

Atık Polistiren Kullanılarak Üretilen Çimento Esaslı Harçların Fiziksel Özellikleri

Elif Tuğçe KOCABEYOĞLU^{1*}, Meliha COŞKUN² ve Beyza Nur AÇIKGÖZ³

¹İnşaat Teknolojisi /Meslek Yüksekokulu, Yozgat Bozok Üniversitesi, Türkiye

²İnşaat Teknolojisi /Meslek Yüksekokulu, Yozgat Bozok Üniversitesi, Türkiye

³İnşaat Teknolojisi /Meslek Yüksekokulu, Yozgat Bozok Üniversitesi, Türkiye

*(elifugce.kocabeyoglu@yobu.edu.tr) Başlıca yazarın mail adresi

Özet – Bina enerji tüketimi ve endüstriyel katı atıklar son yıllarda büyük kaygılar uyandırmıştır. Son yıllarda plastik ve polistiren ürünlerinin üretim ve tüketimindeki önemli artışı ve buna bağlı olarak atıklarının kirlilik potansiyelleri nedeniyle yeniden kullanımı ön plana çıkmıştır. Halihazırda, ambalaj sanayi sektörü, dünya çapındaki en büyük plastik atık miktarını sağlayarak ve toplam atıkların önemli bir miktarını temsil etmektedir [1]. Plastik atıkların yanı sıra polistiren de biyolojik olarak parçalanamayan Ciddi çevresel bir tehlike oluşturan polistirenin bertarafı ortaya zehirli ve kanserojen gazların çıkması gibi durumlardan kaynaklı sürdürülebilir bir çözüm olmamaktadır [2]. Bu sebeple çalışmada kırma kum atık polistiren agregası kullanılarak üretilen harçların fiziksel özellikleri kıyaslanarak yalıtım sektöründe yeniden kullanılabilirliği incelenmiştir. Standart küre tabi tutulan harç numuneler üzerinde fiziksel özelliklerin belirlenmesi amacıyla kuru birim ağırlık, porozite, su emme, ultrases geçiş hızı ve ısı iletkenlik katsayısının tayini deneyleri yapılmıştır. Atık polistiren agregalı numunelerin kuru birim hacim ağırlığa bağlı olarak porozite ve su emme değerlerinin kırma kum agregası içeren numunelere kıyasla daha yüksek olduğu bununla birlikte daha yüksek gözenekliliğe sahip olmasına bağlı olarak ultrases geçiş hızının daha düşük olduğu saptanmıştır. Atık polistiren agregalı numunelerin ısı iletkenlik katsayısının kırma kum agregalı numunelere kıyasla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile atık polistirenin yalıtım sektöründe yeniden değerlendirilebilmesi için umut verici sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Atık, Harç, Yalıtım, Isıl İletkenlik, Polistiren.

I. GİRİŞ

Son yıllarda plastik ve polistiren ürünlerinin üretim ve tüketimindeki önemli artışı ve buna bağlı olarak atıklarının kirlilik potansiyelleri nedeniyle yeniden kullanımı ön plana çıkmıştır. Halihazırda, ambalaj sanayi sektörü, dünya çapındaki en büyük plastik atık miktarını sağlayarak ve toplam atıkların %47'sini temsil etmektedir [1].

Plastik atıkların yanı sıra polistiren de biyolojik olarak parçalanamayan bir diğer ciddi çevresel tehlikedir. EPS (Genişletilmiş Polistiren Köpük), stiren monomerlerinin polimerizasyonu ile petrolde elde edilen termoplastik bir yapıdır ve genleşebilen polistiren boncuklardan oluşan köpüklü, kapalı hücreli, genellikle beyaz bir malzemedir. Genleştirilmiş Polistiren sert bir köpük

olan bu yapının plastik sektöründe EPS veya atık Strafor olarak kullanılmaktadır. Kullanılmayan yıpranmış ve eskimiş straforlar, atık köpük ya da hurda köpük olarak adlandırılmaktadır. Kullanılmış hali ise hurda strafor olarak adlandırılmaktadır. İnşaat sektöründe yaygın olarak ısı ve ses yalıtımı malzemesi olarak kullanılmaktadır [2]

Boyutsal kararlılığı, çok yönlülüğü ve düşük maliyeti nedeniyle 2016 yılında EPS tüketimi hızla artarak yaklaşık 6.7 milyon tona ulaşmış ve dünya çapında önemli çevre kirliliğine neden olmuştur. Polistiren ürünlerinin geri dönüşümü yaygın değildir. Polistireni geri dönüştürecek teknoloji olmasına rağmen geri dönüşüm pazarı çok küçüktür. EPS'nin çöp sahalarına atılması ve yakılması, küçük kütlesine kıyasla büyük hacmi, görsel kirliliği [2] ve

bertaraf sırasında stirenin (zehirli ve kanserojen bir gaz) açığa çıkması gibi sebeplerden kaynaklı sürdürülebilir bir çözüm değildir [3]. Ayrıca, küçük parçalar (mikroplastikler) yanlışlıkla balıklar tarafından yenebilir ve bu da deniz yaşamı ölümlerini artırır [4] 1950'den beri EPS inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılmaktadır. EPS geofom, kaldırım yapımında [2], hafif betonda agrega olarak [5], [6] moloz barajının [7] üzerinde bir tampon tabaka olarak, seramik kabuk köpükler [8] ve ısı yalıtkanları olarak kullanılır [9]. Ayrıca EPS, yaklaşık 75 yıldır yapısal yalıtımlı paneller (SIP) gibi panel uygulamalarında kullanılmaktadır. Çekirdek olarak EPS'den oluşan üç katmanlı bir sandviç panel olup, konut ve ticari binalar için çelik veya ahşap karkasların zemin, duvar ve çatılarında eleman olarak kullanılmaktadır. [10,11]

Polistiren önceki araştırmalarda ölçülen 0.03 ve 0.04 W/mK arasında bir ısı iletkenlik katsayısı ile iyi ısı yalıtım kapasitesine neden olan, çoğunlukla hermetik havadan (yaklaşık %96-98) oluşan hücreli bir yapı ile karakterize edilmektedir [12,13]. Bu özellik, ambalajdan çıkan EPS'nin çevreye fayda sağlarken, ısı yalıtımı olarak da kullanılabilir geri dönüştürülmüş malzemelerden biri olduğunu göstermektedir. Bina enerji tasarrufunun yapısal olmayan uygulamaları için endüstriyel katı atıkların EPS birleştirilmesiyle yeni bir ısı yalıtım kompoziti yapılabileceği ifade edilmiştir.

Önceki araştırmalar, yanmazlığa ve düşük ısı iletkenliğine sahip hafif kompozitlerin, EPS'nin sıradan Portland çimentosu (OPC) kompozitleri gibi inorganik çimentolu malzemelerle birleştirilmesiyle hazırlanabileceğini göstermiştir [14,15,16,17,18]. Bu çalışmalardan, hafif kompozitlerin yoğunluğunun, mekanik özelliklerinin, ısı iletkenliğinin, EPS'nin düşük mukavemeti ve yüksek gözenekliliğine atfedilen EPS içeriğinin artmasıyla düşüş eğilimi gösterdiği sonucuna varılmıştır. OPC'NİN dünyada en çok kullanılan yapı malzemesi olduğu ve genellikle hafif agrega olarak EPS ısı yalıtım kompozitlerinde çimentolu malzemeler olarak kullanıldığı evrensel olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, inşaat sektörüne olan ilginin artması, OPC üretimi ile birlikte büyük miktarda enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları nedeniyle OPC kullanımını azaltma veya OPC için alternatif bir malzeme arama eğilimidir. Ayrıca, daha önceki çalışmalar ağırlıklı

olarak EPS ısı yalıtım malzemelerinin döküm yöntemiyle hafif agrega olarak hazırlanmasına odaklanmıştır.

Dixit ve diğ. [18] bağlayıcı olarak OPC ve silis dumanı ve hafif agrega olarak EPS boncukları kullanarak minimum 1463 kg/m³ yoğunluğa ve 0.49 W/mK en düşük ısı iletkenliğine sahip hafif çimento kompozitleri hazırlanmıştır. Bicer ve diğ. [19] atık EPS ile karıştırılan yeni hafif alçı sıvanın yoğunluğu, su emilimi, mekanik mukavemeti ve ısı iletkenliği üzerinde çalışılmış ve bina enerji verimliliği için düşük yoğunluklu (451-1088 kg/m³) bir ısı yalıtım malzemesi elde edilmiştir. Brooks ve diğ. [16] hafif çimentolu kompozitler üretmek için farklı ebatlarda EPS boncukları kullanmış ve bunların bölme duvarlar ve tavan panelleri gibi yapısal olmayan uygulamalar için uygun olduğunu düşünmüştür.

Colangelo ve diğ. [14], EPS içeriğinin hafif jeopolimer kompozitlerin yoğunluk ve termal özellikleri üzerindeki etkisini araştırmış ve daha yüksek EPS içeriğine sahip numunelerin, daha düşük EPS içeriğine sahip olanlara göre daha düşük yoğunluğa ve daha küçük ısı iletkenliğe sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca, ısı iletkenliğinin (0.121–0.207 W/mK) yoğunlukları (516-827 kg/m³) ile anlamlı bir pozitif doğrusal korelasyona sahip olduğu ve mermer tozu ve epoksi reçinesi gibi diğer faktörlerin ısı iletkenliği üzerinde çok az etkisi olduğu sonucuna varmışlardır. Bununla birlikte, döküm yöntemi için şekillendirme ihtiyaçlarını karşılamak için EPS boncukları arasındaki boşluk boşluğunu doldurmak için bol miktarda bağlayıcı gerektirmiştir. Bağlayıcıların artması nedeniyle yoğunluğu daha da azaltmak ve yalıtım performansını artırmanın zor olduğu, bu da artan bina enerji tasarrufu talebini karşılayamamasına neden olacağı ifade edilmiştir. EPS boncukları kapalı gözenekli malzemeler olduğundan, daha büyük oranda MCB (minyatür devre kesici) malzemesi içeren numunelerin veya daha düşük oranda EPS boncuklarının daha yüksek su emilimine sahip olduğunu gösteren NTIC (ısı yalıtım kompoziti) numunelerinin su emilimine çok az katkısı olduğu gözlemlenmiştir. NTIC numunelerinin su emilimi, aynı sıkıştırma oranındaki yoğunluğun artmasıyla (MCB malzemelerinin artması) artacağı yorumu yapılmıştır. Bununla birlikte, bu eğilimin, A numunelerini B numuneleriyle karşılaştırarak farklı sıkıştırma oranlarına sahip numuneler için geçerli

olmadığı ifade edilmiştir. EPS ve köpüklü poliüretan gibi organik ısı yalıtım malzemelerinin hızla yanması ve yangında çok fazla duman üretmesi, çalışmadaki NTIC örneklerinin mükemmel yangın güvenliğine sahip olduğunu göstermiştir. Yanma işleminden sonra numunelerin yüzeyinde EPS boncuklarının ateşte karbonlaşmasına atfedilebilecek çok sayıda gözenek görülmüştür. Bu gözeneklerin düzgün dağılımı, EPS boncuklarının çimentolu malzemelerde eşit olarak dağıldığını göstermiştir [20].

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Numunelerin Üretimi

Çalışmada harç üretiminde yoğunluğu 3.15 g/cm^3 olan CEM I tipi 42.5 R çimento, karışım suyu olarak TS EN 1008 [21] standardına uygun olarak Yozgat ili şehir şebeke suyu ve 2 farklı agrega tipi kullanılmıştır. Referans harcı üretmek için 0-2 mm boyutunda özgül ağırlığı 2.65 g/cm^3 olan kırma kum agregası ve 0-2 mm boyutunda özgül ağırlığı 1.04 g/cm^3 olan atık polistiren kullanılmıştır.



Şekil 1. Numunelerin üretimi.

Kırma kum ve atık polistiren agregası kullanılarak numuneler üretilmiştir. Karışımlarda işlenebilirlik sabit tutulmuştur. Karışımların kodlanması agrega türüne bağlı olarak belirlenmiştir. Örnek olarak; AP karışım kodu atık polistiren agrega ile üretilen harcı ifade etmektedir. Harç karışımında kullanılan malzeme miktarları Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 2. Deneylerin yapılması.

Üretilen numuneler, bir gün sonra kalıptan çıkarılmış ve 28 gün boyunca 20 ± 3 sıcaklıkta su içerisinde kür edilmiştir. Fiziksel deneylerde kullanmak üzere referans numuneler ile birlikte toplam 2 seri harç üretimi yapılmıştır. Her bir seri için 6 adet olmak üzere toplamda 12 adet $40 \times 40 \times 160$ mm boyutlarında prizmatik ısı iletkenlik deneyinde kullanmak üzere her bir seri için üç adet olmak üzere toplamda 6 adet $3 \times 30 \times 30$ cm boyutlarında plak numuneler üretilmiştir.

B. Deneysel Çalışma

Çalışmada hazırlanan sertleşmiş harçlar üzerinde ultrases geçiş hızının (UGH) tayini deneyi TS EN 12504 - 4 [22] standartına uygun olarak ısı iletkenlik katsayılarının tayini deneyi ise ASTM C518 [23], ISO 8301 [24] ve EN 12667 [25] standartlarına uygun olarak yapılmıştır.

Isı iletkenlik ölçüm cihazı (Thermtest HFM), kalınlığı 40 mm ve üzeri olan malzemelerde ısı parametreleri ölçmek için kullanılır ve yüzey sıcaklığını kontrol etmek için elektrikli soğutma ve ısıtma sistemi ile donatılmıştır. Cihaz, bilgisayar tarafından kontrol edilen numune kalınlığının otomatik ölçümü için bir sistem ve ölçüm kayıtları ve analizlerin oluşturulmasına olanak sağlayan özel bir program ile donatılmıştır.

Tablo 1. Harç karışımında kullanılan malzeme miktarları (1 m^3 için).

| Agrega Türü | Karışım Kodu | Çimento, kg | Agrega, kg | Su, kg |
|-----------------|--------------|-------------|------------|--------|
| Kırma Kum | KK | 545 | 1998 | 325 |
| Atık Polistiren | AP | 545 | 57,67 | 325 |

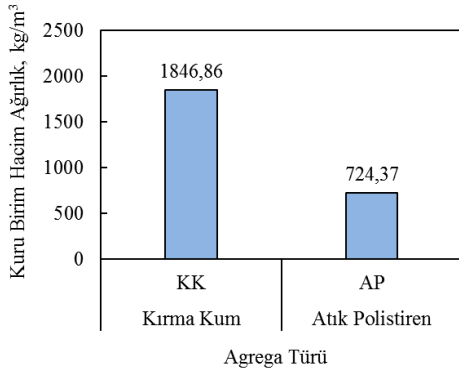
III. BULGULAR

Bu bölümde fiziksel deneylerden elde edilen sonuçlara yer verilmiştir. Kuru birim hacim ağırlık (KBHA), su emme, porozite, ultrases geçiş hızı (UGH) ve ısı iletkenlik katsayısı deney sonuçları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Fiziksel Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar

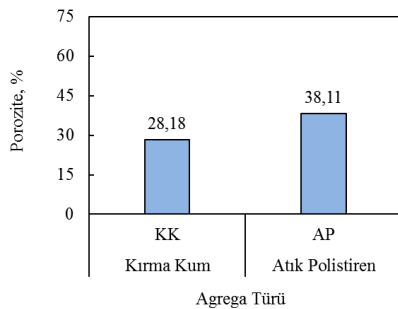
| Karışım Kodu | KBHA kg/m ³ | Porozite % | Su Emme % | UGH km/s | Isıl İletkenlik Katsayısı, W/mK |
|--------------|------------------------|------------|-----------|----------|---------------------------------|
| KK | 1846.86 | 28.18 | 15.26 | 2.79 | 0.3839 |
| AP | 724.37 | 38.11 | 52.86 | 1.72 | 0.1553 |

Kırma kum ve atık polistiren kullanılarak üretilen harçların kuru birim hacim ağırlık değerleri sırası ile 1846.86 ve 724.37 kg/m³ olarak elde edilmiştir. Atık polistiren agregalı numunelerin kuru birim hacim ağırlık değerinin kırma kum agregalı numunelere kıyasla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



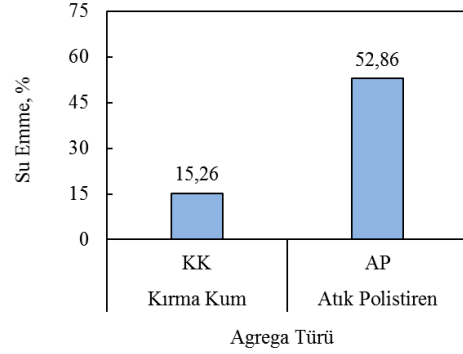
Şekil 3. Agregat türüne göre kuru birim hacim ağırlık.

Kırma kum ve atık polistiren kullanılarak üretilen harçların porozite değerleri sırası ile % 28.18 ve % 38.11 olarak elde edilmiştir. Atık polistiren agregalı numunelerin porozite değerinin kırma kum agregalı numunelere kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



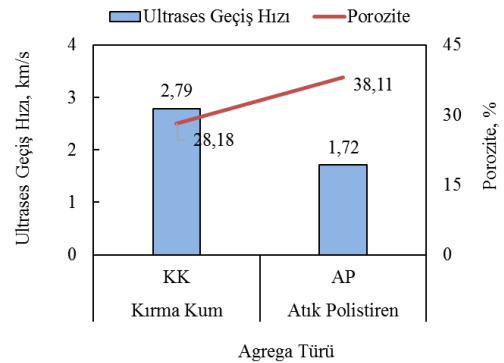
Şekil 4. Agregat türüne göre porozite.

Kırma kum ve atık polistiren kullanılarak üretilen harçların su emme değerleri sırası ile % 15.26 ve % 52.86 olarak elde edilmiştir. Atık polistiren agregalı numunelerin su emme değerinin kırma kum agregalı numunelere kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



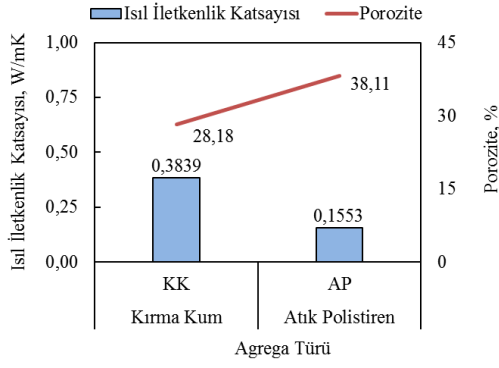
Şekil 5. Agregat türüne göre su emme.

Kırma kum ve atık polistiren kullanılarak üretilen harçların ultrases geçiş hızları sırası ile 2.79 km/sa ve 1.72 km/sa olarak elde edilmiştir. Porozite değeri yüksek olan atık polistiren agregalı numunelerin kırma kum agregalı numunelere kıyasla daha yüksek gözenekliliğe sahip olmasına bağlı olarak ultrases geçiş hızının daha düşük olduğu saptanmıştır.



Şekil 6. UGS- porozite ilişkisi.

Kırma kum ve atık polistiren kullanılarak üretilen harçların ısı iletkenlik katsayısı değerleri sırası ile 0.3839 W/mK ve 0.1553 W/mK olarak elde edilmiştir. Porozite değeri yüksek olan atık polistiren agregalı numunelerin kırma kum agregalı numunelere kıyasla daha yüksek gözenekliliğe sahip olmasına bağlı olarak ısı iletkenlik katsayısının daha düşük olduğu saptanmıştır.



Şekil 7. Isıl iletkenlik katsayısı-porozite ilişkisi.

IV. TARTIŞMA

Colangelo ve diğ. [14] yaptıkları çalışmada, yüksek EPS içeriğine sahip numunelerin, daha düşük EPS içeriğine sahip olanlara göre daha düşük yoğunluğa ve daha küçük ısıl iletkenliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir. Bununla birlikte, yoğunluklar $516-827 \text{ kg/m}^3$ arasında $0.121-0.207 \text{ W/mK}$ ısıl iletkenliğine sahip ısı yalıtım malzemesi üretiminin mümkün olduğu vurgulanmıştır.

Yapılan çalışmalarda gözenekli yapısı ile polistirenin 0.03 ve 0.04 W/mK arasında bir ısıl iletkenlik katsayısına ve genellikle hermetik havadan (yaklaşık %96-98) oluşan hücreli bir yapıya sahip olduğu ifade edilmiştir. [12,13].

Dixit ve diğ. [18] tarafından bağlayıcı olarak OPC ve silis dumanı ve hafif agregat olarak EPS boncukları kullanarak minimum 1463 kg/m^3 yoğunluğa ve 0.49 W/mK düşük ısı iletkenliğine sahip hafif çimento esaslı kompozitler elde edilmiştir.

Mutluay vd., [26] yaptığı çalışmada harçta vermikülit ve polistiren kullanımının % 67.2' ye varan çok yüksek gözenekliliği ve 393 ile 946 kg/m^3 arasında birim ağırlığına sahip harç üretiminin mümkün olduğu görülmüştür. Birim ağırlığın azalmasına neden olan vermikülit + polistiren/çimento oranı arttığında gözenekliliğin yaklaşık %70'e varan oranlarda arttığı ve ısıl iletkenlik katsayısının 0.09 W/mK 'ye kadar azaldığı ifade edilmiştir.

Sertleşmiş harçlar üzerinde yapılan deneylerden elde edilen verilere göre 724.37 kg/m^3 kuru birim hacim ağırlığına sahip çimento esaslı atık polistirenli numunelerin % 38.11 arasında değişen gözenekliliğe bağlı olarak ısıl iletkenlik katsayısının 0.1553 W/mK olduğu belirlenmiştir. Literatürdeki çalışmaların bu çalışmadaki gözlemlerle paralel olduğu görülmüştür.

V. SONUÇLAR

Çalışmada farklı agregaların üretilen harçların fiziksel özellikleri üzerine etkisi ile ilgili sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Kırmızı kum agregalı numunelerin kuru birim hacim ağırlığının atık polistiren agregalı numunelerden daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Atık polistiren agregalı numunelerin kuru birim hacim ağırlığına bağlı olarak porozite ve su emme değerlerinin kırmızı kum agregası içeren numunelere kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Porozite değeri yüksek olan atık polistiren agregalı numunelerin kırmızı kum agregalı numunelere kıyasla daha yüksek gözenekliliğe sahip olmasına bağlı olarak ultrases geçiş hızının daha düşük olduğu saptanmıştır.
- Atık polistiren agregalı numunelerin ısıl iletkenlik katsayısının kırmızı kum agregalı numunelere kıyasla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Farklı atık malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenebilir ve optimum agregat içeriği ve boyutları belirlenebilir.

TEŞEKKÜR

2209-A-Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında 1919B012113172 numaralı projemize maddi destek sağlayan Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Plastic bag ban in Austria as from 2020, Avusturya Federal Tarım, Bölgeler ve Turizm Bakanlığı, 15.03.2019, (Erişim Tarihi: Eylül 2020).
- [2] A. Milling, A. Mwashu, H. Martin, Exploring the full replacement of cement with expanded polystyrene (EPS) waste in mortars used for masonry construction, Constr. Build. Mater. 253 (2020) 119158. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119158>.
- [3] J.Huff, P.F Infante, Styrene exposure and risk of cancer, Mutagenesis 26 (5) (2011) 583-584. <https://doi.org/10.1093/mutage/ger033>.

- [4] I.C. Shaw, T.A. Farrelly, Polystyrene as hazardous household waste, *Househ. Hazard. Waste Manag.* (2017). <https://doi.org/10.5772/65865>.
- [5] C. Jayasinghe ,M.T.R. Jayasinghe, P.L.N. Fernando, Structural feasibility of Expanded Polystyrene (EPS) based lightweight concrete sandwich wall panels, *Constr. Build. Mater.* 139 (2017) 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.02.027>.
- [6] R. Demirboğa. Kan, A novel material for lightweight concrete production, *Cem. Concr. Compos.* 31 (7) (2009) 489–495. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.05.002>.
- [7] J. Chen, X. Yu, X.Chen, W. Zhao, The influence of an EPS concrete buffer layer thickness on debris dams impacted by massive stones in the debris flow, *Shock Vib.* (2015) (2015) 1–11. <https://doi.org/10.1155/2015/463640>.
- [8] E.G. De Moraes, L. Sangiacomo, N.P. Stochero, S. Arcaro, L.R. Barbosa, A. Lenzi, C. Siligardi, A.P. Novaes de Oliveira, Innovative thermal and acoustic insulation foam by using recycled ceramic shell and expandable styrofoam (EPS) wastes, *Waste Manag.* 89 (2019) 336–344. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.019>.
- [9] H. Omidian, S. Doroudiani, Environmental, health and safety concerns of decorative mouldings made of expanded polystyrene in buildings, *Build. Environ.* 45 (3) (2010) 647–654. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.004>.
- [10] Federation of American Scientists, Expanding the Scope and Market of SIP Technologies: A History of SIPs and CSIP Manufacturing, Construction, and Market Issues, 2009.
- [11] J. Lstiburek, Builder's guide To Structural Insulated Panels (SIPs) for all Climates, 1 st ed., Building Science Press, Westford, 2008.
- [12] N.H. Ramli, S.A.S. Sulong Mustapa, M.K. Abdul Rashid, Application of expanded polystyrene (EPS) in buildings and constructions: A review, *J. Appl. Polym. Sci.* 136 (2019) 1–11. <https://doi.org/10.1002/app.47529>.
- [13] A. Lakatos, F. Szodrai, Effect of wetting time in the sorption and in the thermal conductivity of the most commonly used structural materials, *Build. Serv. Eng. Res. Technol.* 38 (4) (2017) 475–489. <https://doi.org/10.1177/0143624416681613>.
- [14] F. Colangelo, G. Roviello, L. Ricciotti, V. Ferrandiz-Mas, F. Messina, C. Ferone, O. Tarallo, R. Cioffi, C. R. Cheeseman. (2018). Mechanical and thermal properties of lightweight geopolymer composites. *Cement Concr. Compos.* 86, 266e272. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.11.016>.
- [15] A.A. Sayadi , G.C. Clifton, J.V. Tapia, T.R. Neitzert, 2016. Effects of expanded poly-styrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete. *Construct. Build. Mater.* 112, 716e72. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.218>.
- [16] A. L. Brooks, H.Y. Zhou, D. Hanna. (2018). Comparative study of the mechanical and thermal properties of lightweight cementitious composites. *Construct. Build.Mater.* 159, 316e328. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.102>.
- [17] B. Chen, J.Y. Liu. (2004). Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber. *Cement Concr. Res.* 34 (7), 1259e1263. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.12.014>.
- [18] A.Dixit, S.D.Pang, S.H. Kang, J. Moon, (2019). Lightweight structural cement composites with expanded polystyrene (EPS) for enhanced thermal insulation. *Cement Concr. Compos.* 102, 185e197. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.04.023>.
- [19] A. Bicer, F. Kar. (2017). Thermal and mechanical properties of gypsum plaster mixed with expanded polystyrene and tragacanth. *Therm. Sci. Eng. Prog.* 1, 59e65. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2017.02.008>.
- [20] C. Wang , L.Y. Wang, P. Liu, Z.J. Jing, X.S. Ge, Y.J. Jiang, (2018). The flame resistance properties of expandable polystyrene foams coated with a cheap and effective barrier layer. *Construct. Build. Mater.* 176, 403e41. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.023>.
- [21] TS EN 1008, (2013). Beton Karma Suyu, Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyley ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dâhil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları.
- [22] TS EN 12504-4, (2012) Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini.
- [23] ASTM C518, (2021). Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus.
- [24] TS ISO 8301/A1, (2015). Isı yalıtımı - Kararlı halde ısıl direncin ve ilgili özelliklerin tayini - Isı akış tayini için metotlar.
- [25] TS EN 12667, (2003). Yapı malzemeleri ve mamullerinin ısıl performansı-Mahfazalı sıcak plaka ve ısı akış sayacı metotlarıyla ısıl direncin tayini-Yüksek ve orta ısıl dirençli mamuller.
- [26] E. Mutluay, F. Köksal, O. Gencil, (2020). Characteristics Of İsolation Mortars Produced With Expanded Vermiculite and Waste Expanded Polystyrene, *Construction And Building Materials*, 236 (2020), 117789.