

GENLEŞTİRİLMİŞ POLİSTİREN GRANÜLLERİ İÇEREN HAFİF BETONLARIN SERTLEŞMİŞ HALDEKİ ÖZELİKLERİ

Mehmet CANBAZ^{1*}, Mustafa EZİCİ²

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 26480, Eskişehir,

ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-0175-6155>

² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 26480, Eskişehir,

ORCID No: <http://orcid.org/0000-0001-6037-9022>

Anahtar Kelimeler

Hafif beton, EPS granüller, mekanik özellikler, fiziksel özellikler.

Öz

Geleneksel malzeme bileşenlerinin yerine atık malzemelerin, bağlayıcı malzemelerin veya farklı agrega tür ve boyutlarının kullanılmasıyla elde edilen betonların davranışları üzerine önemli çalışmalar yapılmaktadır. Yapıların iyi bir ısı yalıtımına, depreme karşı dayanıklı ve yapı elemanlarının hafif olma gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bunun yanında, inşaat malzemeleri üzerine çevresel olarak sürdürülebilir hammaddelerin kullanılmasına olan ilgi artmaktadır. Bu amaçla, bu çalışmada Agregat olarak Genleştirilmiş Polistiren Köpük (EPS) granüller kullanılmıştır. Çalışma kapsamında su-çimento oranı 0.4 ve 0.5 olacak şekilde, agrega-çimento oranı 1 ve 2 olacak şekilde 4 farklı karışım hazırlanmıştır. Üretilen karışımlardan 4x4x16 cm boyutlu prizma kalıplar kullanılarak numuneler alınmıştır. Üretilen numunelerin birim ağırlıkları, ultrases geçiş hızları, ağırlıkça su emmeleri, eğilme ve basınç dayanımları hesaplanmıştır. Deney sonuçları, birim ağırlığı 1000-1500 kg/m³ aralığında basınç dayanımı 10-17 MPa aralığında taşıyıcı hafif betonlar elde edilmiştir. 10 MPa'nın altına düşmeyen dayanımları bu ürünlerin blok veya panel şeklinde bölme duvar elemanı olarak kullanılabilceğini göstermektedir. Dayanım artışı istendiğinde su-çimento oranının 0.4'e düşürülerek 15 MPa üstünde basınç dayanımları elde edilebileceği görülmüştür.

PROPERTIES OF LIGHTWEIGHT CONCRETE CONTAINING EXPANDED POLYSTYRENE BEADS

Keywords

Lightweight concrete, EPS beads, mechanical properties, physical properties.

Abstract

There are important studies on the behavior of concrete obtained by using waste materials, binding materials or different aggregate types and sizes instead of traditional material components. The need for good thermal insulation, earthquake resistance and lightness of building elements has emerged. In addition, there is increasing interest in using environmentally sustainable raw materials on construction materials. For this purpose, Expanded Polystyrene Foam (EPS) granules were used as aggregate in this study. Within the scope of the study, 4 different mixes were prepared with a water-cement ratio of 0.4 and 0.5, and an aggregate-cement ratio of 1 and 2. Samples were taken from the mixtures produced using 4x4x16 cm prism molds. The unit weights, ultrasound transmission rates, water absorption by weight, bending and compressive strengths of the produced samples were calculated. According to the test results, light bearing concretes with a unit weight of 1000 to 1500 kg/m³ and a compressive strength of 10 to 17 MPa were obtained. Their strengths that do not fall below 10 MPa show that these products can be used as partition wall elements in the form of blocks or panels. It has been observed that compressive strengths above 15 MPa can be obtained by reducing the water cement ratio to 0.4 when an increase in strength is required.

* Sorumlu yazar; e-posta : mcanbaz@ogu.edu.tr



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Araştırma Makalesi		Research Article	
Başvuru Tarihi	: 07.07.2021	Submission Date	: 07.07.2021
Kabul Tarihi	: 22.11.2021	Accepted Date	: 22.11.2021

1. Giriş

En yaygın yapı malzemesi olarak kullanılan beton, düşük çekme dayanımına, yüksek birim ağırlığa sahiptir. Öncelikle bu zayıf noktalar, ağır yapılara ve dolayısıyla sismik uyarılar sırasında büyük atalet kuvvetlerine neden olur. Öte yandan, betonun düşük çekme dayanımı ve kırılma tokluğu, betonarme yapıların tasarımının kaçınılmaz bir parçası olan inşaat demiri, ağ ve lif gibi takviye elemanlarının kullanılmasını sağlar. Normal ağırlıktaki betonun yoğunluğunu azaltmak için yaygın bir uygulama, kısmen kum ve çakılın doğal veya sentetik hafif ağırlıklı parçacıklarla değiştirilmesidir. Bunların arasında, ultra hafif, emici olmayan kapalı hücreli geliştirilmiş polistiren (EPS) boncuklar, gelecek vaat eden fiziksel ve mekanik özelliklere sahip çok çeşitli hafif yapısal ve yapısal olmayan betonların üretilmesinde etkili bir şekilde kullanılabilir (Babavalian, Ranjbaran ve Shahbeyk 2020). Şekil 1' de görüldüğü gibi EPS boncuklar ile üretilen çimento esaslı yapı elemanları uygulamada kullanılmaktadır (Boyuejia Industrial Co. Ltd., 2021).



Şekil 1.Çimento bağlayıcılı EPS boncuk içeren ürünler

Emici olmayan, hidrofobik ve düşük yoğunluklu EPS (10 ila 30 kg/m³ arasında değişen) betona dâhil edildiğinde, önemli ölçüde betonun yalıtım katmanlarında ve bloklarında ısı yalıtımını iyileştirir. EPS beton, yapısal elemanlar için düşük yoğunluk, azaltılmış kesit ve azaltılmış çelik donatı avantajlarına sahiptir, bu da EPS betonunun yarı yapısal veya yapısal elemanlarda uygulanmasını olanak sağlar (Li, Miao, You, Hu ve Fang 2018). Cadere, Barbuta, Rosca, Serbanouj, Burlacu ve Oancea (2017), polistiren granüllü beton hazırlamak için, %20 ila %100 hacim arasında değişen dozajlarda, agrega ikamesi olarak uçucu kül ve polistiren granülleri içeren beton üretmişlerdir. Çalışmaları sonucunda, yapısal olmayan elemanlar için hafif malzeme olarak polistiren granüllü betonun kullanılması, atık

malzemeleri kullanarak çevre kirliliğini azaltılabileceği ve inşaat maliyetlerini düşürmek için güvenilir bir çözüm sunabileceği sonucuna varmışlardır. Dixit, Pang, Kang ve Moon (2019), EPS'nin dayanım üzerindeki bozucu etkisini azaltmak için hafif EPS çimento kompozit (LECC), ultra yüksek performanslı betonun (UHPC) temel malzemesi kullanılarak geliştirilmiştir. Sonuç olarak LECC'nin, %45 EPS hacminde bile, basınç dayanımı 27 MPa olarak ölçülmüş ve yapısal uygulamada kullanılabilir bir malzeme olduğu kanaatine varılmıştır. Dayanım ısı iletkenlik (TC) oranına dayalı olarak, test ettikleri başka bir karışımda 44.7 MPa'lık basınç dayanımı, 1677 kg/m³'lük yoğunluk ve 0.58 W/m-K'lık ısı iletkenlik ile incelenen karışımlar arasında dayanım ve yalıtımın en uygun kombinasyonu olduğunu görmüşlerdir. Schackow, Effting, Folgueras, Güths ve Mendes (2014), çimento, kum, hava sürükleyici, süper akışkanlaştırıcı karışımlarına ilave edilen iki farklı hafif agreganın (vermikülit ve EPS) betonun mekanik ve ısı özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. EPS betonları için minimum ve maksimum basınç dayanımı değerleri, 28 günde 7.74 ve 15.55 MPa olarak bulunmuş önceki çalışma sonuçlarına göre farklılık, EPS kullanım düzeyleriyle ilişkilendirilmiştir. Daha az hava sürükleyici ve hafif agrega kullanımının daha yüksek basınç dayanımı sağladığı belirtilmiştir. Rosca ve Corobceanu (2021), çalışmalarında, 2 ila 8 mm arasındaki agrega parçacıkları kısmen EPS boncukları ile değiştirilmiştir. Bu çalışmaları sonucunda, EPS boncuklu sertleştirilmiş betonun, bazı yapısal uygulamalarda ve ayrıca geliştirilen karışımlarda kullanılmak üzere yeterli nihai dayanım sağladığı, polistiren boncukların üst yüzeye doğru ayrışmasının zayıf olduğu ve kütle betonu içindeki dağılımlarının üniform olduğu tespit edilmiştir. Hem su-çimento oranı 0.43 hem de 0.39 için, normal agrega yüzdesi değişiminin EPS boncuk hacminin %0'dan %35'e artmasıyla betonun görünen yoğunluğu %25'e kadar azaldığı tespit etmişlerdir. Babu ve Babu (2003), çalışmalarında, çimento esaslı malzeme olarak silis dumanı içeren betonlarda ve harçlarda hafif agrega olarak EPS boncukları kullanmışlardır. Bu projelerinin temel amacı EPS betonlarının dayanım ve dayanıklılık performansını incelemektir. Elde edilen betonların yoğunluklarının 1500 ila 2000 kg/m³ arasında değiştiği ve buna karşılık gelen dayanımların 10 ila 21 MPa

arasında değiştiği görülmüştür. Chen ve Liu (2004), bu çalışmalarında EPS betonu yapmak için 'kum sarma' tekniğine benzer bir ön karışım yöntemi kullanılmıştır. Araştırmaları sonucunda, 800–1800 kg/m³ yoğunluğa ve 10–25 MPa basınç dayanımına sahip EPS betonunun, kaba ve ince agrega kısmen EPS boncukları ile değiştirilerek yapılabileceğini göstermişlerdir. Liu, Ma, Jiang, Xiao, Huang, Liu ve Tang (2016), EPS doldurulmuş hafif betonun darbe tepkisini, yüksek hızlı bir fotoğraf sistemi ile donatılmış bir çekiç sistemi kullanılarak deneysel olarak incelemişlerdir. 4 m/s'de darbe altındaki %80,3 EPS ile betonda enerji kaybında %18,6'ya varan artış gözlemişlerdir. Allahverdi, Azimi ve Alibabae (2018), bu çalışmalarında, geliştirilmiş polistiren boncuklar kullanılarak farklı dayanım derecelerinde yeni bir yeşil hafif reaktif toz beton (GLRPC) sınıfı geliştirilmişlerdir. Ölçümlere dayalı olarak, GLRPC karışımları için sırasıyla 1257 ila 1840 kg/m³, 20,8 ila 85,6 MPa, %3,47 ila 0,22 arasında yoğunluk, basınç dayanımı ve su emme değerleri elde etmişlerdir. Tamut, Prabhu, Venkataramana ve Yaragal (2014), bu araştırmalarının amacı, EPS boncukları içeren hafif betonun basınç dayanımı ve çekme dayanımları gibi özelliklerini incelemektir. Sonuç olarak; beton karışımlarında EPS boncuk içeriğinin artması betonun basınç ve çekme dayanımını azalttığını tespit etmişlerdir. Herhangi bir özel bağlayıcı madde içermeyen tüm EPS betonlarının iyi işlenebilirlik ve kolayca sıkıştırılma özeliği gösterdiğini tespit etmişlerdir. Petrella, Mundo ve Notarnicola 2020, çalışmalarında, geri dönüştürülmüş EPS içeren çimento harçlarının reolojik, termomekanik, mikroyapısal ve ıslatma özellikleri analiz edilmiştir. Bu hafif termo yalıtkan kompozitler, önceden işlem görmemiş ikincil hammaddeler olmadan hazırlandıkları ve iç mekân uygulamaları için kullanılabilirlikleri için çevresel açıdan sürdürülebilir malzemeler oldukları sonucuna varmışlardır. Vakhshouri ve Nejadi (2018) EPS boncuklar içeren hafif betonun karışım tasarımı ve mekanik özellikleri üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, konu üzerine yapılmış 55 deneysel programda 154 karışım tasarımı sonuçları hakkında inceleme yapmışlardır. Ravindrarajah ve Tuck 1994, Kimyasal olarak işlenmiş genişmiş polistiren boncuklar içeren sertleştirilmiş betonun özelliklerine ilişkin deneysel bir araştırmanın sonuçlarını bildirmektedirler. Araştırmaları sonucunda, sabit yoğunluğa sahip polistiren agregalı betonun dayanım, sertlik ve kimyasal direncinin su-çimento oranından etkilendiği görülmüştür.

Yapılan çalışmalardan da görüldüğü üzere EPS boncukların hafif beton üretimde kullanılabilirliğine yönelik araştırmalar hem uygulamada hem de akademik açıdan güncelliğini korumaktadır. Bu çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak hem EPS boncuk oranı değiştirilmiş hem de su-çimento oranı değiştirilerek elde edilen hafif betonların özellikleri araştırılmıştır. Özellikle EPS'nin su emmesi ve düzgün yuvarlak yüzeyi sayesinde yüzey alanının azalması sonucu kullanılan ıslatma suyu olarak da bilinen yüzey suyunun azalmasına ve karışım suyunun daha etkili kullanılmasını sağlamıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışma etik kurul kararı gerektiren bir çalışma değildir. Çalışma bir kurumda yapılan uygulamayı kapsamamaktadır. Ayrıca araştırma ve yayın etiğine de uyulmuştur.

Çimento: Bu çalışmada CEM I 42.5R çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentonun özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1

Kullanılan Çimentonun Özellikleri		
SO ₃	%2.94 Yoğunluk, g/cm ³	3.05
MgO	%1.65 Özgül Yüzey, cm ² /g	4015
CaO _{serbest}	%1.71 Priz Başlama, dk	158
Na ₂ O+0.658 K ₂ O	%0.51 Priz Bitiş, dk	270
CI-	%0.01 Basınç Dayanımları, MPa	
LOI	%3.36 7 gün	27.8
Çözünmez kalıntı	%0.5 28 gün	57.6

Karma Suyu: Karma suyu olarak Eskişehir şebeke suyu kullanılmıştır. Şebeke suyunun analizi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2

Kullanılan Suyun Özellikleri		
Kimyasal Özellik, mg/l		Fiziksel Özellik
Al 0,043	SO ₄ 80	İletkenlik, µS/cm 628
NO ₃ 11,1	Fe 0,007	Sertlik, Fd° 30,11
NO ₂ 0,005	Mn 0,015	pH 7,35
NH ₄ 0,06	P 0,06	Bulanıklık, NTU 0,25

Genleştirilmiş polistiren (EPS) boncuklar: Kullanılan strafor agregası granül ve genleştirilmiş polistiren esaslı bir malzemedir. Birim hacim ağırlığı 0,02 kg / dm³'tür. Kullanılan EPS boncuk özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3

EPS Boncukların Özellikleri

Birim Ağırlık, kg/m ³	20
Basınç Dayanımı, MPa	0.09
Tane Boyut Aralığı, mm	0.5-2
Hacimce su emme, %	4

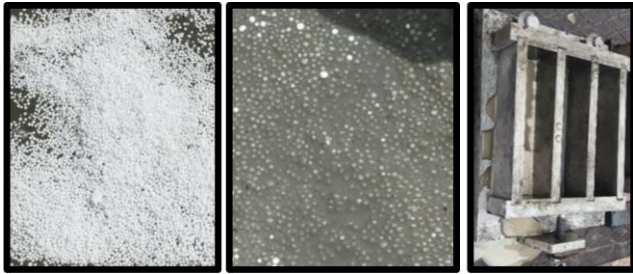
2.2. Metot

Çalışma kapsamında su-çimento oranı 0.4 ve 0.5 olacak şekilde, agrega-çimento oranı 1 ve 2 olacak şekilde 4 farklı karışım hazırlanmıştır. Agrega olarak EPS granüller kullanılmıştır. Su-çimento oranı ağırlıkça, agrega-çimento oranı ise hacimce dikkate alınmıştır. Karışım oranları Tablo 4'te verilmiştir. Üretilen karışımlardan 4x4x16 cm boyutlu prizma kalıplar kullanılarak numuneler alınmıştır. Üretim ve kullanılan kalıplar Şekil 2'de görülmektedir.

Tablo 4

Karışım oranları

1 m ³ için	0.4S/C	0.4S/C	0.5S/C	0.5S/C
ağırlıkça, kg	1A/C	2A/C	1A/C	2A/C
Çimento	400	200	500	250
Su	1000	500	1000	500
EPS	20	20	20	20



Şekil 2. Hafif beton üretimi

Üretimden 24 saat sonra kalıplarından çıkarılan harç numuneleri standart kür koşullarında bekletilmiştir. Numuneler üzerinde Şekil 3'ten de görüldüğü gibi üretimden 7, 28 ve 56 gün sonra ASTM C 597 standardına uygun olarak ultrases geçiş süresi, su emme, TS EN 196-1 standardına göre eğilme ve basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her deney en az 3 numune üzerinde gerçekleştirilmiş ve hesaplanan değerlerin ortalaması alınmıştır. Birim ağırlık, ultrases

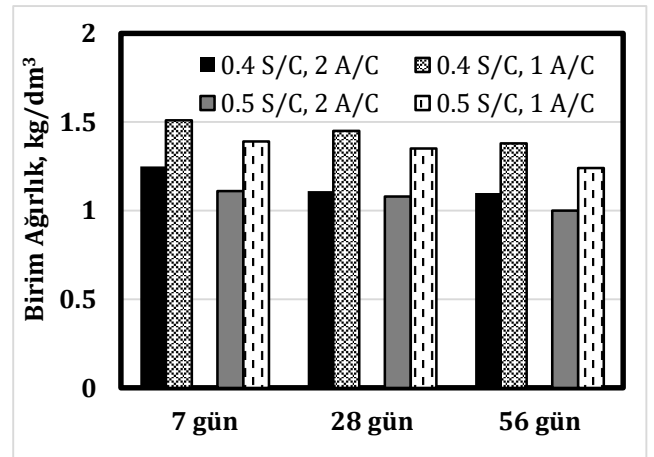
geçiş hızı, ağırlıkça su emme, eğilme ve basınç dayanımları hesaplanmıştır.



Şekil 3. Hafif beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler

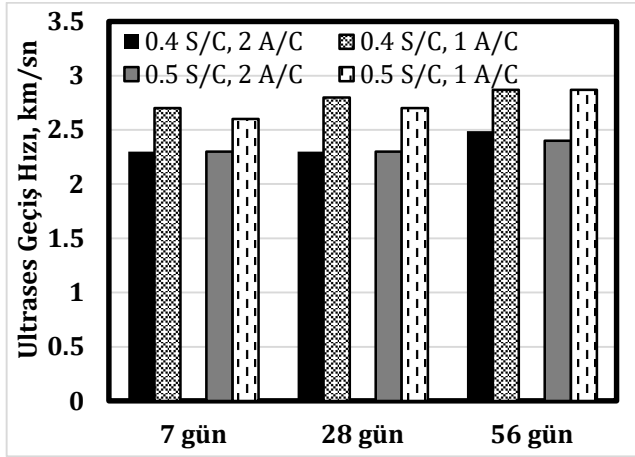
3. Bulgular ve Tartışma

EPS granüller kullanılarak üretilen betonların birim ağırlık değerleri Şekil 4'te görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde birim ağırlık değerlerinin 1-1.5 kg/dm³ arasında değiştiği görülmüştür. EPS granül miktarının 2 katına çıkması ile birim ağırlıklarda % 24'e ulaşan azalmalar görülmüştür. EPS granüllerinin yoğunluklarının diğer bileşenlere göre oldukça düşük olması birim ağırlıklarda düşüğe neden olmuştur. Su-çimento oranı açısından incelendiğinde su-çimento oranının 0.4'ten 0.5'e yükselmesi ile birim ağırlık değerleri % 10'a ulaşan oranda azalmıştır. Su-çimento oranının artması ile karışıma giren fazla su birim ağırlıkta düşüğe neden olmuştur. Serleşmiş betonda zamanla meydana gelen su kaybı numunelerin birim ağırlık değerlerini % 10'a ulaşan oranda azalmasına neden olmuştur.

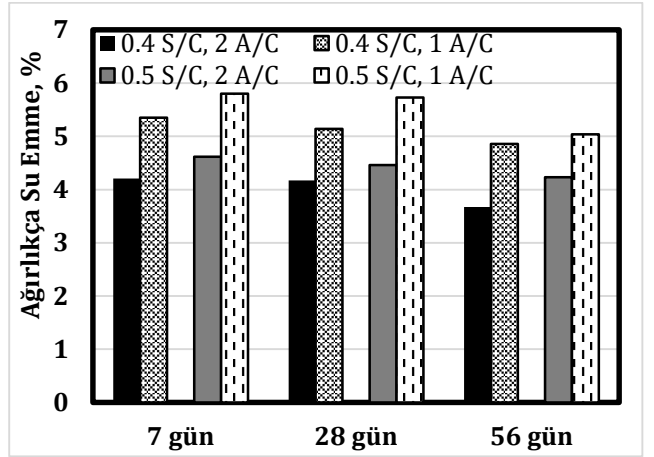


Şekil 4. EPS ile üretilen betonların birim ağırlıkları

Üretilen hafif beton numunelerinin ultrases geçiş hızları Şekil 5'te verilmiştir. Numunelerin ultrases geçiş hızları 2.3-2.9 km/sn arasında değişmiştir.



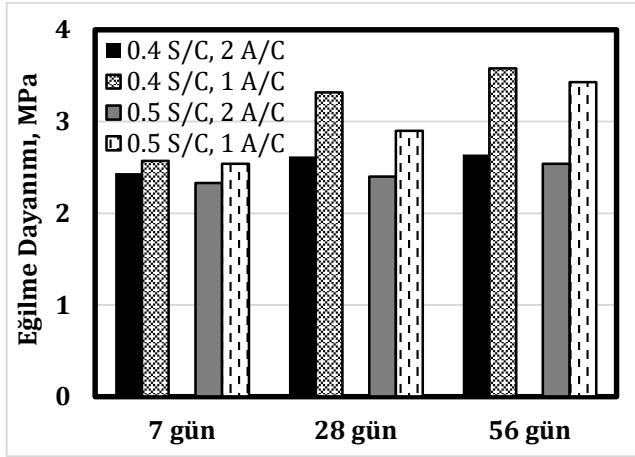
Şekil 5. Hafif betonların ultrases geçiş hızları



Şekil 6. Hafif betonların ağırlıkça su emme oranları

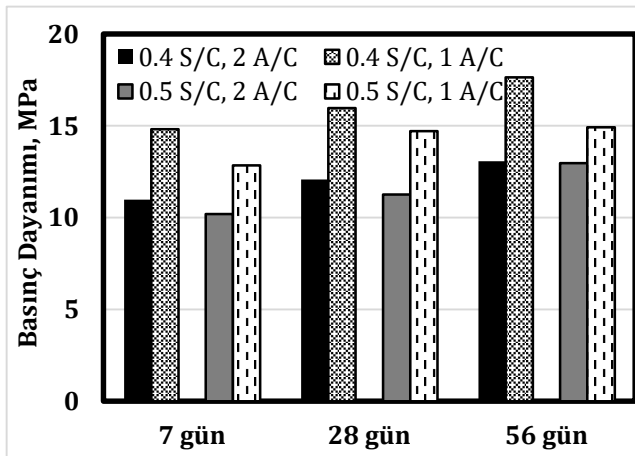
Şekil 5 incelendiğinde EPS granül miktarı iki katına çıktığında numunelerinin ultrases geçiş hızlarında % 15 azalma görülmüştür. Granüllerin genişletilmiş olması nedeni ile içerdiği boşluklar ultrases geçiş sürelerini arttırmaya ve ultrases geçiş hızlarının azalmasına neden olmuştur. Su-çimento oranının artması ile birim hacimde kısmen daha az çimento içermesi numunelerin ultrases geçiş hızlarında % 4'e ulaşan oranda azalmaya neden olmuştur. Zamana bağlı olarak numunelerin ultrases geçiş hızları % 8'e ulaşan oranda artmıştır. Zamanla hidrate tanelerin artması ve sağlam yapıların oluşumu ultrases geçiş sürelerini azaltmış ve dolayısı ile hızların artmasına neden olmuştur. Hafif beton numunelerinin ağırlıkça su emme oranı değişimleri Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde numunelerin ağırlıkça su emme değerlerinin % 3.7 ile % 5.8 arasında değiştiği görülmüştür. EPS granül miktarının artması ağırlıkça su emme oranlarını % 25'e ulaşan oranda azaltmıştır. Genleştirilmiş polistiren tanelerinin düşük su emmesi ve su geçirimsizliği numunelerinin su emme oranında azalmaya neden olmuştur. Su-çimento oranının artması numunelerin ağırlıkça su emme oranlarında % 15'e ulaşan oranda artışa neden olmuştur. Su-çimento oranının azalması ile agrega tanelerinin daha iyi bağlanması ve daha boşluksuz yapı oluşması su emme oranını düşürmede etkilidir. Zamana bağlı olarak ağırlıkça su emme oranları incelendiğinde zaman içerisinde çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan CSH yapısının artması mikroyapıda doluluğu arttırdığından su emme oranlarını % 13'e ulaşan oranda azaltmıştır.

Agrega-çimento, su-çimento oranına ve numune yaşına bağlı olarak eğilme dayanımlarındaki değişimler Şekil 7'de verilmiştir. Hafif betonların eğilme dayanımları 2.3-3.6 MPa arasında değişmektedir. Şekil 7 incelendiğinde agrega-çimento oranının artması granüle EPS miktarını arttırdığı için numunelerin eğilme dayanımları % 26'ya ulaşan oranda azalmıştır. Agregada olarak kullanılan granüle EPS kolay şekil değiştiren dayanımı oldukça düşük bir malzeme olduğu için eğilme etkisi altındaki kesitin zayıflamasına neden olmuştur. Bu nedenle numunelerin eğilme dayanımları düşmüştür. Bu etki özellikle numune yaşı arttıkça dayanımın artması sonucu belirginleşmiştir. Su-çimento oranının azalması eğilme dayanımlarını % 15'e ulaşan oranda arttırmıştır. Su-çimento oranının artması bağlayıcılığı arttırmış dolayısı ile eğilme uygulanan kesitte granüle EPS tanelerinin daha iyi bağlanmasından dolayı eğilme dayanımları artmıştır. Numune yaşı arttıkça eğilme dayanımları % 39'a ulaşan oranda artmıştır. Granüle EPS taneleri boşluk gibi davrandığı için eğilme dayanımına en büyük katkıyı çimento hamuru fazı sağlamıştır. Dolayısı ile bu fazın dayanımı sağlayan yapıları zaman içerisinde oluştuğu ve oluşmaya devam ettiği için erken yaşlarda dayanım düşük ileriki yaşlarda dayanım fazla olmaktadır. Özellikle 28 günde eğilme dayanımlarında belirgin artış görülürken, 56 günde de azımsanmayacak artış görülmüştür.



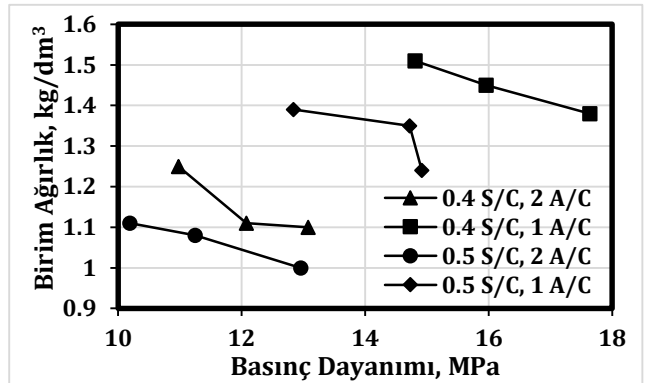
Şekil 7. Hafif betonların eğilme dayanımı sonuçları

Şekil 8'de granüle EPS ile üretilen hafif betonların basınç dayanımı değişimleri verilmiştir. Şekil 8 incelendiğinde hafif betonların basınç dayanımları 10-18 MPa arasında değiştiği görülmüştür.



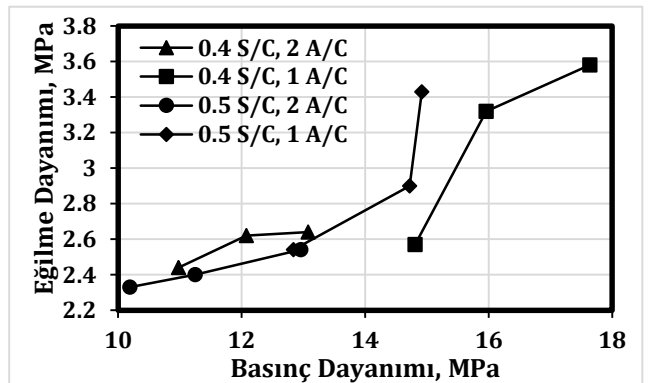
Şekil 8. Hafif betonların basınç dayanımı değişimleri

EPS granül miktarının artması numunelerin basınç dayanımlarında % 26'ya ulaşan oranda azalmaya neden olmuştur. Basınç kuvveti bir alana etkidiği için numune hacmi içerisindeki boşluk gibi davranan EPS granülleri dayanım düşmesinde rol oynamıştır. Su-çimento oranının artışı beklenildiği gibi basınç dayanımlarında azalmaya yol açmıştır. Su-çimento oranında büyük bir artış olmadığı için numunelerin basınç dayanımındaki azalma oranı % 15'i geçmemiştir. Su-çimento oranının artması bağlayıcı miktarını arttırdığı, su miktarını azalttığı için iyi yerleştirilip sıkıştırılmış betonun basınç dayanımında artışa neden olmaktadır. Numune yaşı arttıkça hafif betonların basınç dayanımları % 27'ye ulaşan oranda artmıştır. Çimento hidrasyon reaksiyonlarının zamanla azalarak devam etmesi dayanım artış hızını azaltsa da etkili olmaktadır.



Şekil 9. Basınç dayanımı birim ağırlık ilişkisi

Hafif EPS beton numunelerin basınç dayanımlarının birim ağırlıkla değişimi Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde basınç dayanımı arttıkça birim ağırlıklar artmıştır. Birim ağırlıkların ve dayanımın atmosferden öncelikli etken EPS granül miktarının azalması, daha sonra ise su çimento oranının azalmasıdır. Grafikte malzeme oranlarına göre ayrı ayrı belirlenen üçer nokta ise numune yaşına bağlı değişimi vermektedir. Erken yaşlarda dayanım ve ağırlık düşük iken ileri yaşlarda dayanım ve birim ağırlıkta artış gözlemlenmiştir.



Şekil 10. Basınç dayanımı eğilme dayanımı ilişkisi

Numunelerin Eğilme dayanımlarının basınç dayanımlarına bağlı değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10 incelendiğinde EPS granül miktarına bağlı çimento miktarındaki azalma numunelerin eğilme dayanımının basınç dayanımına göre artış oranını azaltmıştır. Ancak çimento miktarının artması eğilme dayanımlarında basınç dayanımlarına göre daha fazla artışa neden olmuştur.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Yapılan deneysel çalışmanın sonuçları değerlendirildiğinde:

- Karışımlarda EPS granül miktarının artması sonucu üretilen hafif betonların birim ağırlıkları 1000 kg/m³ değerine kadar düşmüştür. Numunelerin ultrases geçiş hızları da 2300 m/sn değerine kadar düşmüştür. Aynı şekilde EPS granül miktarının artması numunelerin ağırlıkça su emme değeri de düşmüş ve ortalama % 4 olmuştur. Eğilme dayanımları ise 3.5 MPa'dan ortalama 2.5 MPa'ya düşmüştür. Basınç dayanımları ise 17 MPa'dan 10 MPa'ya düşmüştür.
- Su-çimento oranı olarak 0.4 ve 0.5 seçilmiştir. Su-çimento oranının azalması birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, su emme değerlerini arttırmıştır. Su-çimento oranının azalması özellikle hem eğilme hem de basınç dayanımlarında % 15'e ulaşan oranda artışa neden olmuştur.
- Numune yaşı dikkate alındığında yaş artışı birim ağırlıklarda, su emme oranlarında düşüşe neden olurken, ultrases geçiş hızlarında, eğilme ve basınç dayanımlarında artışa neden olmuştur. Numunelerin 7 günlük basınç dayanımları 28 günlük dayanımlarının % 90'ına ulaştığı görülmüştür.

Bu çalışmanın sonunda birim ağırlığı 1000-1500 kg/m³ aralığında basınç dayanımı 10-17 MPa aralığında taşıyıcı hafif betonlar elde edilmiştir. Dayanım artışı istendiğinde su-çimento oranının 0.4'e düşürülerek 15 MPa üstünde basınç dayanımları elde edilebileceği görülmüştür. 10 MPa'nın altına düşmeyen dayanımları bu ürünlerin blok veya panel şeklinde bölme duvar elemanı olarak kullanılabilmesini göstermektedir. Karışım hacminin % 65 gibi yüksek oranda EPS granüllerinin hafif beton üretiminde kullanılması önerilir. Yüksek sıcaklık gibi dayanıklılık özelliklerinin araştırılması yapılacak çalışmalar için önerilir.

Teşekkür

Yazarlar deneysel çalışmalarda desteğinden dolayı Tekn. Sevgin Yılmaz'a teşekkür eder.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Mehmet CANBAZ bilimsel yayın araştırması, malzemelerin temini, numune üretilmesi, makalenin oluşturulması; Mustafa EZİCİ tasarımın yapılması, deneylerin yapılması, deney sonuçlarının analiz edilmesi, makalenin genel kontrolünün yapılması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Allahverdi, A., Azimi, S.A., & Alibabaie M. (2018). Development of multi-strength grade green lightweight reactive powder concrete using expanded polystyrene beads. *Construction and Building Materials*, 172, 457-467. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.260
- Babavalian, A., Ranjbaran, A. H., & Shahbeyk S. (2020). Uniaxial and triaxial failure strength of fiber reinforced EPS concrete. *Construction and Building Materials*, 247, 118617. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.118617.
- Babu, K.G., & Babu, D.S. (2003). Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume. *Cement and Concrete Research*, 33, 755-762. doi:10.1016/S0008-8846(02)01055-4.
- Boyuejia Industrial Co., Ltd. (2021). Erişim adresi: <https://www.byjbuilding.com/products/eps-cement-solid-panels/>
- Cadere, C.A., Barbuta, M., Rosca, B., Serbanoiu, A. A., Burlacu, A., & Oancea, I. (2017). Engineering properties of concrete with polystyrene granules. *Procedia Manufacturing*, 22, 288-293. doi:10.1016/j.promfg.2018.03.044
- Chen, B., & Liu, J. (2004). Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber. *Cement and Concrete Research*, 34, 1259-1263. doi:10.1016/j.cemconres.2003.12.014
- Dixit, A., Pang, S.D., Kang, S.H., & Moon, J. (2019). Lightweight structural cement composites with expanded polystyrene (EPS) for enhanced thermal. *Cement and Concrete Composites*, 102, 185-197. doi:10.1016/j.cemconcomp.2019.04.023
- Li, C., Miao, L., You, Q., Hu, S., & Fang, H. (2018). Effects of viscosity modifying admixture on workability and compressive strength of structural EPS concrete. *Construction and Building Materials*, 175, 342-350. doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.04.176
- Liu, Y., Ma, D., Jiang, Z., Xiao, F., Huang, X., Liu, Z., & Tang, L. (2016). Dynamic response of expanded polystyrene concrete during low speed impact. *Construction and Building Materials*, 122, 72-80. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.059
- Petrella, A., Mundo R. D., & Notarnicola, M. (2020). Recycled expanded polystyrene as lightweight aggregate for environmentally sustainable cement conglomerates. *Materials*, 13(4), 988. doi: 10.3390/ma13040988
- Ravindrajah, R. S., & Tuck, A.J. (1994). Properties of hardened concrete containing treated expanded polystyrene beads. *Cement & Concrete Composites* 16, 273-277. doi: 10.1016/0958-9465(94)90039-6

- Rosca, B., & Corobceanu, V. (2021). Structural grade concrete containing expanded polystyrene beads with different particle distributions of normal weight aggregate. *Materials Today: Proceedings*, 42, 548-554. doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.517
- Schackow, A., Eftting, C., Folgueras, M.V., Güths, S., & Mendes, G.A. (2014). Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent. *Construction and building materials*, 57, 190-197. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.02.009
- Tamut, T., Prabhu, R., Venkataramana, K., & Yaragal, S. C. (2014). Partial replacement of coarse aggregates by expanded polystyrene beads in concrete. *International Journal of Research in Engineering and Technology* eISSN: 2319-1163. Erişim Adresi: <http://www.ijret.org>
- Vakhshouri, B., & Nejadi, S. (2018). Review on the mixture design and mechanical properties of the lightweight concrete containing expanded polystyrene beads. *Australian Journal of Structural Engineering*, 19 (1), 1-23. doi: 10.1080/13287982.2017.1353330