

MODİFİYE ATIK EPS ve BENZER GRADASYONA SAHİP ÇİNE KUMUNUN MAKASLAMA DAVRANIŞLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

COMPARISON OF SHEAR STRENGTH BEHAVIOR FOR MODIFIED WASTE EPS AND CINE SAND WITH SIMILAR GRADATION

Volkan KALPAKCI¹

ÖZET

Atık malzemelerin geri dönüşümü tüm Dünya'da araştırmacıların özellikle son yıllarda üzerinde yoğunlaştığı ve çevre dostu çözümler üretmek için çaba gösterdiği bir alan olmuştur. Özellikle yüksek miktarda üretilen atıkların belirli işlemlerden geçirildikten sonra yapı endüstrisinde kullanılmaları önemli ve verimli bir geri dönüşüm metodu olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle beyaz eşya ve mobilya endüstrisi ile çeşitli ambalaj atıkları sebebiyle her yıl çok büyük miktarlarda EPS atığı elde edilmektedir. Bu çalışmada, sırasıyla ısıtma işleminden ve daha sonra öğütülme sürecinden geçirilen atık EPS'ler (MEPS) örnek bir kum numunesi ile aynı dane boyu dağılımına getirilerek bu iki malzemenin makaslama dayanımları kesme kutusu deneyleri ile belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda, test edilen atık MEPS malzemesinin karşılaştırıldığı kum malzemeye göre yaklaşık 8 kat hafif bir malzeme olmasına rağmen, benzer makaslama dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Deneylerde, test edilen kum numunesinin aynı görece sıklıktaki MEPS malzemesine göre aynı normal gerilme seviyelerinde, makaslama dayanımına ulaşana dek, aynı makaslama gerilmesi seviyeleri için daha düşük yatay deformasyon gösterdiği görülmüştür. Eşdeğer kum numunesi ile benzer makaslama dayanımına sahip ve aynı kum numunesine göre yaklaşık 8 kat daha hafif olan MEPS atık malzemesinin daha detaylı deneyler neticesinde istinat yapılarında geri dolgu malzemesi olarak kullanımının gelecekte mümkün olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: EPS, makaslama, kum, geri dolgu, kesme kutusu

ABSTRACT

Recycling of waste materials has been an area that researchers around the world have focused on, especially in recent years, and have strived to produce environmentally friendly solutions. The use of waste produced in large quantities in the construction industry after certain processes is an important and efficient recycling method. Huge amounts of EPS waste are generated every year, especially due to the white goods and furniture industry

¹ Doç. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi (idari), kalpakci@metu.edu.tr (Sorumlu yazar)

and various packaging wastes. In this study, waste EPS (MEPS), which was respectively subjected to heat treatment and then grinding, was brought to the same grain size distribution as the reference sand sample, and the shear strengths of these two materials were determined and compared with shear box tests. As a result of the analysis, it was seen that the tested waste MEPS material had similar shear strength, although it was approximately 8 times lighter than the sand material with which it was compared. In the experiments, it was observed that the tested sand sample showed lower horizontal deformation at the same normal and shear stress levels than the MEPS material with the same relative stiffness, until reaching the ultimate shear strength. It is thought that it may be possible to use MEPS waste material, which has similar shear strength to the equivalent sand sample and is approximately 8 times lighter than the same sand sample, as backfill material in retaining structures as a result of more detailed tests in the future.

Keywords: EPS, shear, sand, back fill, shear box

1. GİRİŞ

Her geçen yıl, üretilen atık miktarı artış göstermektedir. Bu sebeple, üretilen atıkların geri dönüşümü özellikle son yıllarda çok önem kazanmıştır. Bu amaçla, araştırmacılar tarafından pek çok farklı yöntem önerilmiştir ve pek çok çalışma halen devam etmektedir. Önerilen yöntemler arasında, atık malzemelerin çeşitli amaçlarla yapım endüstrisinde kullanılması, geri dönüştürülecek miktarların büyük olması sebebiyle özellikle yüksek miktarlarda üretilen atıkların geri dönüşümünde makul ve verimli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Doğal agregalar, yapı sektöründe kullanılan en önemli malzemelerden birisidir. Doğal agregaların taş ocaklarından sökümü hem doğaya zarar vermekte hem de doğal topoğrafyayı kalıcı olarak değiştirmektedir. Ayrıca, doğaya olan zararlarının yanında, taş ocaklarından bu malzemelerin sökülmesi ve nakliyesi, özellikle kaynak sahasına uzak şantiyeler için önemli bir maliyet oluşturmaktadır. Bu etkiler gözönünde bulundurularak, araştırmacılar atık malzemelerden elde edilen ve doğal agregalar yerine inşaat sektöründe kullanılabilecek malzemeler için araştırmalar yapmışlardır.

Bu çalışmalardan birisinde, Kan ve Demirboğa (2009a) modifiye EPS (MEPS) olarak adlandırdıkları malzemeyi, 130°C'de 15 dakika boyunca ısıtma işleminden geçirdikten sonra malzemenin ciddi miktarda sertleştiğini ve daha sonra istenilen boyuta parçalanabildiğini ve aynı zamanda bu malzemenin doğal agregaya göre çok daha hafif olduğunu görmüşlerdir. Daha sonraki çalışmalarında ise (Kan ve Demirboğa, 2009b) MEPS malzemenin hafif beton üretiminde kullanım seçeneklerini araştırmışlardır. Deneyler sonucunda birim hacim ağırlığı 9-17 kN/m³ aralığında değişen MEPS ile üretilmiş hafif beton malzemenin 28 günlük basınç dayanımının 12.58 – 23.34 MPa aralığında değiştiği gözlenmiştir. Bu çalışma neticesinde MEPS atık malzemesinin hafif agregalar olarak inşaat sektöründe kullanılmasının mümkün olabileceği görülmüştür.

Hafif geri dolgu malzeme kullanımı, istinat yapılarındaki pek çok avantajı sebebiyle, geoteknik alanında da son yıllarda ilgi çeken bir araştırma alanı olmuştur. Preber vd. (1994), Cecich vd. (1996), Sun (1997), Humphrey ve Sandford (1993), Tweedie vd. (1998), Horvath (1998) ve Lee vd. (1999) bu tür çalışmaların öncüleri olarak sıralanabilir. Bathurst vd. (2007a, 2007b), Kim ve Kang (2011), Ertuğrul ve Trandafir (2013), Ahn ve Chang (2014) ve

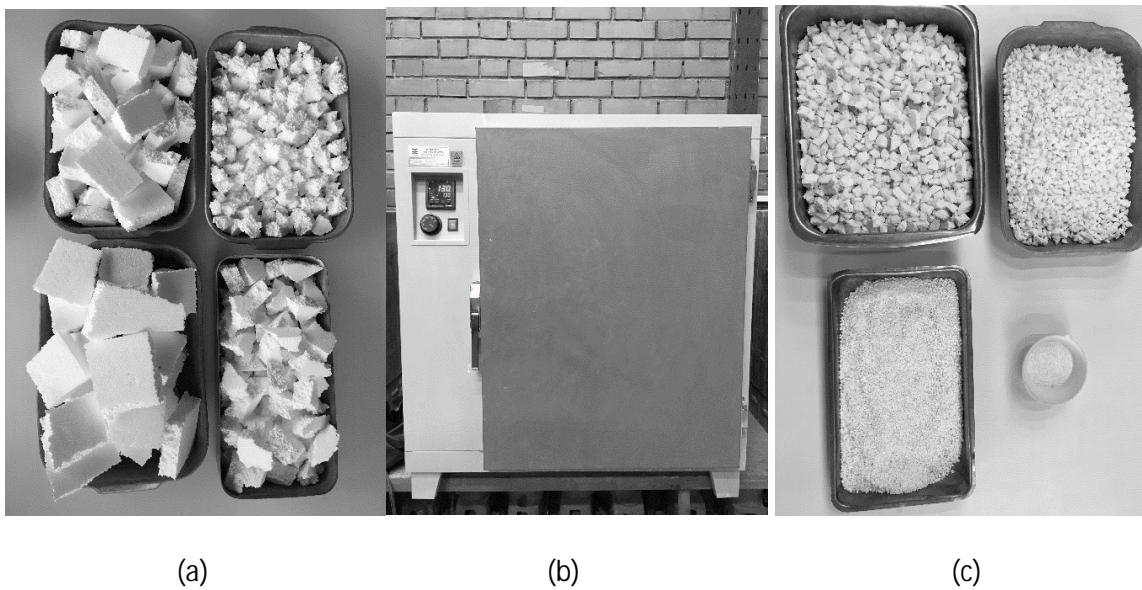
Reddy ve Krishna (2015), Çanakcı vd. (2016) gibi daha güncel çalışmalar ise; parçalanmış atık lastikler, kauçuk-kum karışımları ve atık EPS'lerin hafif geri dolgu malzemesi olarak kullanıldığı ve hem deneysel hem de analitik olarak statik ve sismik yükler altında incelendiği güncel çalışmalar olarak sıralanabilir.

İstinat yapılarında, geri dolgu malzemelerinin yapı üzerinde oluşturacağı yatay yükleri belirlemede birim hacim ağırlıklarının yanında, önemli parametrelerden birisi de makaslama dayanımlarıdır. Bu çalışmada, atık EPS malzemesinin ısı işleminden geçirilmesi sonrasında elde edilen modifiye EPS (MEPS) malzemesi daha sonrasında öğütülerek, referans olarak kabul edilen bir temiz kum numunesi ile (Çine kumu) aynı dane boyu dağılımına getirilmiştir. Sonrasında ise iki malzeme üzerinde aynı kesme kutusu makinası ile, eşit rölatif sıklıkta ve eşit düşey gerilmeler altında kesme kutusu deneyleri yapılarak iki malzemenin de makaslama dayanımları belirlenmiştir. Bu çalışmanın, gelecekte MEPS atık malzemesinin hafif geri dolgu olarak kullanımı amacıyla yapılacak çalışmalar için bir ön çalışma olması amaçlanmıştır.

2. MALZEME VE METOT

2.1. Malzeme

Bu çalışmada, tüm deney süreci Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yürütülmüştür. Modifiye EPS (MEPS) malzemesinin üretiminde, beyaz eşya ambalaj atıklarından elde edilen 12kg/m^3 yoğunluğa sahip atık EPS kullanılmıştır. Plakalar halinde olan bu malzeme önce kırılarak daha küçük parçalara bölünmüş, daha sonra ise laboratuvar fırınında 130°C sabit ısıda 15 dakika boyunca bekletilmiştir. Fırınlanan malzemeler 24 saat soğumaya bırakıldıktan sonra farklı dane boylarına öğütülüp sonrasında elekten geçirilerek sınıflanmıştır. (Şekil 1)

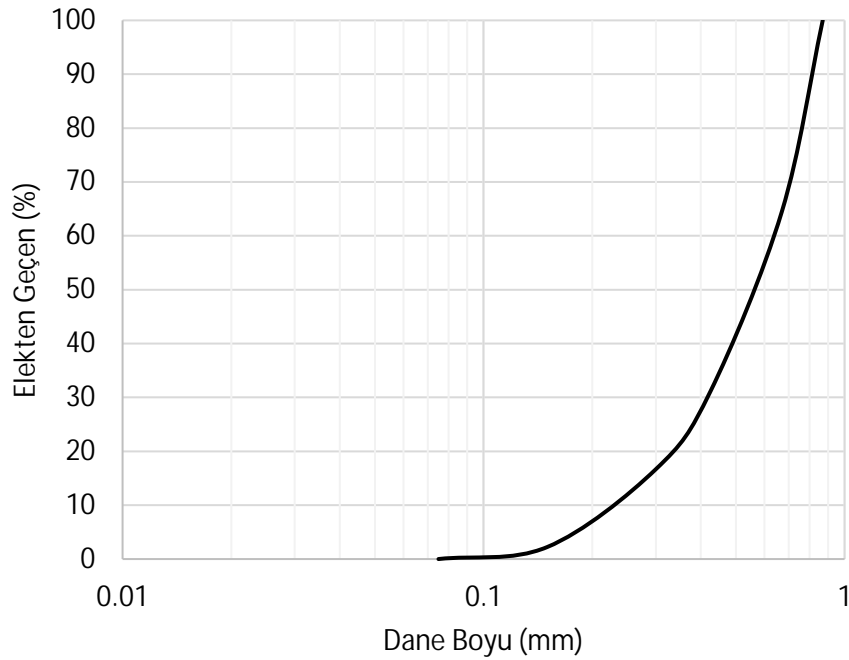


Şekil 1. MEPS üretim aşamaları (a) Atık EPS'lerin parçalanması, (b) Fırınlama işlemi, (c) MEPS parçacıkları

İkinci aşamada ise MEPS parçacıklarına benzer yuvarlak, yarı-yuvarlak daneleri olan granüler bir malzeme seçilmesi gerekmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda Çine deresinden elde edilen temiz bir kum olan Çine kumunun MEPS ile geometrik olarak benzer dane yapısı dağılımında olduğu görülmüştür. Çine kumu için elek analizi yapılarak, dane boyu dağılımı belirlenmiş ve zemin sınıflaması yapılmıştır. Daha sonra MEPS numuneleri, deneylerde referans olarak kabul edilecek Çine kumu ile benzer dane boyu dağılımına gelecek şekilde eleme ve karıştırma yöntemiyle hazırlanmıştır. MEPS ve Çine kumu malzemelerinin her iki de kohezyonsuz temiz kum niteliğinde olup, bazı temel özellikleri Tablo 1’de özetlenmiştir. Çine Kumu dane boyu dağılımı grafiği Şekil 2’de verilmiştir.

Tablo 1. MEPS ve Çine Kumu Bazı Temel Özellikleri

	MEPS	Çine Kumu
Spesifik Gravite, G_s	0.33	2.66
Kuru birim havim ağırlık, γ_{dry} (kN/m ³)	2.09	16.66
Minimum boşluk oranı, e_{min}	0.40	0.44
Maksimum boşluk oranı, e_{maks}	0.82	0.80
D_{10} (mm)	0.23	0.23
Ortalama dane çapı, D_{50} (mm)	0.57	0.57
Üniformluk katsayısı (C_u)	2.78	2.78
Konkavlık katsayısı (C_c)	1.20	1.20
Zemin sınıflaması (USCS)	SP	SP



Şekil 2. Çine Kumu Dane Boyu Dağılım Grafiği

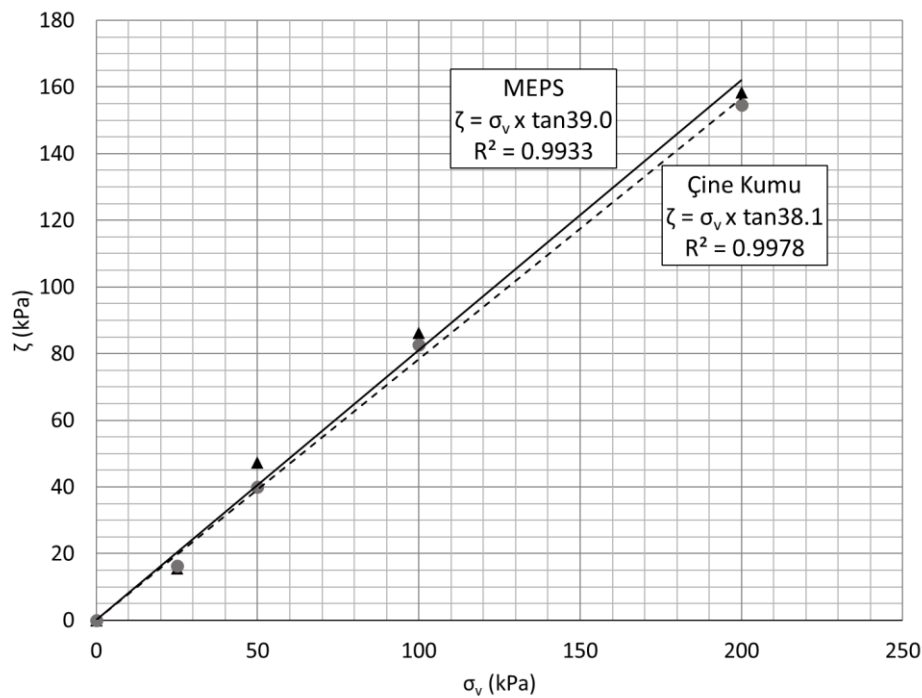
2.2. Yöntem ve Ekipman

Bu çalışmada, kesme kutusu deneyleri ASTM-D3080 standartlarına göre yapılmıştır. Kullanılan kesme kutusu kare şeklinde olup, içten içe 60x60mm boyutlarındadır. Deneyler; her iki malzeme için de (MEPS ve Çine Kumu), 25, 50, 100 ve 200kPa olmak üzere 4 farklı

normal gerilme seviyesinde ikişer kez tekrarlanarak yapılmıştır. Kesme kutusu deneyleri kuru koşullarda, 0.5mm/dk kesme hızı ile yapılmıştır. Tüm deneylerde, MEPS ve Çine kumu numuneleri, kesme kutusuna 65% rölaf sıklıkta yerleştirilmiştir.

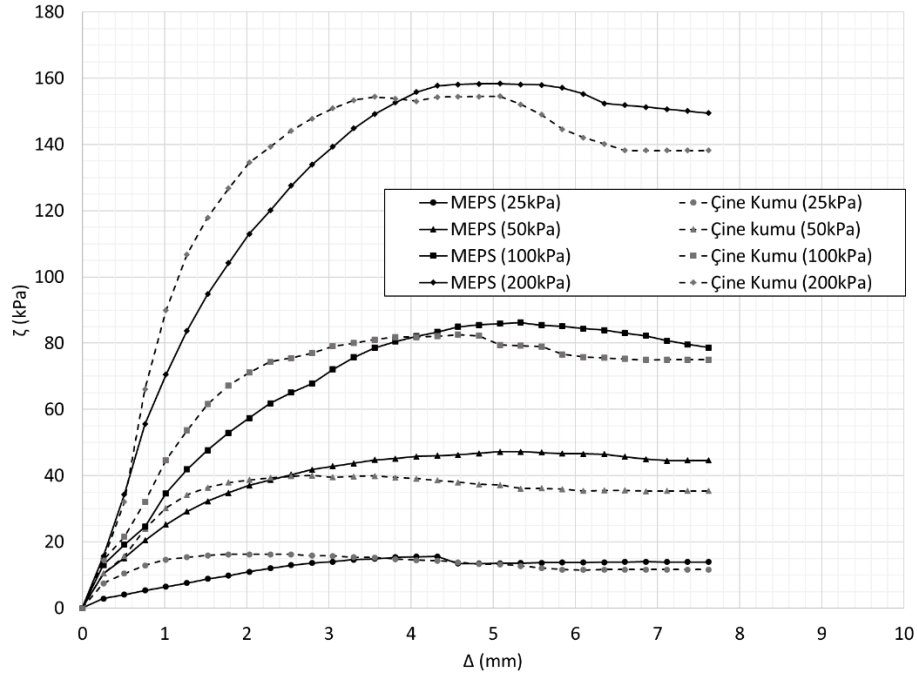
3. DEĞERLENDİRMELER

Yapılan deneyler sonucunda, MEPS atık malzemesi ile Çine kumunun oldukça benzer bir makaslama davranışı gösterdikleri ve sonuç olarak birbirlerine çok yakın makaslama dayanımlarına sahip oldukları görülmüştür. Her iki malzeme de kohezyonsuz olup, içsel sürtünme açıları MEPS için $\phi = 39.0^\circ$, Çine kumu için ise $\phi = 38.1^\circ$ olarak hesaplanmıştır. Deney sonuçlarının korelasyon oranı her iki malzeme için de $R^2 > 0.99$ seviyesindedir. (Bknz. Şekil 3)



Şekil 3. MEPS ve Çine Kumu için Makaslama Dayanımı – Düşey Gerilme Grafiği

Ayrıca, MEPS numunelerinin içsel sürtünme açısı kum numunelere oranla hafifçe yüksek olsa da, aynı normal gerilme seviyelerinde makaslama dayanımına ulaşana dek aynı makaslama gerilmesi için kum numunelerin MEPS numunelere göre bir miktar daha düşük yatay deformasyon gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4). Bu durum özellikle yüksek normal gerilmelerde (100kPa ve 200kPa) daha belirgin hale gelmektedir.



Şekil 4. MEPS ve Çine Kumu için Makaslama Dayanımı – Yatay Deformasyon Grafiği

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, atık EPS malzemelerden ısı işlem ve öğütme sonucu elde edilen ve modifiye EPS (MEPS) olarak isimlendirilen malzemenin makaslama davranışı benzer dane boyu dağılımına ve dane geometrisine sahip örnek bir kum numunesi ile karşılaştırmalı şekilde sunulmuştur.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda, MEPS malzemesinin referans kum numunesine göre yaklaşık 8 kat hafif olmasına rağmen test edilen normal gerilme aralığı için referans numuneye göre çok yakın ve hatta hafifçe yüksek içsel sürtünme açısı değerine sahip olduğu görülmüştür. Diğer taraftan, makaslama dayanımına ulaşana dek, aynı normal gerilme seviyesi ve aynı makaslama gerilmesinde kum numunelerin MEPS numunelere kıyasla bir miktar daha düşük yatay deformasyon gösterdiği görülmüştür. Bu durum normal gerilme seviyesi arttıkça daha görülür hale gelmektedir.

Sonuç olarak, atık EPS'lerin geri dönüşümü ile elde edilen MEPS malzemesinin bu çalışmada referans alınan kum numunesi ile oldukça benzer makaslama davranışına sahip olduğu ve referans malzemeye göre yaklaşık 8 kat hafif olması sebebiyle, geri dolgu malzemesi olarak kullanımının daha detaylı deneysel çalışmalar ile desteklenmesi halinde oldukça yüksek avantajlar sağlayacağı söylenebilecektir.

TEŞEKKÜR

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Zemin Mekaniği Laboratuvarı personeline deney sürecindeki katkıları için teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Ahn, I. S., & Cheng, L. (2014). Tire derived aggregate for retaining wall backfill under earthquake loading. *Construction and Building Materials*, 57, 105-116.
- American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO (2008) Guide Specification for Highway Construction.
- ASTM, D. (2004). 3080–4: 2004, Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. *West Conshohocken: ASTM International*.
- Bathurst, R.J., Zarnani S., Gaskin, A. (2007). Shaking table testing of geofom seismic buffers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27, 324-332.
- Bathurst, R.J., Keshavarz, A., Zarnani, S., Take, W.A. (2007). A simple displacement model for response analysis of EPS geofom seismic buffers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27, 324-332.
- Canakci, H., Alak, D., & Celik, F. (2016). Evaluation of Shear Strength Properties of Modified Expanded Polystyrene Aggregate. *Procedia engineering*, 161, 606-610.
- Cecich, V., Gonzales, L., Hoisaeter, A., Williams, J., & Reddy, K. (1996). Use of shredded tires as lightweight backfill material for retaining structures. *Waste Management & Research*, 14(5), 433-451.
- Ertugrul, O. L., & Trandafir, A. C. (2013). Lateral earth pressures on flexible cantilever retaining walls with deformable geofom inclusions. *Engineering Geology*, 158, 23-33.
- Horvath, J.S. (1998). The Compressible-Inclusion Function of EPS Geofom: Analysis and Design Methodologies. *Manhattan College Research Report, New York, USA*. Report No: CE/GE-98-2.
- Humphrey, D. N., & Sandford, T. C. (1993, October). Tire chips as lightweight subgrade fill and retaining wall backfill. In *Proceedings of the symposium on recovery and effective reuse of discarded materials and by-products for construction of highway facilities* (pp. 5-87). US Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Kan, A., & Demirboğa, R. (2009). A new technique of processing for waste-expanded polystyrene foams as aggregates. *Journal of materials processing technology*, 209(6), 2994-3000.
- Kan, A., & Demirboğa, R. (2009). A novel material for lightweight concrete production. *Cement and Concrete Composites*, 31(7), 489-495.
- Kim, Y. T., & Kang, H. S. (2011). Engineering characteristics of rubber-added lightweight soil as a flowable backfill material. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(9), 1289-1294.
- Lee, J. H., Salgado, R., Bernal, A., & Lovell, C. W. (1999). Shredded tires and rubber-sand as lightweight backfill. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 125(2), 132-141.
- Preber, T., Bang, S., Chung, Y., & Cho, Y. (1994). Behavior of expanded polystyrene blocks. *Transportation research record*, 36-36.
- Reddy, S. B., & Krishna, A. M. (2015). Recycled tire chips mixed with sand as lightweight backfill material in retaining wall applications: an experimental investigation. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 1(4), 31.

Sun, M. C. W. (1997). *Engineering behavior of geofom (expanded polystyrene) and lateral pressure reduction in substructures* (Doctoral dissertation, Syracuse University).

Tweedie, J. J., Humphrey, D. N., & Sandford, T. C. (1998). Tire shreds as lightweight retaining wall backfill: active conditions. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 124(11), 1061-1070.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
G _s	Spesifik Gravite	USCS	Bir.zem. sınıflama sistemi
γ _{dry}	Kurum birim hacim ağırlık	SP	Kötü derecelenmiş kum
e _{min}	Minimum boşluk oranı	MEPS	Modifiye EPS
e _{maks}	Maksimum boşluk oranı	ζ	Kayma gerilmesi
D ₁₀	%10 elek dane çapı	σ	Normal gerilme
D ₅₀	Ortalama dane çapı	Δ	Yatay Deformasyon
C _u	Uniformite katsayısı	φ	İçsel sürtünme açısı
C _s	Konkavlık katsayısı	R ²	Korelasyon katsayısı