



GENLEŞTİRİLMİŞ POLİSTRENİN UÇUCU KÜL İÇEREN KÖPÜK BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Şemsettin KILINÇARSLAN^{1*}, Metin DAVRAZ², Nuri İŞILDAR¹

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Doğal ve Endüstriyel Yapı Malzemeleri Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta, Türkiye

| Anahtar Kelimeler | Öz |
|---|---|
| <i>Köpük beton, Uçucu kül, Genleştirilmiş polistren, Kuruma büzülmesi, Isıl iletkenlik.</i> | Günümüzde atık malzemelerin sürdürülebilir kullanımına ilişkin araştırmalar hızla sürmektedir. Bu çalışmada, köpük beton üretiminde genleştirilmiş polistren (EPS) atıklarının kullanılabilirliğine odaklanılmıştır. Su/bağlayıcı oranının 0.45 olarak sabit tutulduğu şartlarda; azaltılan köpüğe eşdeğer hacimlerde (200 ve 400 dm ³ /m ³) EPS kullanılmıştır. Bu bağlamda Portland çimentosu (PC), su ve uçucu kül'ün (UK) sabit tutulduğu ve köpük miktarı azaltılırken, EPS'nin artırıldığı şartlarda büzülme değişimi ve basınç dayanımları incelenmiştir. EPS kullanım miktarındaki artışın genleşme oranları üzerinde anlamlı değişimlere neden olduğu gözlenmiştir. EPS kullanım miktarlarına göre, büzülme oranı farklılıklarının genleşme oranlarıyla uyumlu olduğu belirlenmiştir. Köpük betonların basınç dayanımları, EPS kullanım miktarlarındaki artışla yükselmiştir. EPS kullanımı ısı iletimini artırmış ve en yüksek kullanım miktarı için 0.0963 W/mK olarak bulunmuştur. Bu atık malzeme ile oluşturulabilecek farklı kombinasyonlarla çalışmaların sürdürülmesi önerilmektedir. |

EFFECT OF EXPANDED POLYSTYRENE ON THE PROPERTIES OF FOAM CONCRETE CONTAINING FLY ASH

| Keywords | Abstract |
|--|---|
| <i>Foam concrete, Fly ash, Expanded polystyrene, Drying shrinkage, Thermal conductivity.</i> | Today, research on the sustainable use of waste materials continues rapidly. This study focuses on the availability of expanded polystyrene (EPS) wastes in foam concrete production. In the conditions where the water/binder ratio is kept as 0.45; EPS was used in equivalent volumes (200 and 400 dm ³ /m ³) to the reduced foam. In this context, while Portland cement (PC), water and fly ash (UK) were kept constant, shrinkage change and compressive strengths were investigated under conditions where the amount of foam was decreased and EPS was increased. It was observed that the increase in the amount of use of EPS caused significant changes in expansion rates. According to the amount of EPS usage, shrinkage rate differences were found to be compatible with expansion rates. The compressive strength of foam concrete increased with the increase in the amount of EPS usage. The use of EPS increased heat conduction and was found to be 0.0963 W / mK for the highest usage amount. It is recommended to continue with different combinations that can be created with this waste material. |

Alıntı / Cite

Kılınçarslan, Ş., Davraz, M., İşildar, N., (2019). Genleştirilmiş Polistrenin Uçucu Kül İçeren Köpük Beton Özellikleri Üzerine Etkileri, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(2): 224-231.

| Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number) | Makale Süreci / Article Process |
|--|--|
| Ş. Kılınçarslan, 0000-0001-8253-9357 | Başvuru Tarihi / Submission Date 30.10.2018 |
| M. Davraz, 0000-0002-6069-7802 | Revizyon Tarihi / Revision Date 26.12.2018 |
| N. İşildar, 0000-0001-6639-3650 | Kabul Tarihi / Accepted Date 27.12.2018 |
| | Yayın Tarihi / Published Date 26.03.2019 |

* İlgili yazar / Corresponding author: semsettinkilincarslan@sdu.edu.tr, +90-246-211-1206

1. Giriş

Çimento üretim süreci kapsamında ortaya çıkan büyük miktardaki CO₂ emisyonu ve yine diğer pek çok sektörde üretilen atık ve artıkların bertaraf edilme güçlüğü ve maliyeti tüm dünyayı ilgilendiren önemli bir sorun olmaya devam etmektedir. Yine, kullanım amacına bağlı olarak ya da bazı zorunluluklar nedeniyle, yapıların iyi bir ısı yalıtımına veya depreme dayanıklı özelliklere sahip olması istenebilmektedir. Keza, yapı ve yapı elemanlarının hafif olma gerekliliği de aynı kapsamda değerlendirilmektedir. İşte bu ve benzeri nedenler, inşaat malzemeleri üzerine yapılan araştırmalarda, çevresel olarak sürdürülebilir hammaddelerin kullanılmasına olan ilginin artmasına yol açmıştır. Son yıllarda, geleneksel bileşenlerin yerini atık malzemelerin, bağlayıcı malzemelerin veya farklı agregalar tür ve boyutlarının kullanılmasıyla elde edilen betonların davranışları üzerine önemli bir literatür birikimi oluşmuş ise de araştırmalar hala yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Bu malzemeler arasında, öğütülmüş granül-fırın cürufu, kömür UK, silis dumanı, cam, kağıt çamuru, kauçuk, mikronize lastik lifi ve öğütülmüş elektrik kablosu atığı, EPS, genişletilmiş perlit veya bir kısım tarımsal atık (pirinç kabuğu külü, buğday samanı külü ve şeker kamışı küspe külü) yer almaktadır (Ferrándiz-Mas, 2014).

Yapısal ve yapısal olmayan uygulamalarda kullanılabilen hafif beton, harç içerisinde gaz veya köpük uygulanması, düşük ağırlıkta agregat kullanımı ve yine bazı bileşenlerin tercihen düşük maliyetli bileşenlerle tamamen veya kısmen değiştirilmesi yollarıyla elde edilebilmektedir (Liu ve Chen, 2014). Normal betona göre daha düşük yoğunluk, daha yüksek mukavemet/ ağırlık oranı, daha düşük ısı iletkenlik katsayısı ve ses yalıtım özelliklerine sahip hafif beton türleri içerisinde genel olarak gaz beton, ince agregasız beton ve hafif agregalı beton sayılmaktadır. Geleneksel hafif agregatlar (pomza, perlit, kil, UK, vb.) gözenekli yapıları nedeniyle daha fazla su talebi ve emme gücü sergilerken (Sayadi vd., 2016), EPS, emici olmayan, hidrofobik ve kapalı hücre yapısı özellikleriyle farklılık göstermektedir (Babu vd. 2005).

EPS, stiren monomerin polimerizasyonu ile petrolden elde edilen termoplastik bir malzemedir. Polistiren taneciklerinin şişirilmesini ve çok sayıda küçük gözeneklerin oluşmasını sağlayan üretimde kullanılan pentan gazıdır. Yapıların ısı ve ses yalıtımında ve ambalaj sanayiinde yoğun bir şekilde kullanılan EPS'ye, yapı duvarı, karayolları, zemin takviyesi ve can yeleği yapımlarında çok sık yer verilmektedir (Anonim, 2018).

EPS'nin beton harç karışımlarında kullanımına ilişkin araştırmaların büyük çoğunluğunda agregalar ya da bağlayıcı yerine kullanılması söz konusudur. Chen ve Liu (2004) tarafından su ve çimento miktarları sabit tutularak silika tozu, çelik fiber ve süper

akışkanlaştırıcı yanında çakıl ve kum yerine tane büyüklükleri farklı (3 ve 8 mm) ve hacimce % 25, 40 ve 55 düzeylerinde EPS kullanımının etkileri araştırılmıştır. 30 MPa'ya kadar dayanım ve normal betonun % 70'i yoğunluğa sahip hafif betonun, kaba ve ince agregalar yerine kısmen farklı boyutlarda EPS kullanılarak elde edilebileceği belirtilmiştir. Ayrıca kullanılan ince silis dumanının, EPS ve çimento harcı arasındaki bağı güçlendirerek basınç dayanımını arttırdığı ve çelik fiberlerin ise kuruma büzülmesini düzelttiğine değinilmiştir. Betonun büzülmesi üzerinde, agreganın karışımdaki hacimsel oranı ve elastisite özelliklerinin oldukça etkili olduğu ve kullanılan EPS malzemenin, betonun büzülmesine çok az engel teşkil etmesi nedeniyle karışımdaki hacimsel oranı arttıkça büzülme de artırdığı belirtilmiştir. Normal betonun kuruma büzülmesinin 90 gün için 630 mikrostrain olarak bulunduğu ve % 55 EPS uygulaması için ise söz konusu değerin 1121 mikrostrain'e ulaştığı bildirilmiştir.

Yüksek performanslı betonda iri ve ince agregaların tamamen veya kısmen, farklı büyüklüklerdeki (1.0, 2.5 ve 6.3 mm) ve hacim olarak % 0, 20, 40 ve 60 oranlarındaki EPS ile yer değişimi ile elde edilen hafif betonlar üzerinde yapılan bir çalışmada (Chen vd, 2010); aynı kürlenme süresinde, büzülme miktarının, artan EPS hacmiyle paralel olarak arttığı belirlenmiş ve özellikle EPS % 60'a yükseldikçe, büzülme miktarının aynı kürlenme süresine sahip diğer örneklerden daha yüksek olduğu bulunmuştur.

Schackow vd. (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 agregalar kullanımının daha yüksek basınç dayanımı sağladığı belirtilmiştir. EPS betonları için elde edilen ısı iletkenlik değerlerinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

Harç karışımında uçucu kül, çimento ve süper akışkanlaştırıcı (polikarboksilat eter) miktarlarının sabit tutulduğu şartlarda; kum artışı ve karşılığında EPS azalışı beton basınç dayanımını artırmıştır. Hava sürükleyici katkının neden olduğu boşluklardaki artışın basınç dayanımını azalttığı belirtilmiştir (Gawale vd. 2016). Tittarelli vd (2016) tarafından su ve çimento miktarı sabit tutularak farklı EPS kullanımlarına yer verilen bir çalışmada; EPS oranı artarken betonun ısı iletkenliğinin, yoğunluğu ile ısı iletkenliği arasındaki korelasyonun eksponansiyel nitelikte bir artış eğilimi sergilemesinden de anlaşılacağı üzere, azaldığı belirtilmiştir.

EPS, çimento, çakıl, kum, silika tozu, hidroksipropil

selüloz, süper akışkanlaştırıcı ve polimer emülsiyonundan oluşan ve su/çimento oranının sabit tutulduğu harç karışımlarında çimento ya da çakıl yerine hacim temelinde % 0, 20, 30 ve 40 oranlarında EPS'nin kullanıldığı bir çalışmada; EPS betonun basınç dayanımının, EPS hacminin artmasıyla belirgin bir şekilde azaldığı ve ilişkinin üstel nitelikte bir eğri ile tanımlanabilir olduğu belirtilmiştir (Shi vd. 2016). Cui vd (2016) tarafından kaba agrega- EPS değişimiyle üretilmiş ve 800 kg/m³ kuru yoğunluğa sahip betonun gerilme-deformasyon davranışı incelenmiş, kuru yoğunluk ve kürlenme yaşı arttıkça daha yüksek basınç dayanımı ve maksimum gerilme gözlemlendiği belirlenmiştir. Su/çimento+EPS+mermer tozu oranı sabit (0.50) tutularak çimento yerine hacimce % 20, 40, 60 ve 80 oranlarında EPS kullanımına yer verilen bir diğer çalışmada da; EPS düzeyindeki artışla büyük çoğunlukla yoğunluk, ısı iletkenlik, basınç ve yarmada çekme dayanımı, elastik modülü değerlerinde düşüşler belirlenmiştir (Biçer ve Kar, 2017).

Su/bağlayıcı (çimento+uçucu kül) oranının sabit (0.80) tutulduğu doğal agrega yerine hacimce % 0, 60 ve 100 oranlarında stabilize polistrenin (EPS+ çimento+ kil+ su karışımından elde edilmiş) kullanıldığı çalışmada; basınç dayanımının uçucu kül içermeyen % 60 EPS betonu için 11 MPa'ya düşmesi doğal kaba agrega bulunmamasıyla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, doğal agregaların stabilize polistrene değiştirilmesinin ince taneciklerin yüzey alanı artışına neden olduğu ve agrega-çimento harcı ara yüzey geçiş bölgelerinin zayıflamasının da etkili olabileceği belirtilmektedir (Herki, 2017).

UK, ek bir çimento malzemesi olarak çevre ile ilgili avantajlar sağlaması yanında betonun dayanıklılığını artırması ve ekonomik olması nedenleriyle oldukça fazla tercih edilmektedir. Söz konusu materyalin kullanıldığı bu yüksek yoğunluklu betonların oldukça emici, kırılğan ve ağır olma özellikleri EPS kullanımıyla değiştirilebilmektedir. Farklı yoğunluklarda beton elde etmek üzere, bağlayıcı katkı maddesi kullanılmaksızın % 50 UK ve farklı oranlarda EPS'ye yer verilen bir çalışmada; UK içeren EPS betonların mekanik özellikleri incelenmiş ve tek başına PC içerenlerle karşılaştırılmıştır. UK içeren EPS betonların basınç dayanımının, tek başına PC kullanılanlar için bildirilenin aksine 90 güne kadar sürekli bir kazanç gösterdiği değerlendirilmiştir (Babu vd. 2005).

Köpük beton; çimento, su, sürfaktan ve istenirse kum ya da ince agrega ilave edilerek, ısı işlemsiz olarak üretilebilen ve hacimce % 75-80 oranında bağımsız boşluklar içeren bir hafif beton türüdür (Davraz vd. 2015). Kearsley (1999) köpük betonun basınç dayanımının, yaş, uçucu kül/çimento oranı ve gözenekliliğin ve ayrıca belirli bir gözeneklilik ve yaş için optimum kül içeriğinin bir fonksiyonu olduğu ve bunun sonucunda en yüksek basınç dayanımının ortaya çıktığını belirtmiştir. Nambiar vd. (2009)

tarafından, daha yüksek kum ve kum+uçucu kül/çimento oranı için daha düşük büzülme değeri elde edildiğine değinilmiştir. Köpük beton karışımında kumla yer değiştirilen daha yüksek UK içeriğinin, daha fazla büzülme yol açtığı belirtilmiş ve bunun nedenleri olarak ince UK'ün daha düşük büzülme direnci kapasitesi, daha büyük hacimde su-katı oranı ihtiyacı ve daha büyük hacimde büzülebilir harç oluşturmaya gösterilmiştir.

Köpük beton ana bileşenleri olarak çimento, kum, su ve köpük kullanılan ve dayanımı arttırmaya yönelik hafif agrega, süper akışkanlaştırıcı, silika tozu ve UK ilavelerine yer verilen bir çalışmada; karışım yoğunlukları 1300, 1600 ve 1900 kg/m³ olarak hazırlanmıştır. Köpük betonda nispeten doğru bir porozite elde etmenin en uygun yolunun vakum saturasyon yöntemi olduğu, tüm karışımlar değerlendirildiğinde daha yüksek köpük hacminin, daha fazla, büyük, düzensiz, geniş bir büyüklük dağılımı gösteren boşlukların oluşmasına ve dayanımın azalmasına neden olduğu belirtilmiştir. Bazı ilave katkı materyallerinin daha yoğun ve az gözenek oluşumuna neden olarak ısı iletkenliğin düşük düzeyde artışına neden olduğu ve >200 nm çapa sahip gözeneklerin ve hacimlerinin permeabilite ile yakın ilişki gösterdiği bildirilmiştir (Hilal, 2015),

Hafif agrega olarak doğal agrega yerine % 25, 50, 75 ve 100 oranlarında EPS kullanılan bir araştırmada; 210 günlük kürlenme şartları sonrasında ortalama kuruma büzülmesi % 25 EPS kullanılan örneklerde 2.59×10^{-3} iken % 100 EPS kullanılanlarda 5.08×10^{-3} olarak gerçekleşmiştir (Demirboga ve Kan, 2012). Hafif beton türlerinden biri olan köpük betonda büzülmenin tasarım karışımına bağlı olarak normal betona göre 10 kat kadar yüksek olabileceği belirtilmektedir (Ramamurthy vd., 2009).

Uçucu kül içeren köpük betonlarda EPS kullanımına ilişkin çalışmaya pek rastlanmamış olması nedeniyle, bu çalışmada; köpük betonda boşluklu bir yapı oluşumunu sağlayıcı bileşen (köpük ajanı) azaltılarak yerine eşdeğer hacimlerde EPS kullanılmasının büzülme ve beton dayanım özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Su/bağlayıcı oranının 0.45 olarak sabit tutulduğu şartlarda; harç karışımlarında köpük ajanı ve genleştirilmiş polistren granülü (EPS) bileşenlerinin değişimi Tablo 1'de gösterilmiştir. Portland çimentosu (PC), su ve uçucu külün (UK) sabit tutulduğu şartlarda harç karışımları için köpük ajanı hacmi (200 ve 400 dm³) azaltılarak, bunun yerine eşdeğer hacimlerde EPS kullanılmıştır.

PC (EN 197-1 CEM I 42.5 R), Türkiye- Isparta Göltaş Çimento A.Ş. üretimidir ve bazı özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Atık EPS, Safanur Boya Kimya İnş. Ltd.

Şti.'nden ve UK, Türkiye-Manisa Soma Termik Santralı'ndan temin edilmiştir. Kullanılan köpük ajanı (Contopp, Foam Builder SFS3, Knopp GmbH) sentetik yapıdır. Beton harç karışımları, köpük ajanının hazırlanması ve diğer işlemlerde Süleyman Demirel Üniversitesi Batı Kampüsü şebeke musluk suyu kullanılmıştır. Tablo 1'de belirtilen harç tasarımlarımda, tüm bileşenler mikserde karıştırılmış ve hazırlanan şerbete en son köpük ilave edilmiştir.

Tablo 1. EPS/köpük oranı artışına ilişkin birim hacimdeki (1 m³) harç karışımı bileşenleri

| s/b = 0.45 | | | | | |
|------------|---------|---------|------------------------|---------|--------------------------|
| N. No | PÇ (kg) | Su (kg) | EPS (dm ³) | UK (kg) | Köpük (dm ³) |
| Kontrol | 315 | 155.9 | 0 | 31.5 | 730 |
| EPS200 | 315 | 155.9 | 200 | 31.5 | 530 |
| EPS400 | 315 | 155.9 | 400 | 31.5 | 330 |

Tablo 2. Çimento kimyasal ve fiziksel özellikleri (Göлтаş, 2017)

| Kimyasal Özellikleri | % |
|------------------------------------|-------|
| SiO ₂ | 20.52 |
| Al ₂ O ₃ | 4.00 |
| Fe ₂ O ₃ | 3.45 |
| CaO | 64.28 |
| MgO | 1.63 |
| SO ₃ | 2.53 |
| Na ₂ O+K ₂ O | 1.35 |

| Fiziksel Özellikleri | % |
|--|------|
| İncelik (90 µ, %) | 0.10 |
| İncelik (200 µ, %) | 1.10 |
| Özgül Yüzey Alanı (cm ² /g) | 3340 |
| Özkütle (g/cm ³) | 3.12 |
| Hacimsel Genleşme (mm) | ≤1 |
| Priz Başlangıcı (dak) | 185 |
| Priz Sonu (dak) | 240 |
| Basınç Dayanımı (MPa) | 39.3 |
| Basınç Dayanımı (MPa) | 51.0 |
| 7 günlük Eğilme Dayanımı (MPa) | 5.8 |
| 28 günlük Eğilme Dayanımı (MPa) | 7.2 |

Kuruma büzülmesi özelliklerinin belirlenmesine yönelik test işlemleri, ASTM C-596-01 (2001) standardında belirtilen esaslar dahilinde gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, kalıplara yerleştirilmelerinden 24 saat sonra çıkarılan 25x25x285 mm boyutlarındaki büzülme çubuğu test örneklerinin (Şekil 1.) ilk boy ölçümleri yapılmış ve 28 gün %95 bağıl nem ortamında kürlenmiştir.

Her bir harç karışımı için 4 numune hazırlanmıştır. Test örneklerinin kalıplarından çıkarılması sonrası,

35. güne kadar 7 gün, 91. güne kadar 14 gün ve devamında 1'er ay sonra yapılan boy ölçümlerinden yararlanılarak numunelerin zamana bağlı boy değişimleri incelenmiştir.

Kuru yoğunluklar, TS EN-678 (1995) standardında belirttikleri şekilde bulunan kütle hacme oranlanmasıyla bulunmuşlardır.

TS EN 1354 (2007) standardında belirtilen esaslara göre; 6 adet 100 mm'lik küp örneği üzerinde yapılan basınç dayanımı testleri, 2400 N/s'lik yükleme hızı şartlarında tek eksenli basınç deneyi cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı hesaplanmasında kullanılan $f_c = F/A_c$ eşitliğinde; f_c , basınç dayanımı (MPa), F, kırılma yükü (N), A_c , numunenin yük doğrultusundaki kesit alanı (mm²)'dir.

Yarmada çekme dayanımı belirlemeleri 3 adet 15x15x15 cm'lik küp örnekleri üzerinde TS EN 12390-6 (2010) standardında belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Dayanım, $F_{ct} = 2F/\pi dh$ eşitliğinden yararlanılarak belirlenmiştir. Eşitlikte; f_{ct} , yarmada çekme dayanımı (MPa ya da N mm⁻²), F, en büyük yük (N), h, numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu (mm), d, numunenin seçilen en kesit boyutu (mm).

Köpük betonların ısı iletkenlikleri, ısı akısı ölçme yöntemi ile çalışan Lasercomp Fox 50 cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Numunelerin (Şekil 1. ve 2.) ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesinde, TS EN 12664 (2009) ve TS EN 12667 (2003) standartları esas alınmıştır.



Şekil 1. Genleşme-büzülme ve ısı iletkenlik örnekleri.



Şekil 2. Numunelerin kesit görünüşleri.

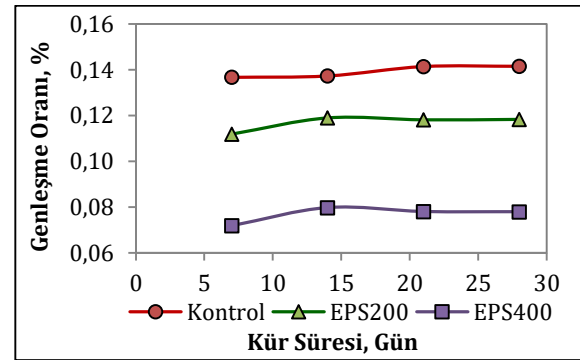
3. Araştırma Bulguları

3.1. Kuruma Büzülmesi

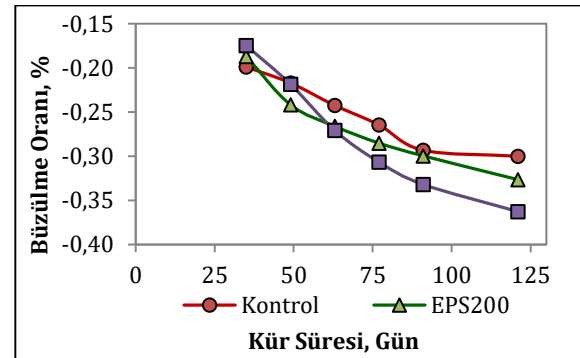
EPS uygulamalarının genişleme oranı üzerine etkileri Şekil 3.'de gösterilmiştir. EPS uygulama düzeylerinin genişleme oranları üzerindeki etkileri belirgin olarak farklılık göstermiştir. Keza EPS oranının artmasıyla genişleme oranları da azalmıştır.

Uygulama düzeyleri itibarıyla genişleme oranları büyüklüklerinin EPS400 < EPS200 < Kontrol şeklinde sıralandığı gözlenmiştir. Genişleme oranlarının, kürlenmenin 7. ve 28. günler arasındaki değişimi EPS uygulama düzeyleri için sırasıyla Kontrol % 0.137-0.142, EPS200 %0.112- 0.118 ve EPS400 %0.072-0.078 şeklindedir. 28 günlük ölçümler, genişlemenin asıl olarak 7 günlük kür süresinde tamamlandığını göstermiştir. Tüm EPS oranlarında 7. ve 28. günler arasındaki genişleme oranları değişimlerinin son derece küçük değerler aldığı belirlenmiştir.

Harç karışımı s/b oranının 0.45 olarak sabit tutulduğu ve azalan köpük hacmine eşdeğer EPS kullanımı şartlarında; 28-121 gün aralığı büzülme oranı değişimleri Şekil 4.'de gösterilmiştir. EPS uygulama düzeyleri için büzülme oranı farklılığının kararlı hale geldiği 63. gün sonrasında en fazla genişleyen en az büzülür esasına tam bir uyum gözlenmektedir. Nitekim, büzülme üzerinde EPS'nin karışımdaki hacimsel oranı ve elastisite özelliklerinin oldukça etkili olduğu ve betonun büzülmesine çok az engel teşkil etmesi nedeniyle karışımdaki oranı arttıkça büzülme oranı da arttığı belirtilmektedir (Chen ve Liu, 2004, Chen vd. 2010). EPS'nin köpük ajanı yerine kullanılmasıyla daha üniform bir boşluk yapısı oluşmuş, ancak büzülme oranı artmıştır. Farklı EPS kullanım oranları için 35. ve 121. günler arası büzülme oranı değerleri, Kontrol %-0.199 ve -0.300, EPS200 % -0.187 ve -0.326 ve EPS400 % -0.175 ve -0.363 aralığında değişmiştir. Hafif betonda doğal agrega yerine farklı oranlarda EPS kullanılan bir araştırmada; ortalama kuruma büzülmesi 210 günlük kürlenme şartları sonrasında 2.59×10^{-3} - 5.08×10^{-3} aralığında belirlenmiştir (Demirboğa ve Kan, 2012).



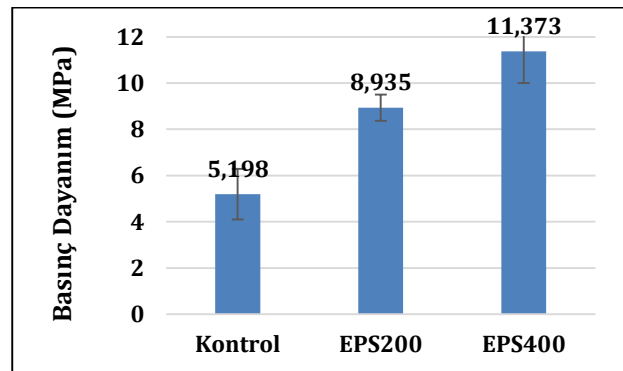
Şekil 3. EPS uygulamalarının genişleme oranı üzerine etkileri.



Şekil 4. EPS uygulamalarının büzülme oranı üzerine etkileri.

3.2. Basınç Dayanımları

EPS kullanım oranının artması basınç dayanımını artırmış 0.519 MPa'dan 1.137 MPa'ya yükseltmiştir (Şekil 5). Köpük hacminin azaltılması kuru yoğunluğu ve dolayısıyla basınç dayanımını yükseltmiştir.



Şekil 5. EPS oranının basınç dayanımı üzerine etkisi

Visagie (2000) köpük beton kuru yoğunluğunun ilave edilen köpük yüzdesine bağlı olduğunu bildirmiş, Kearsley (1999) ve Zakaria (2010) kuru yoğunluğun basınç dayanımı üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir. Buna neden olarak, yüksek miktardaki köpük hacminin, daha büyük, düzensiz, geniş bir gözenek dağılımına neden olduğu belirtilmiştir (Hilal, 2015). Ayrıca, köpük beton harç

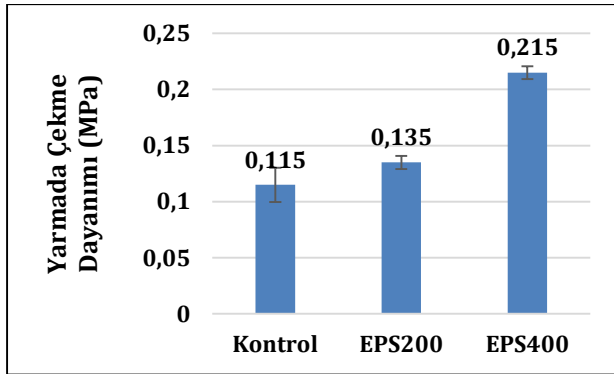
karışımında yüksek oranda UK bulunmasının, nihai dayanıma ulaşılması için gereken sürenin artmasına yol açtığı (Kearsley ve Wainwright, 2001) ve bu sürenin 90 güne kadar uzayabildiği bildirilmektedir (Babu vd. 2005).

Bu çalışmada, EPS kullanımıyla köpük hacmi 730 dm³'den 330 dm³'e kadar azaltılmış ve elde edilen bulguların literatürle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

3.3. Yarmada Çekme Dayanımı

Normal betonlarda agregaya ya da çimento yerine EPS kullanımı basınç ve yarmada çekme dayanımını azaltırken (Shi vd. 2016, Biçer ve Kar, 2017), köpük betonda tersi bir durum söz konusudur. Keza, köpük betonda kullanılan hafif agregaya türü ve diğer bazı ilave katkı materyalleri daha yoğun ve daha az gözenek oluşumuna neden olmaktadır.

Mevcut çalışmada da, yarmada çekme dayanımı EPS uygulamasıyla artmış ve Kontrol için 0.12 MPa iken EPS400 için 0.21 MPa bulunmuştur (Şekil 6.) EPS oranlarına bağlı olarak basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değişimleri birbirleriyle uyumludur.



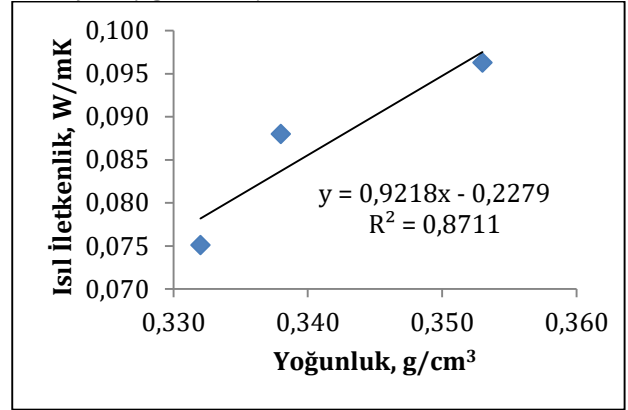
Şekil 6. EPS oranının yarmada çekme dayanımı üzerine etkileri

3.4. Isıl İletkenlik

EPS ilave edilmeyen köpük beton için (Kontrol) ısı iletkenlik 0.0751 W/mK olarak belirlenmiştir. EPS200 ve EPS400 için bulunan söz konusu değerler ise 0.0880 ve 0.0963 W/mK'dir. Kontrol numunesi için ısı iletkenliğinin diğer numunelere göre düşük olması direkt olarak kuru birim hacim kütlesi (yoğunluk) ile ilgilidir. EPS oranındaki artışla numune yoğunluğu ve buna bağlı olarak ısı iletkenlik değerleri artmıştır (Şekil 7.).

EPS'nin çimento (Biçer ve Kar, 2017) ya da doğal agregaya (Demirboğa ve Kan, 2012) yerine kullanıldığı çalışmalarda yoğunluk azalışına bağlı olarak ısı iletiminin azaldığı bildirilmiştir. Ancak bu çalışmada EPS, köpük yerine kullanılmış ve yoğunluk artışıyla

birlikte ısı iletkenliklerinde bir miktar (% 17.18 ve 28.23) artış gözlemlenmiştir.



Şekil 7. Isıl iletkenliğinin yoğunluğa bağlı değişimi.

4. Sonuç ve Öneriler

Köpük betonda boşluk yapısını düzenleyici özellikteki malzemelerin benzer etkilere sahip bazı atık malzemelerle kısmen ya da tamamen değiştirilmesi bağlamında EPS kullanımına yer verilmiştir. s/b oranının sabit tutulduğu tüm köpük beton numunelerinde büzülme, dayanım ve ısı iletkenlik özellikleri incelenmiş, karışım oranlarının etkinlikleri karşılaştırılmıştır.

Köpük betonların EPS kullanımına bağlı genişleme ve büzülme oranları farklıdır. Yine, söz konusu malzemenin kullanım oranları itibariyle de farklılıklar söz konusudur. Her iki uygulamada da genişleme, 7. gün itibariyle büyük ölçüde tamamlanmıştır. EPS kullanım oranları ile genişleme oranı değişimleri ilişkisi pozitif yönlüdür. EPS kullanım oranları için, büzülme oranı farklılıkları genişleme oranlarıyla da uyumludur. 121. gün itibariyle kullanım oranları büzülme oranları arasındaki farklılıklar oldukça belirgindir. Aynı zamanda EPS kullanımının büzülme kaynaklı beton yüzeyindeki kılcal çatlakları büyük ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir.

EPS kullanım oranlarının artması basınç dayanımlarını da artırmıştır. EPS kullanım oranının artırılmasıyla ulaşılan en yüksek basınç dayanımı değeri 5.2-11.4 MPa'dır. Bu değer ısı yalıtım amaçlı hafif betonlar için kabul edilebilir bir değerdir. Bununla birlikte EPS kullanımı yoğunluk artışıyla birlikte ısı iletiminin artmasına neden olmuştur.

Isı yalıtım amaçlı hafif beton açısından, köpük beton basınç dayanımı değerleri, söz konusu atık EPS'nin farklı oran ve kombinasyonlarıyla çalışmaların daha geniş kapsamda sürdürülmesi önerilmektedir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Anonim, 2018. EPSDER. EPS Sanayi Derneği. ESP nedir. <https://www.epsder.org.tr/tr/page/8/eps-nedir>. Erişim Tarihi: 22.12.2018.
- Babu, D. S., Babu, K. G., & Wee, T. H., 2005. Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash. *Cement and Concrete Research*, 35(6), 1218-1223.
- Cui, C., Huang, Q., Li, D., Quan, C., & Li, H., 2016. Stress-strain relationship in axial compression for EPS concrete. *Construction and Building Materials*, 105, 377-383.
- Davraz, M., Kılınçarslan, Ş., & Kuru, M., 2015. Farklı Yoğunluktaki Köpük Betonların Dayanım ve Isıl İletkenlik Özellikleri. https://www.researchgate.net/profile/Semsettin_Kilincarslan/publication/297353874_Farkli_Yogunluktaki_Kopuk_Betonların_Dayanım_ve_Isıl_Iletkenlik_Ozellikleri/links/56de849a08aed4e2a99d09f2.pdf. Erişim tarihi: 25.12.2018.
- Demirboga, R., & Kan, A., 2012. Thermal conductivity and shrinkage properties of modified waste polystyrene aggregate concretes. *Construction and Building Materials*, 35, 730-734.
- Ferrándiz-Mas, V., Bond, T., García-Alcocel, E., & Cheeseman, C. R., 2014. Lightweight mortars containing expanded polystyrene and paper sludge ash. *Construction and Building Materials*, 61, 285-292.
- Göлтаş, 2017. Isparta Göлтаş Çimento A.Ş., Portland Çimentosu standart torbası.
- Hilal, A.A., 2015. Properties and microstructure of pre-formed foamed concretes. PhD thesis, University of Nottingham. <http://eprints.nottingham.ac.uk/289031/Properties%20and%20Microstructure%20of%20Pre-formed%20Foamed%20Concretes.pdf>. Erişim Tarihi: 05.09.2017.
- Kearsley, E.P., 1999. The Effect of High Volumes of Ungraded Fly Ash on the Properties of Foamed Concrete. PhD thesis. The University of Leeds. http://etheses.whiterose.ac.uk/287/1/uk_bl_ethos_289789.pdf. Erişim Tarihi: 05.09.2017.
- Kearsley, E.P., Wainwright, P.J., 2001. Porosity and Permeability of Foamed Concrete. *Cement and Concrete Research* 31: 805- 812.
- Liu, N., & Chen, B., 2014. Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 68, 227-232.
- Nambiar, E.K., Ramamurthy, K., Asce, M., 2009. Shrinkage Behavior of Foam Concrete. *J. Mater. Civ. Eng.*, 21(11): 631-636.
- Ramamurthy, K., Nambiar, E. K., and Ranjani, G. I. S. 2009. A classification of studies on properties of foam concrete. *Cement and concrete composites*, 31(6), 388-396.
- Sayadi, A. A., Tapia, J. V., Neitzert, T. R., & Clifton, G. C., 2016. Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete *Construction and building materials*, 112, 716-724.
- Visagie, M., 2000. The Effect of Microstructure on the Properties of Foamed Concrete. Master Thesis. <https://repository.up.ac.za/dspace/bitstream/handle/2263/23075/dissertation.pdf?sequence=1>. Erişim Tarihi: 04.09.2017.
- Zakaria, Z.Bin., 2010. Shrinkage Deformation of Different Shape of Foamed Concrete Specimen. Other thesis. [http://umpir.ump.edu.my/2610/1/ZUHARI BIN ZAKARIA](http://umpir.ump.edu.my/2610/1/ZUHARI_BIN_ZAKARIA). PDF Erişim Tarihi: 06.09.2017. (Abstract).
- Bıçer A, Kar F., 2017. Thermal and Mechanical Properties of Cement-Eps-Marble Powder Composites. *JOTCSB;1(Special issue 1):25-32*.
- Chen, B., & Liu, J. (2004). Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber. *Cement and Concrete Research*, 34(7), 1259-1263.
- Shi, W., Miao, L., Luo, J., Wang, J., & Chen, Y. (2016). Durability of modified expanded polystyrene concrete after dynamic cyclic loading. *Shock and Vibration*, 2016.
- Chen, B., Liu, J., & Chen, L. Z. (2010). Experimental study of lightweight expanded polystyrene aggregate concrete containing silica fume and polypropylene fibers. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 15(2), 129-137.
- Schackow, A., Effting, 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.
- Gawale, R., Mishra, S., Sambare, H., Kothari, J., & Patil, A. P. M.(2016). Light weight cocrete by using eps beads. *Int.J.of Innovative Res.in Sci. Eng.*, 2 (3).

- Herki, B. (2017). Combined Effects of Densified Polystyrene and Unprocessed Fly Ash on Concrete Engineering Properties. *Buildings*, 7(3), 77.
- Tittarelli, F., Giosuè, C., Mobili, A., di Perna, C., & Monosi, S. (2016). Effect of using recycled instead of virgin EPS in lightweight mortars. *Procedia engineering*, 161, 660-665.
- TS EN 12667, 2003. Yapı malzemeleri ve mamullerinin ısı performans-Mahfazalı sıcak plaka ve ısı akış sayacı metotlarıyla ısı direncini tayini-Yüksek ve orta ısı dirençli mamuller. TSE, Ankara.
- TS EN 12664, 2009. Yapı malzemeleri ve mamulleri - Isıl direncini, korumalı tablalı ısıtıcı ve ısı akı ölçerini kullandığı metotlarla tayini - Isıl direncini orta ve düşük seviyede olan kuru ve rutubetli mamuller. TSE, Ankara.
- ASTM C596-01, 2001. Standard Test Method for Drying Shrinkage of Mortar Containing Hydraulic Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
- TS EN 1354, 2007. Gözenekli Hafif Beton- Basınç Dayanımının Tayini.
- TS EN 678, 1995. Gaz ve Köpük Beton- Kuru Yoğunluk Tayini.
- TS EN 12390-6, 2002. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini.