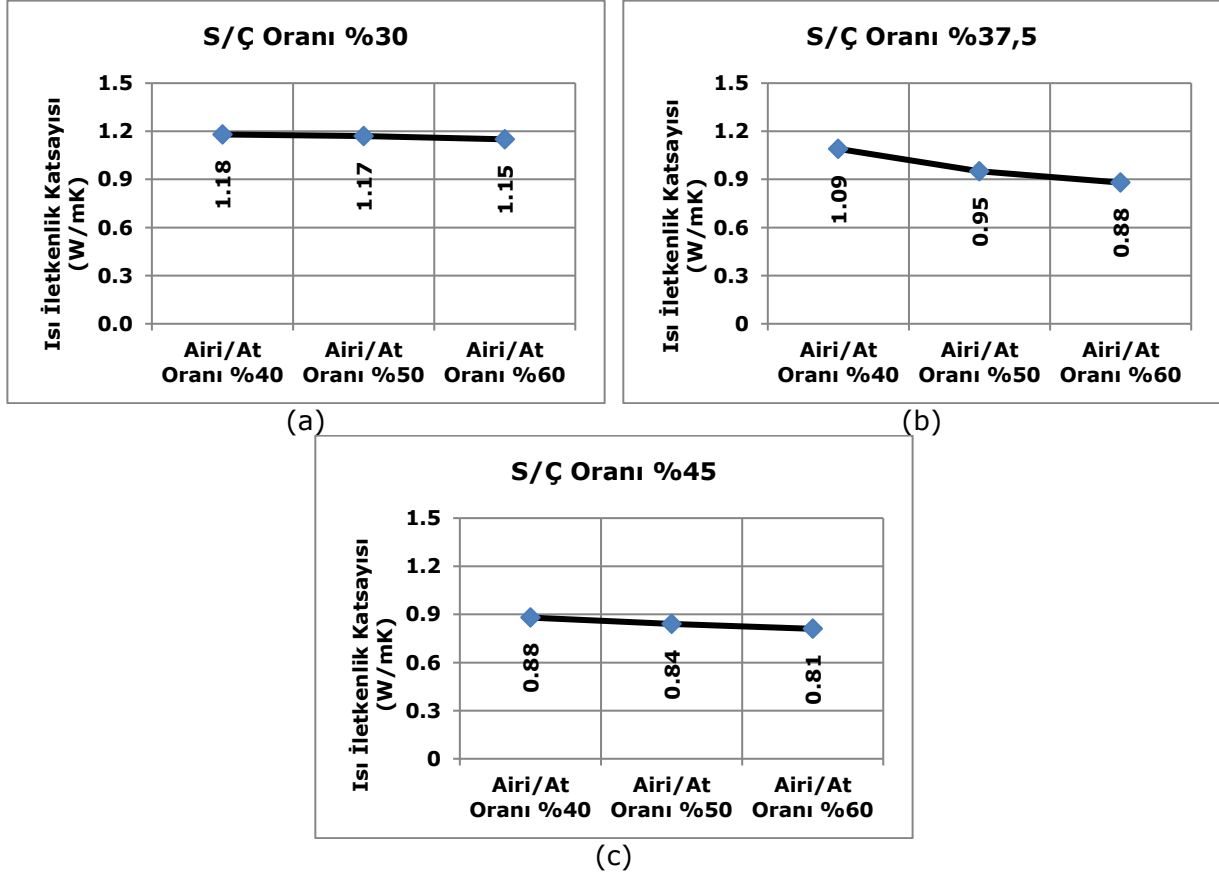
Isı iletkenlik katsayısı ve S/Ç oranı ilişkisi Şekil 8’de verilmiştir. Betonun S/Ç oranı arttıkça ısı iletkenlik katsayısı azalmıştır. S/Ç oranı arttıkça betonun bünyesindeki boşluklar artmış, bu da ısı iletkenlik katsayısının düşmesine neden olmuştur.



Şekil 8. Isı iletkenlik katsayısı ve S/Ç oranı ilişkisi

Isı iletkenlik katsayısı ve Airi/At oranı ilişkisi ise Şekil 9’da verilmiştir. Betonun Airi/At oranı arttıkça ısı iletkenlik katsayısı azalmıştır. Airi/At oranının artması ile S/Ç oranı %37,5 olan betonun ısı iletkenlik katsayısındaki azalma diğerlerine oranla daha fazla olmuştur. Asidik ponza ve genişletilmiş perlit hafif agregaları ile üretilen hafif betonları irdileyen araştırmalarda (Gündüz ve Uğur, 2005; Demirboğa ve Gül, 2003), betondaki hafif agrega oranının artırılmasının ısı iletkenlik katsayısını azalttığı tespit edilmiştir. Bazik ponza için de aynı saptamada bulunulmuştur (Moufti vd., 2000). Bu çalışmada elde edilen bulgular bu bağlamda literatürdeki bulgularla uyumludur.

Bu çalışmada elde edilen ısı iletkenlik katsayısı değerleri (0,81-1,18 W/mK) ile Moufti vd. (2000)’nin bazik ponza ile ürettiği normal dayanımlı (35,8-38,2 MPa), düşük yoğunluklu (1,63-1,74 Mg/m³) beton için elde ettiği ısı iletkenlik katsayısı değerleri (0,168-0,195 W/mK) arasında ciddi farklar vardır. Bu çalışmada yüksek dayanımlı beton elde etmek için yoğunluğun artırılmasının ısı iletkenlik katsayısını da arttırdığı söylenebilir. Öte yandan, Hoff’un çalışmasına göre yoğunluğu 1,92 Mg/m³ civarında olan taşıyıcı betonun ısı iletkenlik katsayısı 0,81-0,90 W/mK arasında ve yoğunluğu 2,05 Mg/m³ civarında olan taşıyıcı betonun ısı iletkenlik katsayısı 1,07-1,10 W/mK arasında değişmektedir (Holm ve Bremner, 2000). Newman’ın yaptığı çalışmaya göre de 2,0 Mg/m³ yoğunluğa sahip olan betonun ısı iletkenlik katsayısı 1,0 W/mK olmuştur (Holm ve Bremner, 2000). Bu çalışmada elde edilen ısı iletkenlik katsayısı değerleri, yoğunluğu daha yüksek olan taşıyıcı beton örneklerinin ısı iletkenlik katsayısı değerlerine yakındır.



Şekil 9. Isı iletkenlik katsayısı ve Airi/At oranı ilişkisi

RILEM (1978), hafif betonu işlevine göre “taşıyıcı”, “taşıyıcı ve yalıtım” ve “yalıtım” olmak üzere üç grup altında sınıflandırmıştır (Tablo 2). Bu sınıflandırmaya göre taşıyıcı işlevli hafif betonun basınç dayanımı 15 MPa’dan büyük, yoğunluğu 2 Mg/m³’den küçüktür. Taşıyıcı işlevli hafif betonun ısı iletkenlik katsayısı ile ilgili bir değer belirtilmemiştir. Taşıyıcı ve yalıtım işlevli hafif betonun basınç dayanımı 3,5 MPa’dan büyük, ısı iletkenlik katsayısı 0,75 W/mK’den küçüktür. Taşıyıcı ve yalıtım işlevli hafif betonun yoğunluğu ile ilgili bir değer belirtilmemiştir. Yalıtım işlevli hafif betonun ise basınç dayanımı 0,5 MPa’dan büyük, ısı iletkenlik katsayısı 0,30 W/mK’den küçüktür. Yalıtım işlevli hafif betonun da yoğunluğu ile ilgili bir değer belirtilmemiştir.

Tablo 2. İşlevine göre hafif betonun sınıflandırılması (RILEM, 1978)

Sınıf	I	II	III
Hafif betonun türü	Taşıyıcı	Taşıyıcı ve yalıtım	Yalıtım
Basınç dayanımı (MPa)	>15,0	>3,5	>0,5
Yoğunluk (Mg/m ³)	<2	Belirtilmemiş	Belirtilmemiş
Isı iletkenlik katsayısı (W/mK)	Belirtilmemiş	<0,75	<0,30

Bu çalışmada yüksek dayanımlı beton (basınç dayanımı minimum 40 MPa olan beton) üretimi hedeflenmiştir. Tablo 2’de, basınç dayanımı 15 MPa’dan büyük olan taşıyıcı işlevli hafif betonun ısı iletkenlik katsayısı için herhangi bir değer belirtilmemiştir. Bu çalışmada kullanılan bazik ponza hafif agregasının tane yoğunluğu (1.819 Mg/m³) oldukça yüksektir ve hafif agregalar için üst sınır değer olan 2 Mg/m³ değerine yakındır. Bu yüksek değere rağmen bu çalışmada ısı iletkenlik katsayısı 0,81 W/mK olan yüksek dayanımlı beton üretilebilmiştir. Beklentilerin çok altında olan bu değer, RILEM (1978)’in 3,5 MPa üstü basınç dayanımına sahip taşıyıcı ve yalıtım işlevli betonun ısı iletkenlik katsayısı için sınır değer olarak belirlediği 0,75 W/mK değerine oldukça yakındır (Tablo 2).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yüksek dayanımlı betonun (basınç dayanımı minimum 40 MPa olan betonun) sıkı bir yapısı olmak zorundadır. Bu zorunluluk doğal olarak betonun yoğunluğunun arttırılmasını gerektirmektedir. Yoğunluğunun arttırılması ise ısı iletkenlik katsayısının artmasına yol açmaktadır. Üretilcek yüksek dayanımlı betonun olabildiğince hafif olması ve ısı iletkenlik katsayısının olabildiğince düşük olması istenir.

Bu çalışmada, doğal bir hafif agrega olan bazik ponza agregası ile yüksek dayanımlı (basınç dayanımı 44,09-66,26 MPa aralığında), yarı hafif olarak nitelendirilebilecek (yoğunluğu 1,93-2,11 Mg/m³ aralığında) ve basınç dayanımı ile yoğunluğu dikkate alındığında ısı iletkenlik katsayısı düşük sayılabilecek (ısı iletkenlik katsayısı 0,81-1,18 W/mK aralığında) beton üretilmiştir. Üretilen betonun su/çimento (S/Ç) oranı ve iri agrega/toplam agrega (Airi/At) oranı arttırıldıkça, basınç dayanımı, yoğunluğu ve ısı iletkenlik katsayısı azalmıştır.

Çalışma kapsamında elde edilen bu beton ile üretilcek olan taşıyıcı yapı elemanlarında ısı köprülerinin azalacağı, yapı ömrünün ve konfor koşullarının artacağı söylenebilir. Ekonomik bağlamda ise enerji tüketiminde azalmaya yol açacağı ve önemli sayılabilecek kazançlar sağlayacağı düşünülmektedir. Bazik ponzanın taşıyıcı işlevli beton üretiminde kullanımı doğal kaynakların değerlendirilmesi açısından da oldukça uygun olacaktır.

Bundan sonraki araştırmalarda, bazik ponza hafif agregası ile birlikte çevresel etki ve maliyet açılarından avantaj sağlayabilecek mineral katkıların da kullanılacağı yüksek dayanımlı beton çalışmalarının faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- A23.3-14, (2014). Design of concrete structures, Canadian Standards, Ontario.
- ACI 213R-03, (2003). Guide for structural lightweight-aggregate concrete, American Concrete Institute, Michigan.
- Demirboğa, R. ve Gül, R., (2003). The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete, Cement and Concrete Research, 33, 723-727.
- Gomes, T.J., (2015). Structural lightweight concrete produced with volcanic scoria from São Miguel Island, Instituto Superior Técnico.
- Gönül, H., (2008). Bazalt skoriasının taşıyıcı yarı hafif beton üretiminde kullanımı, Doktora tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gündüz, L. ve Uğur, İ., (2005). The effects of different fine and coarse pumice aggregate / cement ratios on the structural concrete properties without using any admixtures, Cement and Concrete Research, 35, 1859-1864.
- Holm, T.A. ve Bremner, T.W., (2000). State-of-the-art report on high-strength, high-durability structural low-density concrete for applications in severe marine environments, ERDC/SL TR-00-3 (TR INP-00-2), Washington.
- Hossain, K.M.A., (2006). Blended cement and lightweight concrete using scoria: mix design, strength, durability and heat insulation characteristics, International Journal of Physical Sciences, Vol.1, 1, 5-16.
- Kılıç, A., Atış, C.D., Teymen, A., Karahan, O. ve Arı, K., (2009). The effects of scoria and pumice aggregates on the strengths and unit weights of lightweight concrete, Scientific Research and Essay, Vol.4, 10, 961-965.
- Kılıç, A., Atış, C.D., Yaşar, E. ve Özcan, F., (2003). High-strength lightweight concrete made with scoria aggregate containing mineral admixtures, Cement and Concrete Research, 33, 1595-1599.
- Lau, I., Setunge, S. ve Gamage, N., (2014). Properties of concrete using scoria lightweight aggregate concrete, Proceedings, 23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials, 95-100, Lismore.
- Mehta P.K. ve Monteiro, P.J.M., (2006). Concrete - microstructure, properties, and materials, The McGraw-Hill Companies, Inc., USA.
- RILEM, (1978), "Recommendations: Functional Classification of Lightweight Concrete",



- Materials and Structures, Volume: 11, Issue: 64, Pages: 281 – 282.
- SamsonDuna, A.A., (2017). Utilization of scoria as aggregate in lightweight concrete, International Journal of Engineering Research, Volume No.6, Issue No.1, 34-37.
- Taşdemir, C., (2003). Hafif betonların ısı yalıtım ve taşıyıcılık özellikleri, TMH- Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı: 427, Sayfa: 57-61.
- TS 1114 EN 13055-1, (2004). Hafif agregalar- Bölüm 1: Beton, harç ve şerbette kullanım için, Türk Standartları, Ankara.
- TS 415 EN 12939, (2005). Yapı malzemelerinin ve mamullerinin ısıl performansı- Mahfazalı sıcak plâka cihazı ve ısı akış sayacı metotları ile ısıl direncin tayini- Yüksek ve orta ısıl dirençli kalın mamuller”, Türk Standartları, Ankara.
- TS EN 12390-1, (2002). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri, Türk Standartları, Ankara.
- TS EN 12390-2, (2002). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin yapımı ve küre tabi tutulması, Türk Standartları, Ankara.
- TS EN 12390-3, (2003). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları, Ankara.
- TS EN 12390-4, (2002). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 4: Basınç dayanımı- Deney makinelerinin özellikleri, Türk Standartları, Ankara.
- TS EN 12390-7, (2002). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini, Türk Standartları, Ankara.
- TS ISO 8302, (2002). Isı Yalıtımı- Kararlı halde ısıl direncin ve ilgili özelliklerin tayini- Mahfazalı sıcak plaka cihazı, Türk Standartları, Ankara.
- Yaşar, E., Atış, C.D., Kılıç, A. ve Gülsen, H., (2003). Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash, Materials Letters, 57, 2267-2270.