

MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ BAKIMINDAN GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT AGREGALI HAFİF BLOK

Nihat KABAY *
Ahmet Beşer KIZILKANAT *

Alınma: 05.08.2018 ; düzeltme: 30.10.2018 ; kabul: 13.09.2019

Öz: Türkiye perlit kaynakları açısından oldukça zengin ülkelerden birisidir. Ham perlitin yüksek sıcaklıklarda geniştirilmesi ile elde edilen geniştirilmiş perlit özellikle düşük yoğunluğu ve ısı yalıtım özelliği ile inşaat sektöründe kullanım alanı bulmaktadır. Bu çalışmada geniştirilmiş perlit agregası kullanılarak hafif ve ısı yalıtım özellikli blok üretimi amaçlanmıştır. Bu amaçla bağlayıcı olarak çimento ve uçucu kül kullanılan, su/bağlayıcı oranı 0,40 olan ve perlitin hacimce %40, %50 ve %60 oranında kullanıldığı plak elemanlar üretilmiş, bu elemanlardan uygun boyutlarda kesilerek elde edilen blok numunelerde fiziksel ve mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları, perlit agregasının blok üretiminde kullanılabilirliğini göstermiş, ayrıca bağlayıcı olarak kullanılan çimentonun hacimce %50 oranında uçucu kül ile ikame edildiğinde bloğun fiziksel ve mekanik performansını önemli ölçüde etkilemediği, daha düşük çimento kullanımı ile daha çevreci bir ürün eldesini sağladığını ortaya koymuştur. Bu çalışma kapsamında üretilen geniştirilmiş perlit agregalı bloğun fiziksel ve mekanik özellikler dikkate alındığında gaz beton ile rekabet edebilecek nitelikte bir ürün olduğu, özellikle su emme ve ısı iletkenlik katsayısı açısından daha üstün performans gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Perlit, Blok, Uçucu kül, Isıl iletkenlik, Mekanik özellikler

Mechanical and Physical Properties of Lightweight Blocks with Expanded Perlite Aggregate

Abstract: Turkey is one of the richest countries with large perlite deposits. When exposed to high temperatures perlite expands and this material with its low density and thermal insulation properties is used in several areas of the civil engineering industry. This study aims to manufacture block with lightweight and thermal insulation properties by using expanded perlite as aggregate. For this purpose, plate specimens were manufactured by using cement and fly ash as binders and expanded perlite aggregate was incorporated by 40%, 50% and 60% by volume and the water to binder ratio was fixed as 0.40. Block specimens with predetermined dimensions were obtained by using a diamond saw and physical and mechanical tests were performed. Test results showed that expanded perlite could be used in block manufacturing, besides cement could be substituted with fly ash by 50% by volume without any significant adverse effect on the physical and mechanical properties of the block and therefore could help obtain low cement containing and more environmentally friendly material. The blocks manufactured within the scope of this work were found to show superior performance especially in terms of water absorption and thermal conductivity values and that could compete with autoclaved aerated concrete.

Keywords: Perlite, Block, Fly ash, Thermal conductivity, Mechanical properties

* Yıldız Teknik Üniversitesi, Davutpaşa Kampüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34220, Esenler-İstanbul, Türkiye
İletişim Yazarı: Ahmet B. KIZILKANAT (bkkanat@yildiz.edu.tr)

1. GİRİŞ

Genleştirilmiş perlit, amorf yapılı, silis esaslı volkanik cam olan perlitin 700-1100°C'lere maruz bırakılarak ilk hacminin 35 katından daha fazla oranda genleştirilmesi ile elde edilmektedir. Bu hacim artışı ile perlit önemli ölçüde ısı direnç özelliği kazanır. Türkiye, yaklaşık 4,5 milyar ton perlit rezervi ile dünyanın önde gelen ülkelerindedir (Çelik ve diğ., 2013; Sengul ve diğ., 2011). Tarım, ilaç ve kimya endüstrisinin yanı sıra, yanmaz bir ürün olan genleştirilmiş perlit düşük yoğunluğu, yüksek ısı direnci ile inşaat sektöründe de kullanılan bir yapı malzemesidir. İnşaat sektöründe daha çok briket, sıva, duvar ve döşeme tuğlası imalatında kullanılmaktadır (Topcu ve İsikdag, 2008; Ciullo, 1996).

Çevresel ve ekonomik etkiler göz önüne alındığında her alanda olduğu gibi inşaat sektöründe de yüksek enerji verimliliğine sahip yapı malzemesi kullanılması yönünde bir ihtiyaç vardır. Bu ihtiyacın karşılanabilmesi için imalatta kullanılan yapı elemanlarını oluşturan bileşenlerin üstün ısı yalıtım özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Böylelikle binalarda ısı kayıpları en aza indirilerek, ısıtma ve soğutma için harcanan enerji ve maliyet azalır (Malhotra, 2000; ACI 122R, 2002). Genleştirilmiş perlit çok ince öğütüldüğünde puzolan olarak çimento ile veya doğrudan agrega ile ikame edilerek beton ve harç üretiminde kullanılmaktadır. Normal betonarme betonunun hacimce yaklaşık %75'inin agrega ile kaplandığı göz önüne alındığında, genleştirilmiş perlitin yüksek oranda agrega ile ikame edilmesi harç ve/veya beton ürünün ısı direncini önemli ölçüde artırır (Lanzon ve Ruiz, 2009; Yu ve Lee, 2003; Davraz ve diğ., 2015; Erdem ve diğ., 2007; Kramar ve Bindiganavile, 2013; Bozkurt, 2013). Genleştirilmiş perlit hafif agrega olarak değerlendirildiğinde, düşük yoğunluklu nihai ürünün ısı yalıtım özelliği, içsel kürlenme etkisi, donma-çözülme direnci ve yangın dayanıklılığı geleneksel beton veya harca göre daha yüksektir (Demirboğa ve diğ., 1999; Polat ve diğ., 2015). Ancak mekanik özellikler bakımından bu durum geçerli değildir. Genleştirilmiş perlitin agrega ile %5-10 mertebelerindeki ikamesi basınç dayanımını önemli ölçüde etkilemese de ikame oranı %12-16 ve daha yüksek değerler (Örn. %40) aldığında azalan yoğunlukla beraber basınç dayanımında kayıp fazla olmaktadır (Rozycka ve Pichor, 2016).

Bu çalışmanın amacı bağlayıcı olarak çimento ve uçucu kül içeren harçta genleştirilmiş perlitin farklı oranlarda kullanılması ile üretilen blok elemanların kritik karakteristik özelliklerden özellikle basınç dayanımı ve ısı iletkenlik katsayısının belirlenmesidir. Bu özelliklerin yanı sıra üretilen blok numunelerde; yoğunluk, su emme ve eğilme dayanımı gibi parametreler de belirlenmiştir. Ayrıca deney sonuçları iki farklı yoğunluğa sahip gaz beton ile karşılaştırmalı olarak irdelenmiş ve gaz betona alternatif bir yapı malzemesi olarak genleştirilmiş perlit katkılı duvar bloğunun kullanılıp kullanılmayacağı deneysel olarak araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada; efektif su/bağlayıcı oranı ağırlıkça 0,4 olarak sabit alınan, uçucu külün hacimce %0 ve %50 oranında çimento ile ikame edildiği, genleştirilmiş perlit agregasının toplamda hacimce %40, %50 ve %60'ı oranında kullanıldığı toplam 6 seri plak eleman üretilmiş, plak elemanlar kürün ardından uygun boyutta kesilerek blok numuneler elde edilmiş, bu numunelerde gerçekleştirilen fiziksel ve mekanik deneylerden elde edilen sonuçlar piyasadan temin edilen iki farklı yoğunluğa sahip gaz beton ile karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Deneysel çalışmaya ait detaylı bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

2.1. Malzeme ve Yöntemler

Deneysel çalışmada bağlayıcı olarak CEM I 42.5 R çimentosu ve uçucu kül kullanılmıştır. Harçlarda perlit agregası toplam hacmin %40-60'ı arasında olmak üzere farklı oranlarda kullanıldığından, bu oranları uçucu kül katkılı serilerde sabit tutmak amacı ile farklı özgül

ağırlıklara sahip olan çimento ve uçucu kül, hacimce ikame edilmiştir. Bağlayıcı malzemelere ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çimento ve uçucu küle ait fiziksel ve kimyasal özellikler

Kimyasal bileşim (%)	Çimento	Uçucu kül
SiO ₂	21,4	60,1
Al ₂ O ₃	6,8	19,2
Fe ₂ O ₃	2,9	8,9
CaO	62,0	1,9
MgO	3,1	4,8
SO ₃	2,9	0,9
Özgül ağırlık	3,1	2,15
Özgül yüzey (Blaine, cm ² /g)	3820	3550

Agrega olarak en büyük dane çapı 4 mm, tane yoğunluğu 0,25 kg/m³ olan genişletilmiş perlit kullanılmış, perlit agregası harç hacminin %40, %50 ve %60’ı oranında kullanılmıştır. Karışıma giren perlit agregasının miktarı hesaplanırken mutlak hacim esas alınmıştır. Karışımda su/bağlayıcı oranı tüm serilerde 0,4 olarak sabit alınmış, toplam bağlayıcının ağırlıkça %0,1’i oranında hava sürükleyici katkı maddesi kullanılarak kıvamın iyileştirilmesi ve malzeme yoğunluğunun düşürülmesi amaçlanmıştır. Karışım oranları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. 1m³ blok üretimi için gerekli malzeme miktarları

Seri	Çimento (kg)	Uçucu kül (kg)	Perlit (kg)	Su (kg)	Hava sürükleyici (kg)
C100F0P60	553	-	150	221	0,55
C100F0P50	692	-	125	277	0,69
C100F0P40	832	-	100	333	0,83
C50F50P60	384	266	150	153	0,65
C50F50P50	480	333	125	192	0,84
C50F50P40	574	398	100	230	0,97

Hava sürükleyici katkı bütün serilerde aynı oranda kullanılmıştır. Harç seriler, kullanılan bağlayıcı ve genişletilmiş perlit oranlarına göre şu şekilde kodlanmıştır: “C” çimentoyu, “F” uçucu külü, “P” ise genişletilmiş perlitini temsil etmektedir. Harf kodlamasından sonraki rakamlar ise malzemenin karışımdaki oranını ifade etmektedir. Örneğin, C50F50P60 kodlu seride, genişletilmiş perlitin harç hacminin %60’ı, bağlayıcı fazın ise %40 olduğu ve çimentonun uçucu kül ile hacimce %50 oranında ikame edildiği gösterilmektedir.

Karışım 10 lt kapasiteli harç mikserinde yapılmış, karışımdan önce perlit agregası suya doymun hale getirilmiş ve tüm serilerde doymun halde kullanılmıştır. Karışım için önce bağlayıcı malzemeler ve su, harç mikserine konmuş ve 2 dakika karıştırılmıştır. Ardından doymun haldeki genişletilmiş perlit agregası harca mikser çalışırken 1 dakikada ilave edilmiş, homojen bir karışım elde edilinceye kadar (yaklaşık 5 dakika) karıştırma işlemi düşük hızda devam etmiş, karışım toplam 8 dakikada sonlandırılmıştır. Elde edilen harç malzeme 300x300x50 mm

boyutlu kalıplara yerleştirilmiş, 24 saat sonra kalıptan çıkarılan plak elemanlar 24 saat boyunca 60°C sıcaklıkta buhar banyosunda kür işlemine tabi tutulmuştur. Kür işlemi tamamlanan plak elemanlardan her bir seri için nominal boyutları 100x50x200 mm olan 14 adet prizmatik numune çıkartılmış, bu numunelerin 4'er adedinde basınç ve eğilme deneyi, 3'er numunede su emme deneyleri, kalan 3 numunede ise ısı iletkenlik katsayısı deneyi gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk deneyi, her bir seriden en az altı adet olmak üzere plak elemanlardan artan numunelerde gerçekleştirilmiştir.

Blok numunelerde hava kuru ve etüv kuru yoğunluk TS EN 772-13'e uygun olarak belirlenmiş, bu amaçla deney numuneleri 14 gün boyunca sıcaklığı $\geq 15^{\circ}\text{C}$, bağıl nemi $\leq \%65$ olan laboratuvar ortamında sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiş, tartılmış, ardından $70\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde değişmez ağırlığa kadar bekletilmiştir. Hava kuru yoğunluk, hava kuru ağırlığın numune hacmine, etüv kuru yoğunluk ise etüv kuru ağırlığın numune hacmine bölünmesi ile hesaplanmıştır.

Basınç deneyi TS EN 772-1'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan blok numuneler 14 gün boyunca sıcaklığı $\geq 15^{\circ}\text{C}$, bağıl nemi $\leq \%65$ olan laboratuvar ortamında sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiş, basınç deneyi 0,05 MPa/s yükleme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı, deneyden elde edilen kırma yükünün, yükün uygulandığı kesit alanına oranlanması ile belirlenmiştir.

Eğilme deneyi TS EN 772-6 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş, bu amaçla blok numuneler basınç deneyinde olduğu gibi 14 gün boyunca değişmez ağırlığa gelinceye kadar laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Yükleme hızı, göçme 30 saniye ile 90 saniye arasında olacak şekilde ayarlanmış, eğilme dayanımı aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanmıştır.

$$f_e = \frac{FL}{bh^2} \quad (1)$$

Bağıntıda f_e (MPa) eğilme dayanımını, F (N) kırma yükünü, b (mm) ve h (mm) ise sırası ile genişlik ve yükseklik olmak üzere kesit boyutlarını ifade etmektedir.

Blok numunelerin ağırlıkça su emme oranının belirlenmesi amacı ile deney numuneleri $70\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuş, oda sıcaklığına gelinceye kadar laboratuvar ortamında soğumaya bırakılmış, ardından numune su içinde en az 72 saat süre ile bekletilmiş ve ağırlıkça su emme oranı aşağıdaki bağıntı yardımı ile belirlenmiştir.

$$A_s = \frac{W_H - W_d}{W_d} \times 100 \quad (2)$$

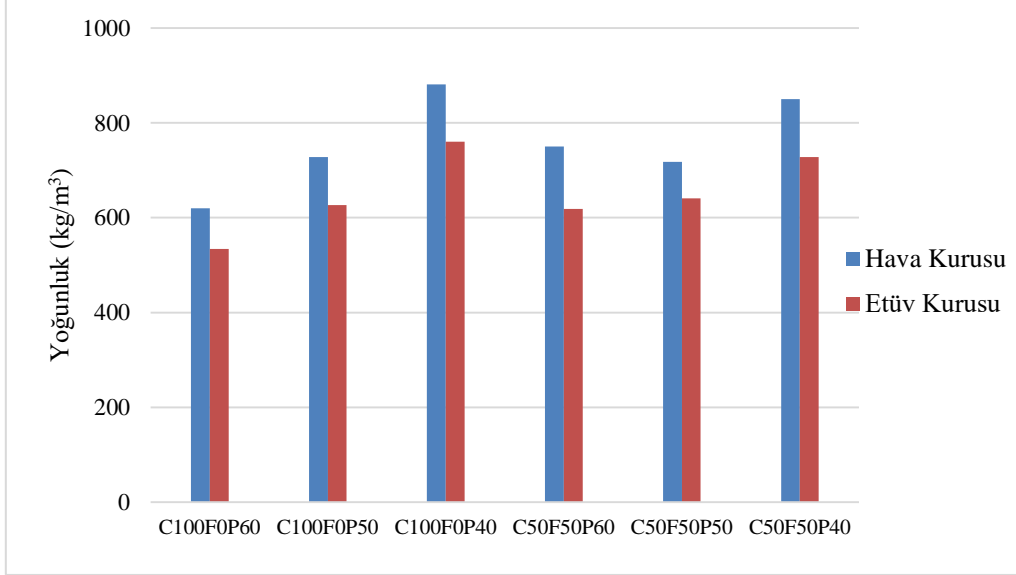
Bağıntıda A_s (%) ağırlıkça su emme oranını, W_H (g) numunenin suya doygun ağırlığını, W_d (g) ise numunenin etüv kuru ağırlığını ifade etmektedir.

Isı iletkenlik katsayısı, ısı akış ölçer cihazı yardımı ile TS EN 12664 ve TS EN 12667 standartlarına uygun olarak etüv kuru numunelerde belirlenmiştir.

3. SONUÇLAR ve İRDELEME

Blok numunelere ait yoğunluk değerleri Şekil 1'de verilmiştir. Buna göre blok numunelerin hava kuru yoğunluğunun yaklaşık $600-850 \text{ kg/m}^3$ arasında, etüv kuru yoğunluğunun ise $530-760 \text{ kg/m}^3$ arasında değiştiği görülmektedir. Karışımdaki perlit agregası oranı azaldıkça blok yoğunluğu artmıştır. Bilindiği üzere boşluklu yapısından dolayı çok daha düşük yoğunluğa sahip olan genleştirilmiş perlit, kullanım oranına göre yoğunluğa da aynı mertebede etki etmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Rozycka ve Pichor, 2016; Sengul ve diğ., 2011; Demirboğa ve Gül, 2003). Çimentonun uçucu kül ile ikamesi, %50 ve %40 oranında genleştirilmiş perlit içeren serilerin yoğunluğunu ihmal

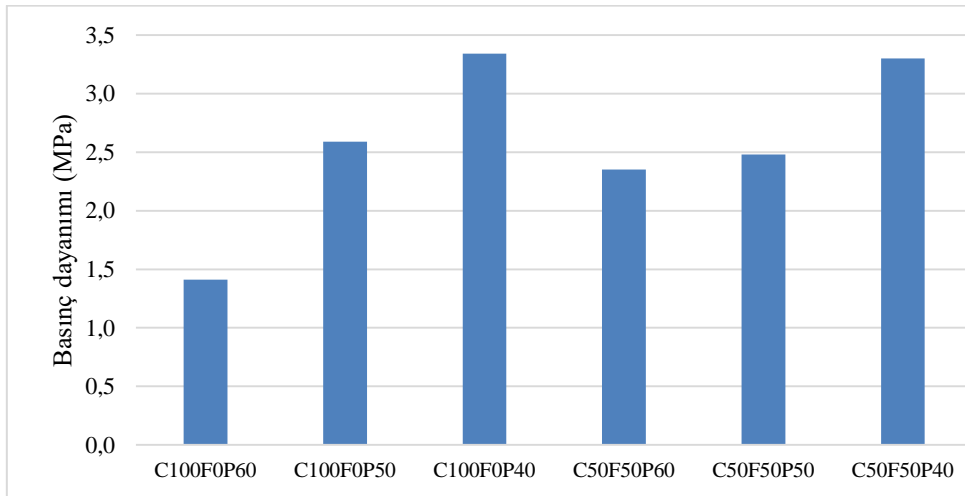
edilebilecek mertebelerde azaltırken, %60 genişletilmiş perlit içeren serinin yoğunluğunu arttırmıştır. En düşük yoğunluk değerleri, hacimce %60 oranında perlit agregası ve bağlayıcı olarak %100 oranında çimento kullanılan C100F0P60 serisinde gözlenmiştir. Genel olarak etüv kurusu yoğunlukların hava kurusu yoğunluklardan ortalama %14 kadar daha düşük olduğu gözlenmiş, karışımlarda uçucu kül kullanımının ve hacimce %40-60 arasındaki genişletilmiş perlit oranının hava kurusu ile etüv kurusu yoğunluklar arasındaki farka herhangi bir etkisi olmamıştır.



Şekil 1:

Blok numunelerin hava kurusu ve etüv kurusu yoğunluk değerleri

Blok numunelere ait basınç deneyi sonuçları Şekil 2’de gösterilmiştir. Basınç dayanımı genellikle malzemenin yoğunluğu ile doğrudan ilişkili bir parametredir ve yoğunluk arttıkça dayanım artar (Sengul ve diğ., 2011). Bu çalışmada da üretilen harçların dayanımındaki değişim yoğunluktaki değişime paralellik göstermiştir.

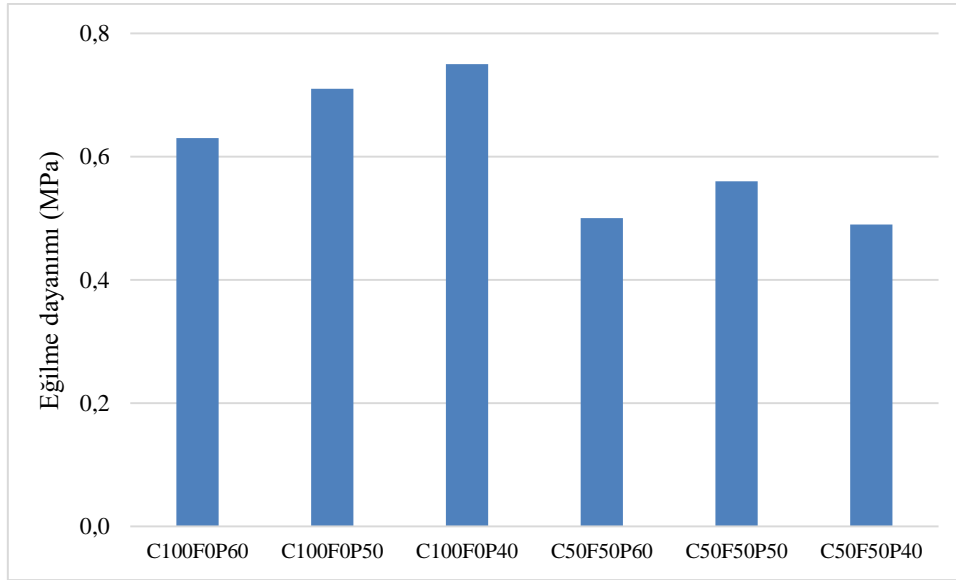


Şekil 2:

Blok numunelerine ait basınç dayanımı değerleri

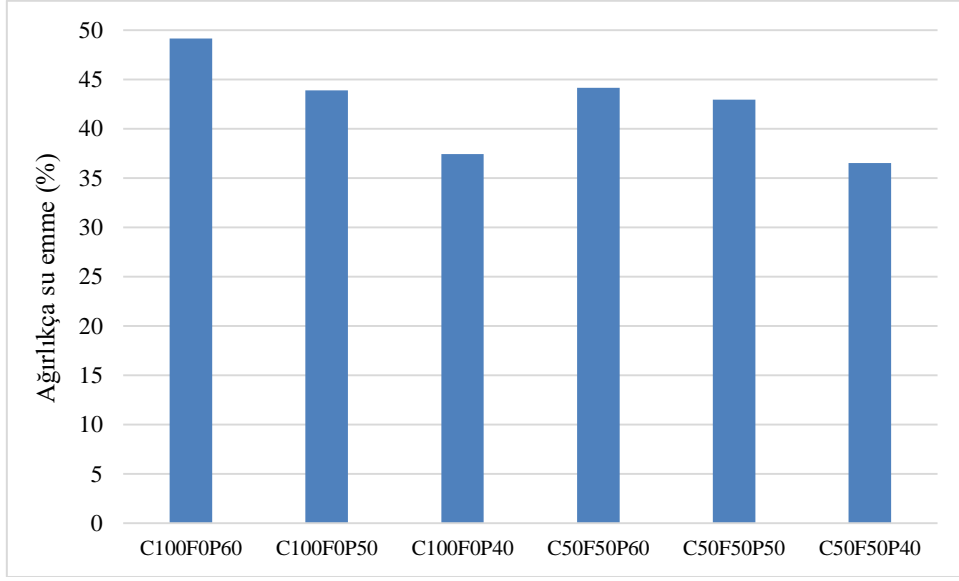
Basınç dayanımı 1,41-3,34 MPa arasında değişmiş, mekanik özellikler bakımında zayıf karakteristiğe sahip olan agregalar çatlak ilerlemesine karşı daha düşük direnç gösterdiklerinden dolayı (Mo ve diğ., 2018) karışımdaki perlit oranı arttıkça blok basınç dayanımı azalmıştır. Çimentonun uçucu kül ile ikamesi basınç dayanımını olumsuz etkilememiş, hatta yüksek perlit agregalı (%60) seride dayanım uçucu kül kullanımı ile yaklaşık %67 oranında artmıştır (Şekil 2). Bu durum uçucu kül kullanımı ile basınç dayanımında ihmal edilebilecek kadar düşük bir oranda kayıpla geliştirilmiş perlit oranının %50'den %60'a çıkarılabileceğini göstermektedir. Diğer serilerde dayanım değerleri Şekil 2'de görüldüğü gibi birbirine yakın sonuçlar vermiştir. En yüksek basınç dayanımı perlit agregasının en az kullanıldığı C100F0P40 ve C50F50P40 serilerinde sırası ile 3,34 ve 3,30 MPa olarak belirlenmiştir.

Blok numunelerde gerçekleştirilen eğilme deneyi sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. Deney sonuçlarına göre eğilme dayanımı uçucu kül kullanılmayan serilerde 0,6-0,8 MPa arasında, uçucu kül kullanılan serilerde ise 0,5-0,6 MPa arasında değişmiştir. Karışımda perlit oranı arttıkça eğilme dayanımı azalmış, uçucu kül kullanılan serilerde de dayanımda azalma gözlenmiştir. Ancak dayanım mertebesinde değerlendirildiğinde, eğilme dayanımının tüm serilerde 0,5-0,8 MPa arasında değiştiği, çalışmada kullanılan perlit ikame oranı aralığının eğilme dayanımına ciddi bir etkisinin olmadığı, uçucu küllü serilerde dayanımın az miktarda düştüğü görülmüştür.



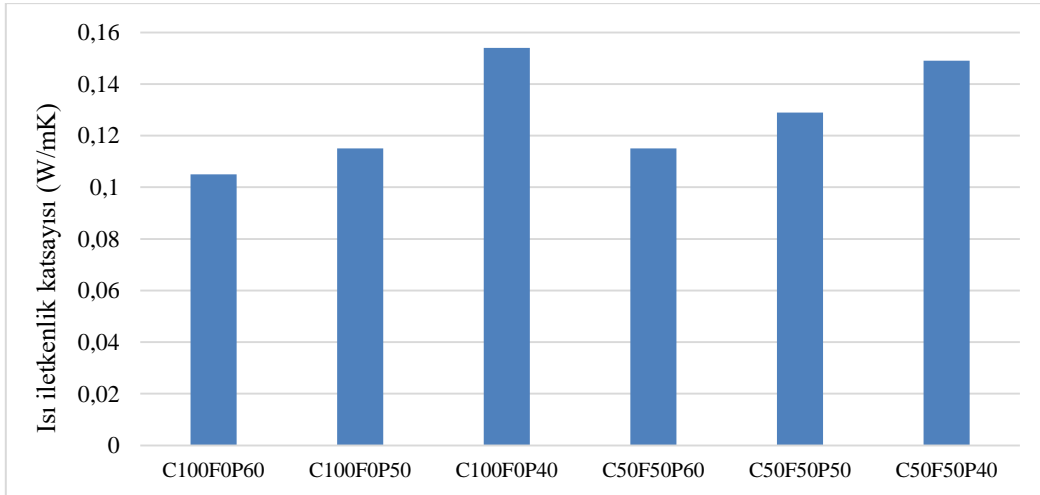
Şekil 3:
Blok numunelerine ait eğilme dayanımı değerleri

Çalışma kapsamında üretilen blok serilere ait ağırlıkça su emme oranları Şekil 4'te verilmiştir. Tüm seriler birlikte değerlendirildiğinde blok numunelerin su emme oranları %50'nin altında çıkmış, matristeki mikro boşluk oranının ve taneler arası makro boşluk oranının artmasına neden olan (Işıkdag, 2015) perlit agregası oranının azalması ile su emme oranı da azalmıştır. Çok belirgin olmamakla birlikte, ince yapısıyla boşlukları doldurarak daha yoğun bir yapı elde edilmesine katkı sağlayan uçucu kül, ağırlıkça su emmede bir miktar azalma sağlamıştır. En yüksek su emme oranı %100 çimento ve %60 geliştirilmiş perlit agregası içeren C100F0P60 serisinde %49,2 olarak, en düşük su emme oranı ise bağlayıcı olarak %50 çimento, %50 uçucu kül kullanılan ve geliştirilmiş perlit oranı %40 olan C50F50P40 serisinde %36,5 olarak belirlenmiştir.



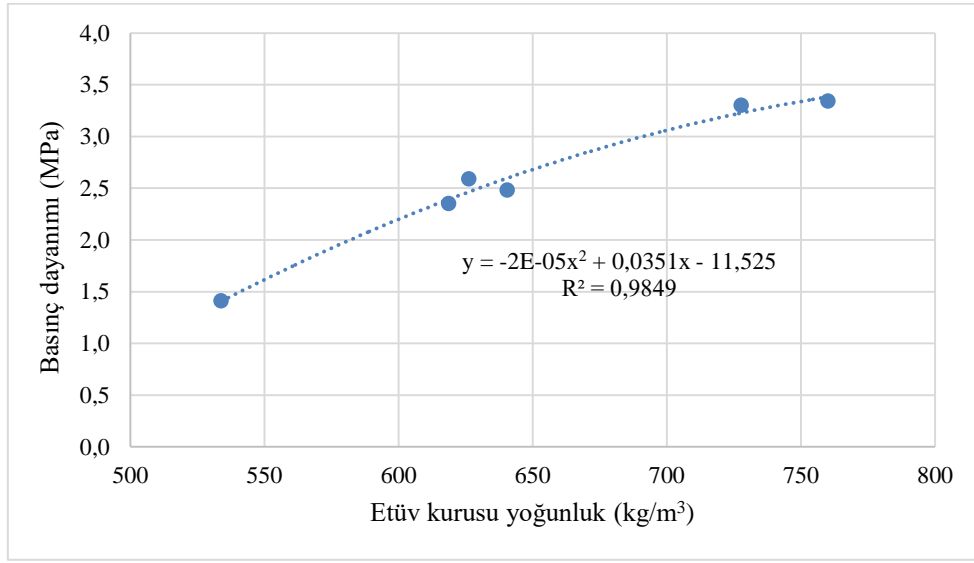
Şekil 4:
Blok numunelerine ait ağırlıkça su emme değerleri

Blok numunelerin ısı iletkenlik katsayıları Şekil 5'te gösterilmiştir. Isı iletkenlik katsayısı yaklaşık 0,10-0,15 W/mK arasında değişen blok serilerde, beklendiği üzere perlit oranı arttıkça ısı iletkenlik katsayısı azalmış, uçucu kül kullanımı ısı iletkenlik katsayısını ciddi oranda etkilememiştir. Uçucu kül kullanımına bakılmaksızın tüm değerler birlikte değerlendirildiğinde; genişletilmiş perlit oranı %40'tan %50'ye çıkarıldığında ısı iletkenlik katsayısının yaklaşık %20 kadar azaldığı görülmektedir. Ancak genişletilmiş perlit oranı %50'den %60'a çıkarıldığında ise bu etkinin azaldığı, ısı iletim katsayısındaki azalma oranının yarı yarıya azalarak yaklaşık %10'a düştüğü tespit edilmiştir. Özellikle dışa kapalı boşlukların ısı akışına karşı gösterdiği dirençten dolayı, ısı iletkenlik katsayısının bu mertebelere kadar düşürülmesinde hava sürükleyici katkı kullanımının da olumlu etkisi göz ardı edilmemelidir.

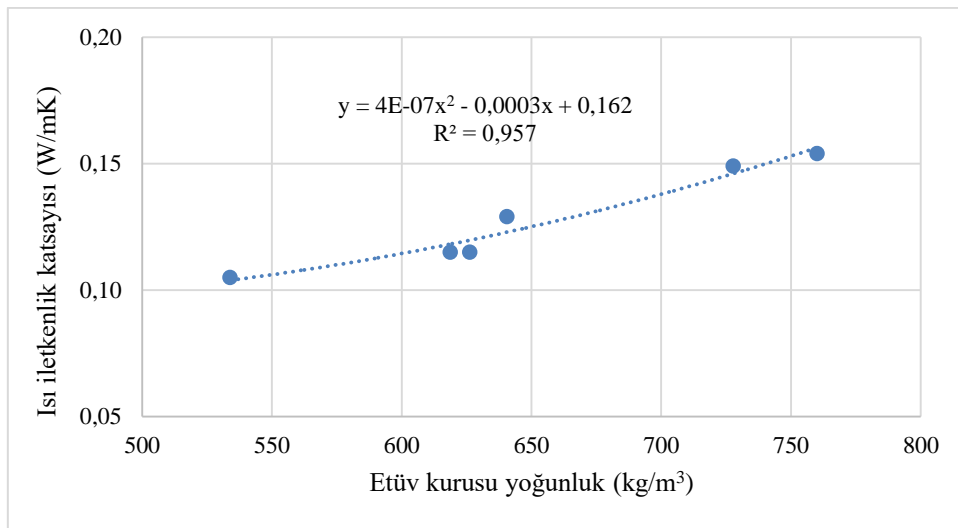


Şekil 5:
Blok numunelerine ait ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Blok serilerde basınç dayanımı ve ısı iletkenlik katsayısının yoğunluk ile ilişkisi Şekil 6-7'de verilmiştir. Her iki şekil, yoğunluğun artması ile basınç dayanımının ve ısı iletkenlik katsayısının arttığını göstermektedir. Yoğunlukları, 700 kg/m^3 'ten düşük olan dört seriye (Grup-1) ve yüksek olan iki seriye (Grup-2) ait ortalama yoğunluklar ile yine bu iki gruba ait ortalama dayanımlar karşılaştırıldığında; yoğunluğun yaklaşık %25 oranında artmasıyla birlikte basınç dayanımının yaklaşık %50 oranında arttığı tespit edilmiştir. Grup 1 ve Grup 2 deki numunelerin ortalama ısı iletkenliği kıyaslandığında ise %25 oranında artan yoğunluğun ısı iletim katsayısını %31 oranında arttırdığı görülmüştür. Artan yoğunlukla birlikte dayanımdaki artış oranı ısı iletim katsayısındaki artış oranından daha fazladır. Buna göre kullanım yeri ve amacına göre ısı iletim katsayısı yaklaşık %30 kadar yüksek olan karışım tercih edildiğinde, bu çalışmada kullanılan malzemeler ile dayanımı yaklaşık %50 daha yüksek bir ürün elde edilmesi mümkündür.



Şekil 6:
Blok numunelerde dayanım-yoğunluk ilişkisi



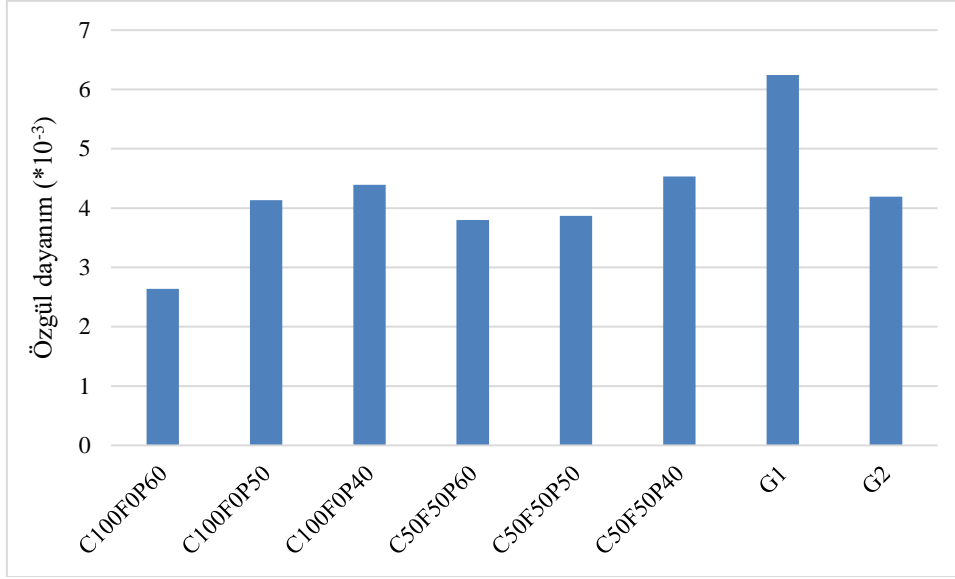
Şekil 7:
Blok numunelerde ısı iletkenlik katsayısı-yoğunluk ilişkisi

Deneyel çalışma kapsamında üretilen blok numunelere ait deney sonuçları, iki farklı yoğunluğa sahip gaz beton seriler ile birlikte Tablo 3'te verilmiştir. Mekanik deney sonuçları dikkate alındığında G1 olarak kodlanan gaz betonun eğilme ve basınç dayanımının diğer serilere oranla daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Yaklaşık 600 kg/m^3 etüv kuru yoğunluğa sahip G1 serisi, bu değere yakın yoğunluğa sahip genleştirilmiş perlit agregalı, C100F0P50 ve C50F50P60 kodlu serilerle kıyaslandığında basınç ve eğilme dayanımının bu serilere göre sırası ile yaklaşık %50 ve %98 oranında daha yüksek olduğu görülmektedir. Ağırlıkça su emme oranı ve ısı iletkenlik katsayısı açısından benzer kıyaslama yapıldığında bu defa genleştirilmiş perlit agregası ile üretilen serilerin (C100F0P50, C50F50P60) G1 gaz betonuna oranla daha iyi performans gösterdiği, su emme oranı ve ısı iletkenlik katsayısının G1'e oranla sırası ile yaklaşık %30 ve %20 oranında daha düşük olduğu görülmektedir. G2 kodlu gaz beton serisi yaklaşık 450 kg/m^3 etüv kuru yoğunluğu ile diğer serilerle kıyaslandığında en hafif olanıdır. Bu seriye ait ağırlıkça su emme oranı %66 ile en yüksek değeri, ısı iletkenlik katsayısı ise $0,106 \text{ W/mK}$ ile en düşük değerlerden birini almıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde bu çalışma kapsamında üretilen genleştirilmiş perlit agregalı blokların özellikle su emme oranı ve ısı iletkenlik katsayısı açısından deneysel çalışma kapsamında değerlendirilen gaz betonlardan daha üstün özelliklere sahip olduğu görülmüştür.

Tablo 3. Blok seriler ile gaz betona ait fiziksel ve mekanik deney sonuçları

Seri adı	Etüv kuru yoğunluk (D_d , kg/m^3)	Ağırlıkça su emme oranı (A_s , %)	Basınç dayanımı (f_c , MPa)	Eğilme dayanımı (f_e , MPa)	Isı iletkenlik katsayısı (λ , W/mK)	Özgül dayanım ($\cdot 10^{-3}$)
C100F0P60	533,9	49,2	1,41	0,63	0,105	2,64
C100F0P50	626,3	43,9	2,59	0,71	0,115	4,14
C100F0P40	760,1	37,4	3,34	0,75	0,154	4,39
C50F50P60	618,7	44,2	2,35	0,50	0,115	3,80
C50F50P50	640,6	43,0	2,48	0,56	0,129	3,87
C50F50P40	727,8	36,5	3,30	0,49	0,149	4,53
Gaz beton 1 (G1)	602,4	62,9	3,76	1,19	0,145	6,24
Gaz beton 2 (G2)	446,2	66,0	1,87	0,65	0,106	4,19

Genelde yapı malzemeleri için önemli parametrelerden birisi olan özgül dayanım her seri için basınç dayanımının etüv kuru yoğunluğa oranlanması ile hesaplanmış, sonuçlar Şekil 8'de verilmiştir. Buna göre en yüksek özgül dayanım değeri G1 serisinde $6,24 \times 10^{-3}$ olarak belirlenmiş, yoğunluk-dayanım perspektifinde en iyi performansı G1 serisi gaz beton göstermiştir. Diğer gaz beton (G2) ile genleştirilmiş perlit agregalı seriler kıyaslandığında C100F0P60 serisi dışında daha üstün veya yakın performans gösterdiği Şekil 8'de açık olarak görülmektedir.



Şekil 8:
Blok ve gaz beton numunelerine ait özgül dayanım değerleri

4. SONUÇLAR

Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde;

- Kullanım yeri ve amacına göre istenen mekanik ve fiziksel özelliklere bağlı olarak perlit agregasının %40-60 arasında farklı oranlarda blok üretiminde kullanılabileceği, perlit oranı arttıkça mekanik dayanımın azaldığı ancak ısı yalıtım özelliğinin arttığı,
- Bağlayıcı olarak kullanılan çimentonun hacimce %50 oranında uçucu kül ile ikame edildiğinde bloğun fiziksel ve mekanik performansını ciddi anlamda etkilemediği, daha düşük çimento kullanımı ile daha çevreci bir ürün eldesini sağladığı,
- Çalışma kapsamında üretilen genişletilmiş perlit agregalı bloğun fiziksel ve mekanik özellikler dikkate alındığında gaz beton ile rekabet edebilecek nitelikte bir ürün olduğu, özellikle su emme ve ısı iletkenlik katsayısı açısından daha üstün performans gösterdiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. ACI 122R, (2014). Guide to thermal properties of concrete and masonry Systems, Detroit.
2. Bozkurt, N. (2013) The effect of high temperature on concrete containing perlite powder, *SDU International Journal of Technologic Sciences*, 5(1), 87-93.
3. Celik, A.G., Kilic, A.M. ve Cakal, G.O. (2013) Expanded perlite aggregate characterization for use as a lightweight construction raw material. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 49(2), 689-700. doi: [10.5277/ppmp130227](https://doi.org/10.5277/ppmp130227)
4. Ciullo, P.A. (1996) *Industrial Minerals and Their Uses: A Handbook and Formulary*, Noyes Publications, NJ, USA.

5. Davraz, M., Koru, M., ve Akdag, A.E. (2015) The effect of physical properties on thermal conductivity of lightweight aggregate, *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 85-92. doi: [10.1016/j.proeps.2015.08.022](https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.08.022)
6. Demirboğa, R., Şahin, R., Bingöl, F. ve Gül, R. (1999) The usability of blast furnace slag in the production of high strength concrete, *Proceedings of the Fifth International Symposium on Utilization of High Strength/High Performance Concrete*, Norway, 1999, 1083-1091.
7. 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. doi: [10.1016/S0008-8846\(02\)01032-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01032-3)
8. Erdem, T.K., Meral, C., Tokyay, M. Ve Erdogan, T.Y. (2007) Use of perlite as a pozzolanic addition in producing blended cements, *Cement & Concrete Composites*, 29, 13-21. doi: [10.1016/j.cemconcomp.2006.07.018](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.07.018)
9. Işıkdağ, B. (2015) Characterization of lightweight ferrocement panels containing expanded perlite-based mortar, *Construction and Building Materials*, 81, 15-23. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2015.02.009](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.009)
10. Kramar, D. ve Bindiganavile, V. (2013) Impact response of lightweight mortars containing expanded perlite, *Cement & Concrete Composites*, 37, 205-214. doi: [10.1016/j.cemconcomp.2012.10.004](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.10.004)
11. Malhotra, V.M. (2000) Role of supplementary cementing materials in reducing greenhouse gas emissions, *Concrete Technology for a Sustainable Development in the 21st Century*, E&FN Spon, London. 226-235.
12. Mo, K.H., Lee, H.J., Liu, M.Y.J. ve Ling, T.C. (2018) Incorporation of expanded vermiculite lightweight aggregate in cement mortar, *Construction and Building Materials*, 179, 302-306. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2018.05.219](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.219)
13. Polat, R., Demirboğa, R. ve Khushefati W.H. (2015) Effects of nano and micro size of CaO and MgO, nano-clay and expanded perlite aggregate on the autogenous shrinkage of mortar, *Construction and Building Materials*, 81, 268-275. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2015.02.032](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.032)
14. Rózycka, A. ve Pichór, W. (2016) Effect of perlite waste addition on the properties of autoclaved aerated concrete, *Construction and Building Materials*, 120, 65-71. doi: [10.1016/j.conbuildmat.2016.05.019](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.019)
15. Sengul, O., Zaizi, S., Karaosmanoglu, F. ve Tasdemir, M.A. (2011) Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete. *Energy and Buildings*, 43, 671-676. doi: [10.1016/j.enbuild.2010.11.008](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.11.008)
16. Topcu, İ.B. ve Isikdag, B. (2008) Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete, *Journal of Materials Processing Technology*, 204, 34-38. doi: [10.1016/j.jmatprotec.2007.10.052](https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.10.052)
17. Torres, M.L. ve Ruiz, P.A.G. (2009) Lightweight pozzolanic materials used in mortars: Evaluation of their influence on density, mechanical strength and water absorption, *Cement & Concrete Composites*, 31, 114-119. doi: [10.1016/j.cemconcomp.2008.11.003](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2008.11.003)
18. TS-EN772-1, (2015), Kâgir birimler - Deney yöntemleri – Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
19. TS-EN772-6, (2004), Beton kâgir birimlerin eğilmede çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

20. TS-EN772-13, (2002), Kagir birimlerin net ve brüt kuru birim hacim kütlelerin tayini (doğal taş hariç), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
21. TS-EN12664, (2009), Yapı malzemeleri ve mamulleri - Isıl direncin, korumalı tablalı ısıtıcı ve ısı akı ölçerin kullanıldığı metotlarla tayini - Isıl direnci orta ve düşük seviyede olan kuru ve rutubetli mamuller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
22. TS-EN12667, (2003), Yapı malzemeleri ve mamullerinin ısı performansları-Mahfazalı sıcak plaka ve ısı akış sayacı metotlarıyla ısı direncin tayini-Yüksek ve orta ısı dirençli mamuller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
23. Yu, L.H., Ou, H., ve Lee, L.L. (2003) Investigation on pozzolanic effect of perlite powder in concrete, *Cement and Concrete Research*, 33, 73-76. doi: [10.1016/S0008-8846\(02\)00924-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00924-9)