

## Yanal Zemin Basınçlarının EPS Köpük Kullanımı Vasıtasıyla Azaltılması

Özgür L. ERTUĞRUL\*  
Aurelian C. TRANDAFIR\*\*  
M. Yener ÖZKAN\*\*\*

### ÖZ

Genleştirilmiş polistren (EPS) köpüğün geoteknik alanındaki uygulamaları her geçen gün artmaktadır. Araştırmalar, bu malzemenin sıkışabilirlik özelliğinin yüksek olmasından dolayı istinat yapılarına etkiyen yanal zemin basınçlarının azaltılabilmesi amacıyla kullanılabilirliğini göstermektedir. Literatürdeki mevcut çalışmalar, genel olarak rijit tip istinat duvarlarında yanal zemin basınçlarının azaltılabilmesi amacıyla EPS kullanımına odaklanmaktadır. Bu çalışmada, hem rijit hem de esnek tip duvarlarda, dolgu ile duvar arasında EPS köpük kullanımının yanal basınç ve duvar deplasmanları üzerindeki etkileri fiziksel bir modelleme çalışması vasıtasıyla değerlendirilmektedir. Yapılan testlerde, kullanılan EPS tabakasının kalınlığına ve duvar cinsine bağlı olarak statik yanal basınçlarda değişen oranlarda düşüşler gözlenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** EPS köpük, istinat duvarı, fiziksel modelleme, granüler dolgu

### ABSTRACT

#### Reduction of Lateral Earth Pressure by EPS Geofom Inclusions

Applications of expanded polystyrene (EPS) geofom in geotechnical projects have gained an increasing popularity in recent years. Research indicated that EPS geofom is a suitable material as a compressible inclusion behind retaining walls in order to reduce lateral earth pressures. Most of the studies addressing the use of compressible inclusions behind earth retaining structures were concerned with the controlled yielding of the backfill material against rigid non-yielding walls. In the present study, EPS geofom presence as a compressible inclusion behind both rigid and flexible retaining walls are evaluated in terms of lateral pressures and wall displacements by a physical modeling study. Reductions are observed in lateral stresses depending on the inclusion thickness and wall type.

**Keywords:** EPS geofom, retaining wall, physical modeling, granular backfill

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 30.04.2010 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2012 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Mersin Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mersin - ertugrul@mersin.edu.tr

\*\* University of Utah, Department of Geology and Geophysics, Utah - a.trandafir@utah.edu

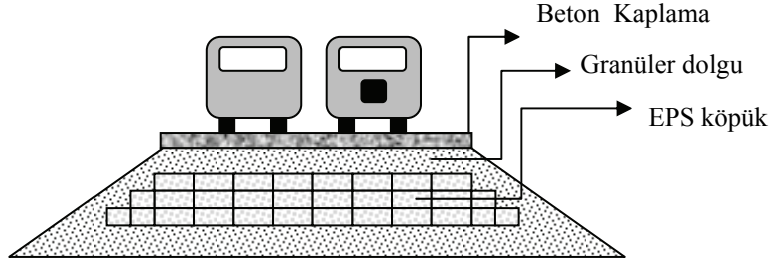
\*\*\* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - myozkan@metu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

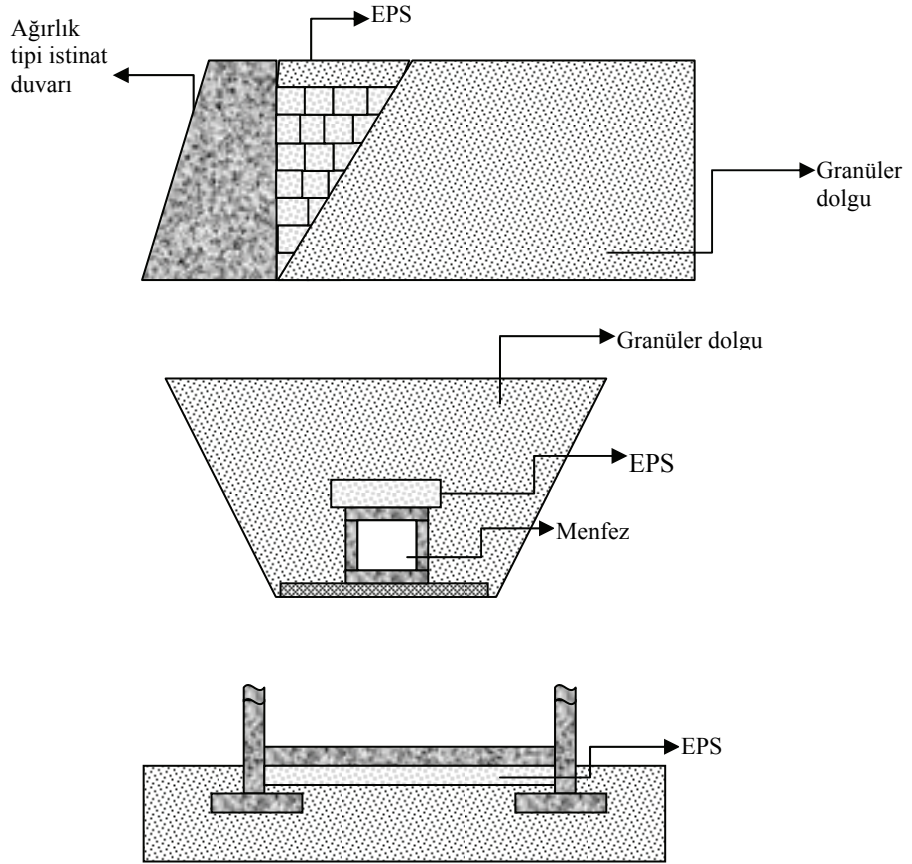
Dünya çapında geoteknik uygulamalarda, geliştirilmiş polistren sert köpük (EPS) kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Petrolden elde edilen, buhar ve pentan gazı ile etkileşime girdiğinde kapalı gözenekli bir yapı alan, tipik olarak beyaz renkli bir ısı yalıtım malzemesi olarak kullanımı yaygınlaşmış bir plastik türevi olan EPS'nin parlama noktasının 360-370 C°'yi bulması, yangın durumunda kolaylıkla tutuşabilmesinin önüne geçmektedir. Horvath [1], EPS'nin fiziksel ve kimyasal özelliğini yitirmeden otuz yıl süresince, geoteknik uygulamalarda kullanılabilirliğini bildirmektedir. Geliştirilmiş polistren (EPS) köpüğün, geoteknik mühendisliğindeki kullanım alanları, konsolidasyon oturumlarının azaltılması [2], şev stabilitesinin yükseltilmesi [3], istinat yapılarına etkileyen statik ve dinamik zemin basınçlarının azaltılması [4],[5],[6],[7],[8],[9] olmuştur. İkizler ve diğerleri [10], şişen zeminlerin, istinat yapıları üzerinde oluşturduğu şişme basınçlarının EPS köpük kullanımı ile önemli ölçüde azaltılabildiğini bildirmektedir. Yapılan deneysel çalışma neticesinde istinat yapısı ile şişen dolgu arasında kullanılan EPS köpüğün yoğunluk ve kalınlığına bağlı olarak şişme sebebiyle oluşan yanal basınçları %76'ya varan oranlarda azaltılabildiği belirtilmiştir. Jutkofsky ve diğerleri [3], EPS köpük blokların şev stabilitesi sorunu olan otoyol dolgu şevlerinde, doğal zemin yerine kullanımı suretiyle şevlerin stabilitesinin önemli ölçüde artırılabilirliğini tespit etmişlerdir. Newman ve diğerleri [11], 2001 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde I-15 otoyolunun Utah eyaleti sınırları içerisinde kalan bölümünde yapılan 1.4 milyar dolarlık yenileme çalışmalarında konsolidasyon oturumlarının önlenmesi ve dolguların şev stabilitesinin artırılması amacıyla yaygın olarak EPS köpük kullanımını bildirmektedir. İnşa esnasında ve sonrasında yapılan ölçümler ve sayısal modelleme çalışmaları neticesinde EPS malzemenin başarıyla görevini yerine getirdiği belirtilmektedir. Şekil 1 ve 2'de hafif dolgu malzemesi olarak EPS köpüğün kullanımına ilişkin örnekler gösterilmektedir.



*Şekil 1 EPS Köpük malzemenin hafif dolgu malzemesi olarak kullanımına bir örnek (FrontRunner Demiryolu Hattı İnşaatı, Salt Lake City, Utah)*



Şekil 2 EPS Köpüğün hafif dolgu malzemesi olarak kullanımı



Şekil 3 EPS Köpüğün geoteknik yapılara etkileyen zemin basınçlarının azaltılması amacıyla kullanımı

EPS köpüğün, istinat yapılarında duvar ve toprak dolgu arasında kullanılması suretiyle, duvara iletilen yanal zemin basınçlarının azaltılması hususunda kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Bu amaçla yapılan ilk uygulamalarda yanal zemin basınçlarının azaltılması amacıyla cam yünü ya da talaş gibi malzemelerden faydalanılmıştır [12],[13]. Ancak bu malzemelerin yük altındaki fiziksel davranışlarının belirgin olmaması, kullanımını sınırlamıştır. EPS sert köpük ise, uzun süre fiziksel özelliğini yitirmeden kullanımı, sudan etkilenmemesi gibi avantajları sebebiyle daha önce kullanılan malzemelerin yerini almıştır. Sıkışma özelliği yüksek yapay malzemelerin geoteknik uygulamalarda kullanımı üç ana başlıkta değerlendirilebilir. İlk kategoride istinat duvarları ile dolgu malzemesi arasında yanal basınçların azaltılması amacıyla kullanımı, ikinci grupta gömülü menfez ya da boruların üzerine etkiyen düşey zemin basınçlarının azaltılması, üçüncü olarak ise bina temelleri altında şişme basınçları sebebiyle oluşacak zararın önlenmesi gayesiyle kullanımı şeklinde sıralanabilir (Şekil 3).

Günümüzde kullanılan istinat yapıları rijit ya da esnek olmak üzere gruplandırılabilir. Rijit istinat yapıları, desteklenen zeminde aktif toprak basıncı durumunun oluşmasına imkân vermeyecek şekilde yanal hareketlerin engellenmiş olduğu yapılardır (Bina bodrum duvarları, kayaya temellenmiş ağırlık tipi istinat duvarları gibi). Esnek duvarlar ise, desteklemiş olduğu zeminde aktif kayma kamasının oluşumuna imkân sağlayacak mertebede yanal hareket yapabilen istinat yapılarıdır (donatılı zemin tipi (toprakarme) duvarlar, pasif ankrajlı (zemin çivili) iksa sistemleri, betonarme ankastre istinat duvarları gibi). Bu yanal hareketler, yapının temelinde meydana gelebilecek kayma ya da dönme sebebiyle meydana gelebileceği gibi istinat yapısının kendi esnekliği sebebiyle oluşan yapısal hareketler de rol oynayabilmektedir. Rijit duvar tasarımlarında zeminin sükkünetteki yanal basınç durumu dikkate alınarak hesap yapılmaktadır.

Bu tip duvarlarda geosentetik köpüğün, duvar ve desteklenen dolgu tabakası arasına yerleştirilmesi, geosentetik malzemenin sıkışma özelliği sebebiyle, dolgu içerisinde ilave deformasyonlara müsaade edecek ve mobilize edilen zemin kayma dayanımının limit değerlere yaklaşmasına imkân vererek, duvar üzerine etkiyen yanal basınçların azaltılması sağlanabilecektir. Bu durum, daha ekonomik istinat duvarı kesitlerinin tasarlanmasına olanak sağlayabilir. Bu amaçla yapılan büyük ölçekli deney sonuçları, elastik EPS köpüğün, bina bodrum duvarları üzerine etkiyen statik yanal zemin basınçlarının azaltılmasında başarıyla kullanılabildiğini göstermektedir [14]. Hoppe [15], köprü yaklaşımlarındaki esnek istinat duvarlarında yanal zemin basınçlarının azaltılması ve üst yapıda sıcaklığa bağlı genleşmeler sebebiyle oluşacak hareketlerin dengelenmesi amacıyla EPS köpük kullanımını bildirmektedir. Karpurapu ve Bathurst [16], fiziksel deney sonuçları ile doğruladığı bir nümerik modelleme çalışması gerçekleştirmiştir. Bu araştırmada, rijit istinat duvarları ile dolgu malzeme arasında yer alan sıkışabilir tabakanın, dolgu zeminin dayanımının kontrollü bir şekilde mobilize edilmesini sağlayarak, istinat duvarı üzerine gelen yanal basınçların düşürülebileceği bildirilmektedir. Bu amaçla, kullanılması gereken EPS malzeme özelliklerinin seçilebilmesi için birtakım dizayn abakları önerilmiştir, ancak bu abakların sadece bir çeşit dolgu malzemesi için hazırlanmış olması, kullanımını sınırlamaktadır. Tsukamoto ve diğerleri [17], EPS köpük blokların geotekstil donatılı esnek istinat duvarlarda kullanımını önermiş ve bu amaçla yapmış olduğu nümerik modelleme çalışmalarında duvar elemanları üzerine gelen yanal zemin basınçlarının aktif zemin basıncı değerlerinin daha altında olabileceğini göstermiştir. Köprü yaklaşımlarında yer alan bazı istinat yapılarında dolgu malzeme olarak EPS köpük

kullanımı Lutenegeer [18] tarafından detaylı saha ölçümleri ile çalışılmıştır. Yapılan araştırmada, basınç ölçerleri ile enstrümantasyonu yapılan gerçek boyutta bir istinat duvarı ardında EPS köpük, dolgu malzemesi olarak kullanılmış ve duvara etkiyen yanal zemin basınçlarında ciddi oranda düşüş gözlenmiştir. Reeves ve Filz [19], büyük ölçekli test modelleriyle yaptığı çalışmasında, kompaksiyon sonucu oluşan ilave yanal zemin basınçlarının EPS kullanımı ile dengelenebileceğini vurgulamaktadır. Kompaksiyon sonucu oluşacak yanal zemin basınçlarının, zeminin sükûnetteki yanal basıncının da üstüne çıkabileceği göz önünde bulundurulacak olursa, EPS kullanımı, duvar stabilitesine hem statik hem de dinamik koşullarda önemli katkıda bulunabilecektir.

## **2. ARAŞTIRMA KONUSU VE YÖNTEMİ**

Literatürdeki mevcut çalışmalar, genel olarak rijit tip istinat duvarlarında yanal zemin basınçlarının azaltılabilmesi amacıyla EPS kullanımına odaklanmaktadır. Bu çalışmada, hem rijit hem de esnek tip duvarlarda, dolgu ile duvar arasında EPS kullanımının basınç ve duvar deplasmanları üzerindeki etkileri fiziksel bir modelleme çalışması vasıtasıyla değerlendirilmektedir. Bu maksatla, 70 cm yüksekliğinde bir istinat duvarı modeli hazırlanarak testlerde kullanılmıştır. Ağırlık tipi ya da ankastre betonarme istinat duvarlarının, geoteknik uygulamalarda genellikle 2-5 metre yüksekliğinde tasarlandığı düşünülürse yaklaşık olarak 3-7 kat küçültülmüş bir model, testlerde kullanılmaktadır.

## **3. FİZİKSEL MODELLEME**

Modelleme çalışmasında, Ortadoğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarında yer alan 2m×1m×1m (boy×en×yükseklik) ebatlarındaki çelik bir kum tankı kullanılmıştır. Kum tankı, 10 mm kalınlıkta çelik plakalardan imal edilmiş olup iç yüzeyi zemin malzemesi ile oluşacak sürtünmelerin azaltılması amacıyla 3 mm kalınlığında sert kauçuk malzeme ile kaplanmıştır. Çalışmada kullanılan duvar modeli, kum ve EPS malzemenin özellikleri aşağıdaki bölümlerde detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

### **3.1. İstinat Duvarı Modeli**

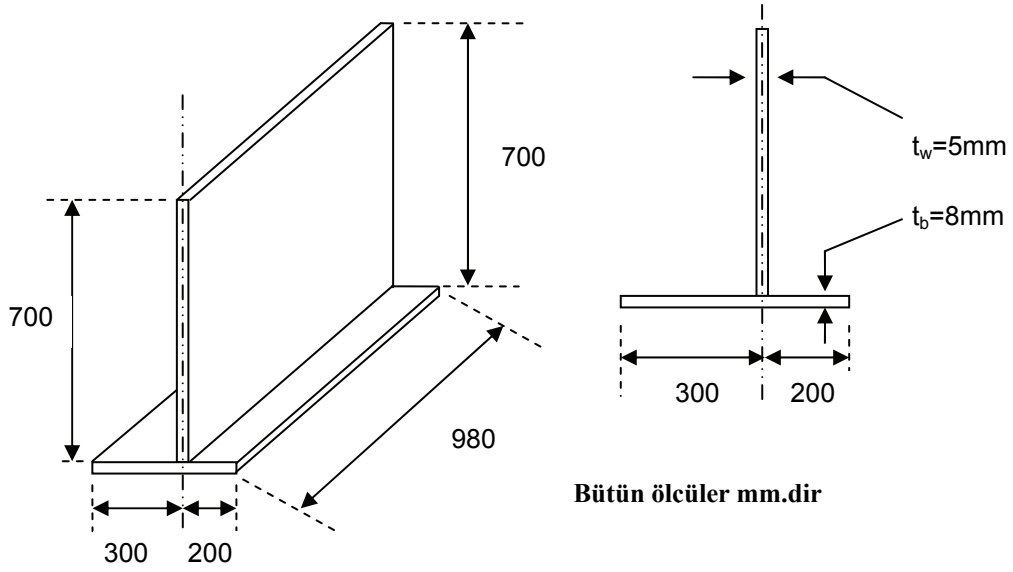
Şekil 4'te gösterilen istinat duvarı modeli 700×980×5 (yükseklik×boy×et kalınlığı, mm olarak) ebatlarında, istinat duvarının tabanını oluşturan kısım ise 980×500×8 (uzunluk×en×et kalınlığı, mm olarak ) çelikten imal edilmiş olup elektrik kaynağı ile birleştirilmiştir. Modelin yaklaşık ağırlığı 50 kg. dır. Kullanılan model ve ölçüm birimlerinin model üzerindeki konumları Şekil 5'te gösterilmektedir. Duvar gövdesinde oluşacak deplasmanlar ve duvar üzerine etkiyen yanal zemin basınçlarının ölçümü amacıyla 2 adet deplasman ölçer (LVDT Tokyo Sokki SDP-C), ve 4 adet basınç ölçer (Honeywell ABH006PGC1B) kullanılmıştır. Duvar temelinde meydana gelecek olan dönmenin tayin edilebilmesi amacıyla da bir ivme ölçer duvar temelinde yerleştirilmiştir. Sensörlerden elde edilen veriler sinyal düzenleyiciler tarafından filtrelendikten sonra 12 bit çözünürlüklü bir veri toplama sistemi ile kayıt edilmiştir. Duvar ve temel modelinin fiziksel özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 1 Duvar modeli özellikleri

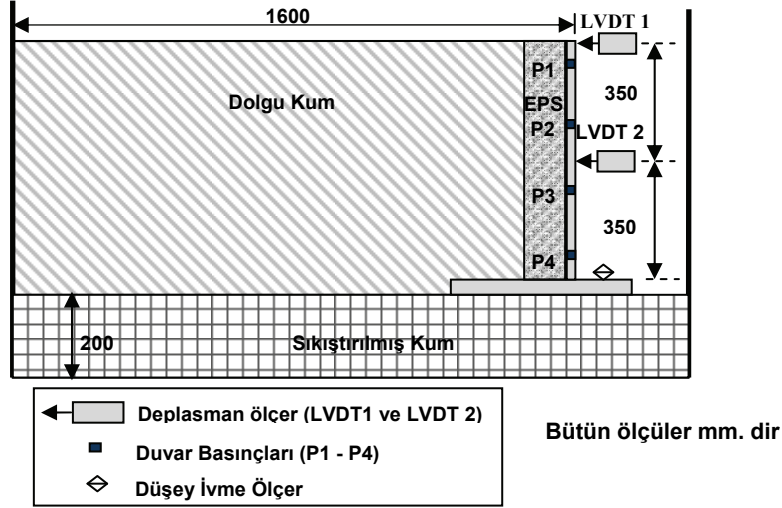
Birim ağırlık ( $\gamma$ ) [kN/ m <sup>3</sup> ]	64
Et kalınlığı (t) [mm]	5
Young modülü(E) [kPa]	$1.61 \times 10^8$
Eylemsizlik momenti (I) [m <sup>4</sup> ]	$1.041 \times 10^{-8}$

Tablo 2 Duvar temeli özellikleri

Birim ağırlık ( $\gamma$ ) [kN/ m <sup>3</sup> ]	64
Et kalınlığı (t) [mm]	8
Young modülü (E) [kPa]	$1.61 \times 10^8$
Eylemsizlik momenti (I) [m <sup>4</sup> ]	$4.266 \times 10^{-8}$



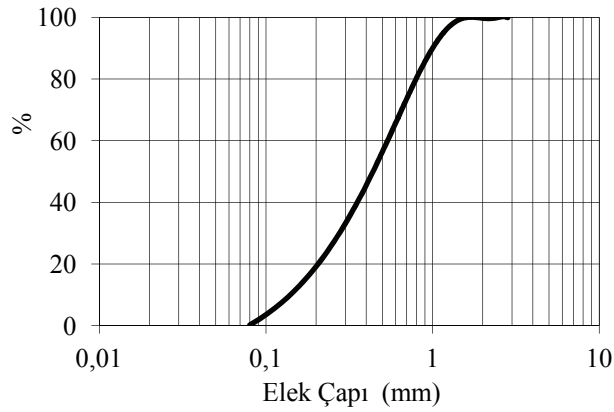
Şekil 4 İstinat duvarı modelinin ebatları



Şekil 5 Sensörlerin duvar üzerindeki konumları

### 3.2. Dolgu malzemesi

Elek analiz eğrisi Şekil 6'da gösterilen kurutulmuş kohezyonsuz malzeme, duvar tarafından desteklenecek dolguyu oluşturmak için kullanılmıştır. Laboratuvar deneyleri sonucunda kullanılan kumun endeks özellikleri belirlenmiş ve Tablo 3'te özetlenmiştir. Malzeme, ağırlıklı olarak mika danelerinden oluşmakta olup yüksek oranda köşeli bir geometriye sahiptir. Monotonik üç eksenli yükleme deneylerinden elde edilmiş olan dayanım özellikleri Tablo 4'te gösterilmektedir. Model deneylerde, yağmurlama tekniğiyle hazırlanan kuru kohezyonsuz dolgu yaklaşık %73 rölatif sıkılık değerine sahiptir. Monotonik yükleme deneyleri, aynı sıkılık oranına sahip numuneler üzerinde yapılmıştır. Tablo 4'te yer alan içsel sürtünme açısı değeri %73 sıkılıktaki ( $e=0.519$ ) numune için  $43.5^\circ$  olarak verilmiştir.



Şekil 6 Model testlerde kullanılan kumun elek analiz eğrisi

Tablo 3 Kohezyonsuz malzemenin özellikleri

Ortalama birim ağırlık (kN/ m <sup>3</sup> )	16.50
Maksimum boşluk oranı, e <sub>max</sub>	0.745
Minimum boşluk oranı, e <sub>min</sub>	0.436
Model deneylerdeki boşluk oranı, e	0.519
Özgül ağırlık	2.66
C <sub>c</sub>	0.80
C <sub>u</sub>	3.31
200 no.lu elekten geçen (%)	1.14
İçsel sürtünme açısı (φ) [°]	43.5

Tablo 4 Monotonik yükleme deneylerinden elde edilen dayanım değerleri

Young Modülü (E) [kPa]	5500
Kohezyon (c) [kPa]	0
İçsel sürtünme açısı (φ) [°]	43.5

### 3.3. EPS Polistren Köpük

Fiziksel modellemede kullanılan EPS köpük, 16 kg/m<sup>3</sup> yoğunluktadır. Malzemenin tek eksenli basınç deneyi ile elde edilen dayanım davranışı Şekil 7’de gösterilmektedir. Magnan ve Serraticce [20] tarafından önerilen yöntemle göre malzemenin yenilme basınç değeri 38 kPa olarak tespit edilmiştir. 0.01% birim deformasyon/dakika hızında yapılan yükleme deneyinin sonucuna göre, Young modülü 1500 kPa olarak tespit edilmiştir. Yükleme hızı, duvar arkasında yer alacak olan 0.7 m. yüksekliğindeki dolgu tabakasının yerleştirilmesi sırasında EPS köpük panellere etkiyecek olan yanal zemin itkisinin artış hızına uyumlu olacak şekilde seçilmiştir. Modellemede kullanılan duvar ve dolgu yüksekliğinin sınırlı olması sebebiyle oluşan yanal zemin basınçları son derece küçük mertebededir. Bu sebeple kullanılan EPS köpük, geoteknik uygulamalarda kullanılan EPS malzemenin birim ağırlığı ve mukavemetine kıyasla oldukça düşük olacak şekilde seçilmiştir. Deneyde kullanılan EPS köpük, panel şeklinde üreticiden alınmış ve duvar ebatlarıyla uyumlu olarak kesilip sürtünme kuvvetinin azaltılabilmesi için polivinil bant ile kaplanarak duvar arka yüzüne yerleştirilmiştir. Polivinil bant ile kaplanan EPS ve kuru kohezyonsuz dolgu arasındaki içsel sürtünme açısının tespiti amacıyla kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. 10 kPa-20 kPa normal basınç gerilmesi aralığı için sürtünme açısı yaklaşık 7.5° olarak ölçülmüştür. Bu deneyler neticesinde duvar modeli, EPS tabakası ve dolgu arasında oluşan sürtünme kuvvetleri yanal zemin itkisine nazaran oldukça küçük olup duvar tepkisinin yataya yakın bir doğrultuda gerçekleştiği söylenebilir.

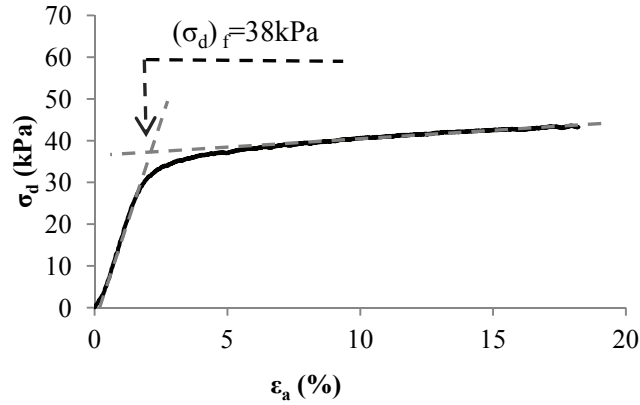


Tablo 5 Genleştirilmiş polistren (EPS) özellikleri

Ortalama birim ağırlık ( $\gamma$ ) [kN/ m <sup>3</sup> ]	0.16
Young Modülü (E) [kPa]	1500
Göçme basıncı [kPa]	38

### 3.4. Deney Yöntemi

İstinat duvarı modelinin altında yer alarak taban zemin tabakasını teşkil edecek olan 0.2 m. yüksekliğindeki malzeme, titreşimli sıkıştırıcı (vibrokompaktör) kullanılarak 10 cm. kalınlığında tabakalar halinde sıkıştırılmıştır. Bu tabakanın hazırlanmasının ardından istinat duvarı modeli, bir mini vinç yardımı ile sıkıştırılmış kum katmanının üzerine indirilerek dengeli bir şekilde yerleşmesi sağlanmıştır (Şekil 8). Duvar modelinin kenarları ile kum tankı arasında kalan boşluk, kumun akmasını engellemek amacıyla kauçuk parçaları yerleştirilerek kapatılmıştır. İki tabaka halinde yerleştirilen kauçuk parçalarının arasına yağ sürülerek birbirleri üstünde serbestte kayabilmeleri ve duvar hareketine engel olmadan boşlukları doldurması sağlanmıştır. Duvar modeli, kriko kullanılarak kum tankına sabitlenmiş ve dolgu malzemenin yerleştirilmesi esnasında oluşan yanıl zemin basınçları sebebiyle duvarın yatay ötelenme ya da sehım yapması engellenmiştir.



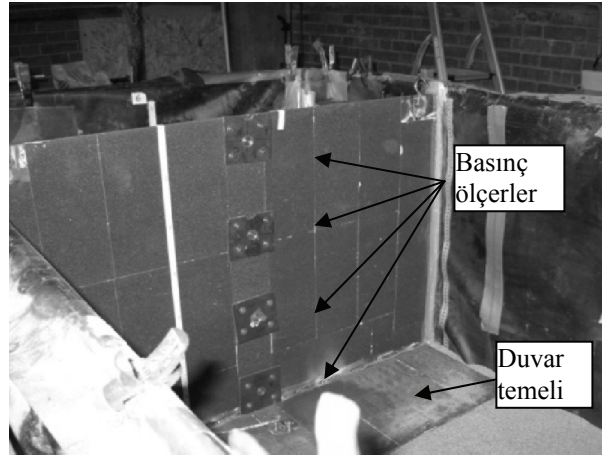
Şekil 7 Fiziksel modellemede kullanılan EPS köpük üzerinde yapılan tek eksenli yükleme deneyi sonucu

Basınç ölçmelerinin duvar üstündeki konumlarına bağlanmasının ardından dolgu kum, yağmurlama tekniği ile 18 cm. kalınlığında tabakalar halinde 70 cm. yükseklikten düşürülerek dolgu teşkil edilmiştir. Deney öncesinde yapılan nispi sıklık testlerinde bu yükseklikten yapılacak yağmurlama yöntemi ile yaklaşık olarak %70-%75 rölatif sıklıkta

bir dolgu elde edilebileceği gözlenmiştir. Dolgu malzemenin hazırlanmasından sonra, veri toplama sistemi açılarak yanal basınçlar izlenmiştir. Testin ilk aşamasında yanal basınç ölçümleri, istinat duvarı modeli herhangi bir şekilde dolgu malzemenin hareketlenmesine imkân sağlamayacak şekilde desteklenmiş durumdayken yapılmıştır. İkinci aşamada ise, duvar ve kum tankı arasında bulunan kriko kademeli olarak gevşetilerek duvarın hareketlenmesi ve buna bağlı olarak dolgu kum içerisinde yeni bir yanal basınç dağılımı oluşması sağlanmıştır. Basınç ve duvar hareketlerinin sabit duruma gelmesiyle birlikte veri toplama sistemi kapatılmış ve elde edilen veriler kayıt edilmiştir. EPS köpük yer almaması durumundaki basınç ve deplasman değerlerinin de elde edilebilmesi amacıyla kontrol grubu testleri, duvar gerisinde sadece kum dolgu bulunurken yapılmıştır.

#### 4. SONUÇLAR

Kontrol test grubunda, duvar ve desteklenen zemin arasında EPS köpük bulunmamaktadır. Bu test grubunda rijit ve esnek duvar modelleri için 3'er adet deney gerçekleştirilmiş ve kontrol test grubu olarak adlandırılmıştır (Şekil 9(a)). İkinci test grubunda ise duvar ve dolgu zemin arasına duvar yüksekliğinin %7,%14 ve %28'i kalınlığında EPS köpük bloklar yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Bu grupta yer alan testler ise EPS test grubu olarak adlandırılmıştır (Şekil 9(b)). Yapılan testler neticesinde, yanal basınçlar ve duvar deplasmanları ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır.



*Şekil 8 İstinat duvar modeli*

##### 4.1. EPS köpük kullanımının rijit duvar modeli üzerindeki etkisi

Şekil 10(a)'da kontrol ve EPS testlerinde elde edilen duvar basınç profilleri gösterilmektedir. Bu grafikte, düşey eksen boyutsuz olarak duvar yüksekliğini, yatay eksen ise basınç ölçerlerinden alınan değerlerin, taban seviyesindeki düşey zemin basıncına bölünmesi suretiyle normalize edilmiş yanal basınç değerlerini göstermektedir. Rankine

teorisine göre hesaplanan aktif basınç dağılımı da aynı grafik üzerinde yer almaktadır. Rijit duvar modeli ile gerçekleştirilen testlerde duvar yüksekliği boyunca 4 ayrı seviyede bulunan basınç ölçerlerinden alınan veriler incelendiğinde, duvar ve dolgu arasında EPS köpük bulunması durumunda yanal basınçlarda önemli oranda düşüşler görülmektedir. Yapılan testler neticesinde oluşan basınç dağılımları kullanılarak, duvar üzerine etkileyen toplam zemin itkileri hesaplanmış ve değişik kalınlıklarda EPS tabaka kullanılması durumunda zemin basınçlarındaki düşüşlerin değerlendirilmesi için “verimlilik değeri”, ( $i_p$ ), denklem 1’de tanımlanmıştır.

$$i_p = \frac{(P_o - P)}{P_o} \times 100 \quad (1)$$

$P_o$  değeri, EPS köpük kullanılmaması durumundaki toplam zemin itkisini,  $P$  değeri ise EPS köpüğün duvar ile dolgu arasında bulunması durumundaki zemin itkisi değerini göstermektedir. Şekil 11(a)’da, kullanılan EPS blok kalınlığının duvar yüksekliğine oranı ile verimlilik değeri arasındaki ilişki sunulmaktadır.

#### 4.2. EPS köpük kullanımının esnek istinat duvar modeli üzerindeki etkisi

Esnek istinat duvarı modeli ile yapılan testlerde, duvar temelinde ötelenme ve dönme gözlenmemiştir. Şekil 10(b)’de esnek duvar için gözlenen basınç profilleri verilmiştir. Kontrol testlerinde gözlenen basınç dağılımı, Rankine aktif yanal basınç değerlerine yakın ve yaklaşık olarak lineer bir davranış sergilemektedir. EPS grubu testlerindeki basınç dağılımları lineer olmayıp duvarın üst yarısı için teorik aktif değerlerden oldukça düşük gerçekleşmekte, duvar alt yarısı için ise teorik değerlere nispeten yakın bulunmaktadır. Yanal basınçlardaki düşüş trendi duvarın rijit olması durumundaki davranışa kıyasla oldukça farklıdır. Şekil 11(b)’de kullanılan EPS blokların duvar yüksekliğine oranı ile verimlilik değeri arasındaki ilişki sunulmaktadır. Kontrol ve EPS test gruplarından elde edilen duvar deplasmanları Şekil 12’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafiğin düşey ekseninde boyutsuz olarak duvar yüksekliği, yatay ekseninde ise duvar deplasmanlarının duvar yüksekliğine oranı yüzde olarak verilmektedir. EPS köpük kullanılması durumunda duvar üst noktasında gözlenen yanal deplasmanlarda önemli oranlarda düşüş gözlenmektedir.

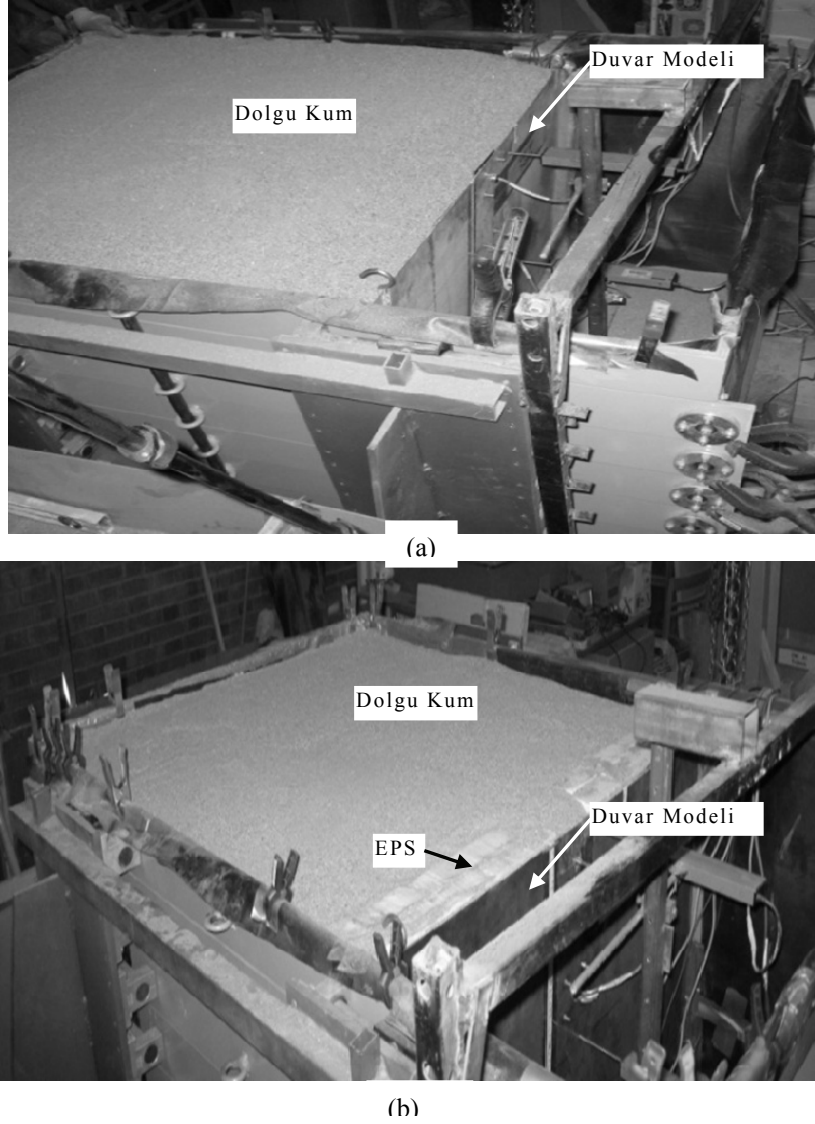
#### 4.3. Genel Değerlendirmeler

Deneyler neticesinde elde edilen veriler, hem rijit hem de esnek istinat duvarlarında, dolgu malzeme ile duvar gövdesi arasında EPS köpük yer alması durumunda yanal zemin itkisinde önemli oranda düşüş gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Yapılan model deneylerde, EPS katmanı bulunması durumunda rijit duvarlar için gözlenen yanal basınç değerleri, Karpurapu ve Bathurst [16] tarafından elde edilen değerler ile kıyaslandığında daha yüksektir (Şekil 13). Ancak, Karpurapu ve Bathurst (1996) tarafından yapılan sayısal modelleme çalışmasında, incelenen duvar yüksekliği 3 m ve kohezyonsuz dolgunun rölatif sıklık değeri %85 olarak alınmıştır.

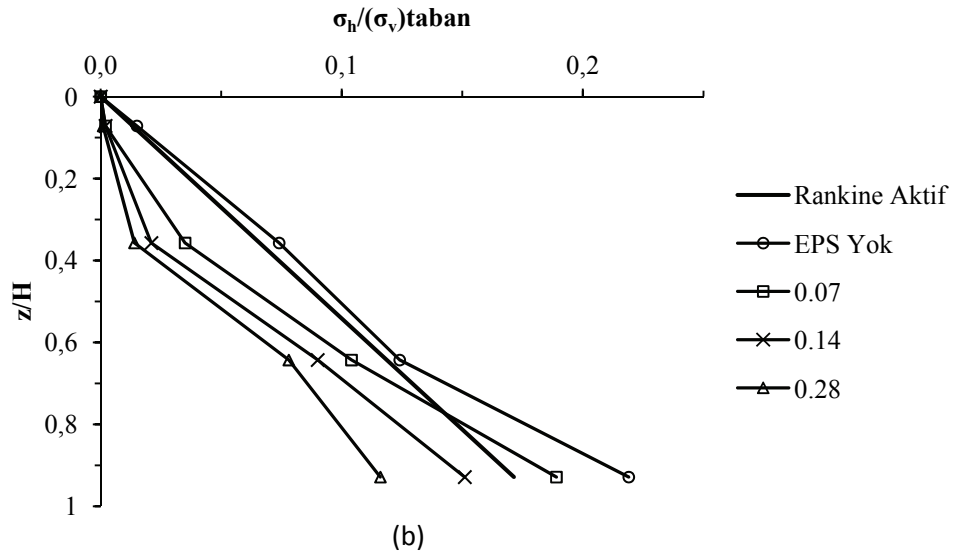
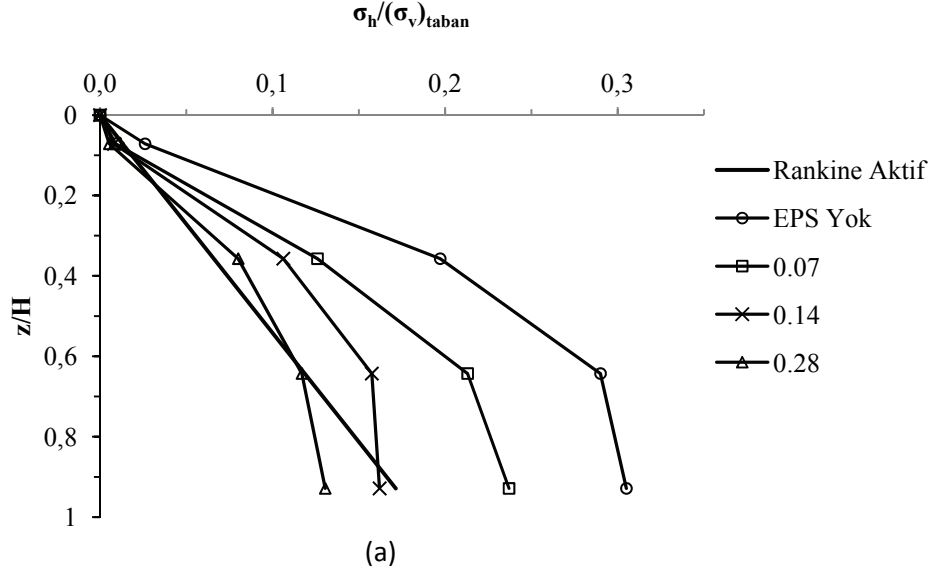
İstinat yapıları ile doğal dolgu arasında yer alacak EPS malzemenin gerilme-deformasyon özellikleri, kohezyonsuz dolgu malzemesinin sıklık ve kayma mukavemetine bağlı olarak

*Yanal Zemin Basınçlarının EPS Köpük Kullanımı Vasıtasıyla Azaltılması*

statik yanal basınçlarda sağlanacak düşüşlerin daha kapsamlı bir şekilde incelenmesi bu çalışmanın devamında planlanmaktadır

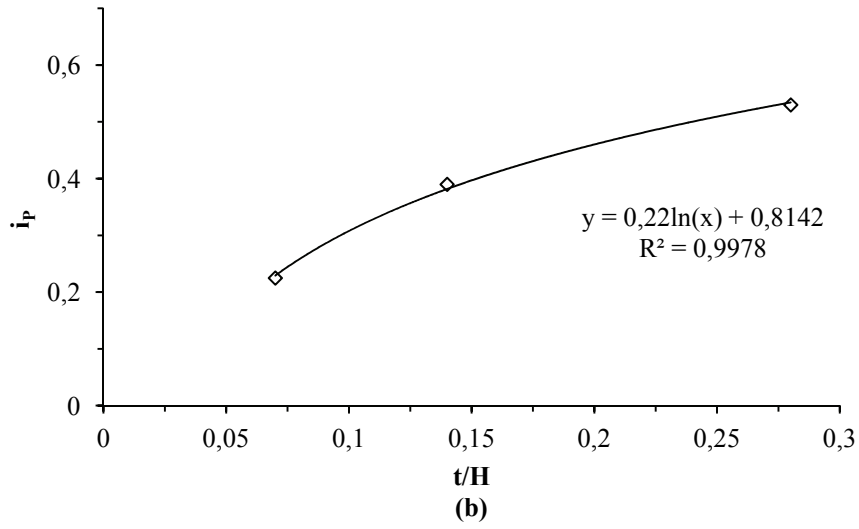
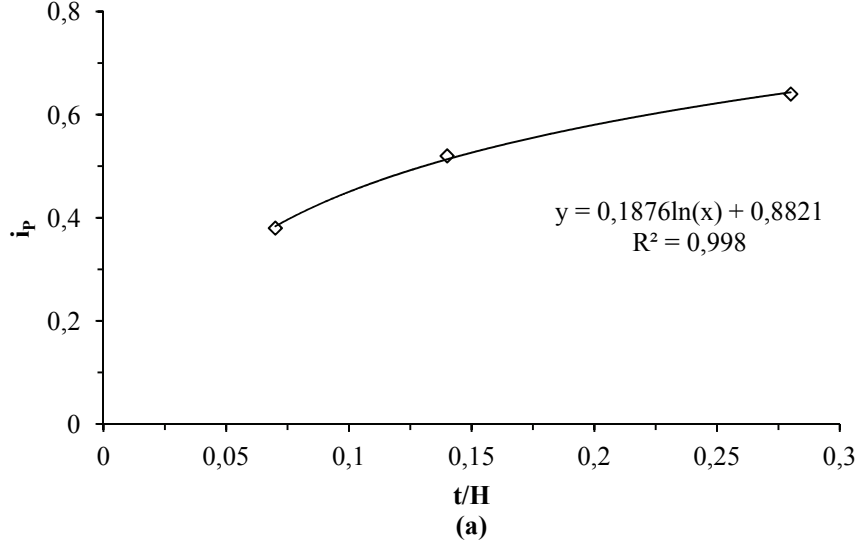


*Şekil 9 (a) Kontrol deney modeli (b) EPS köpük paneller istinat duvarı arkasına yerleştirilmiş durumdaki deney modeli*

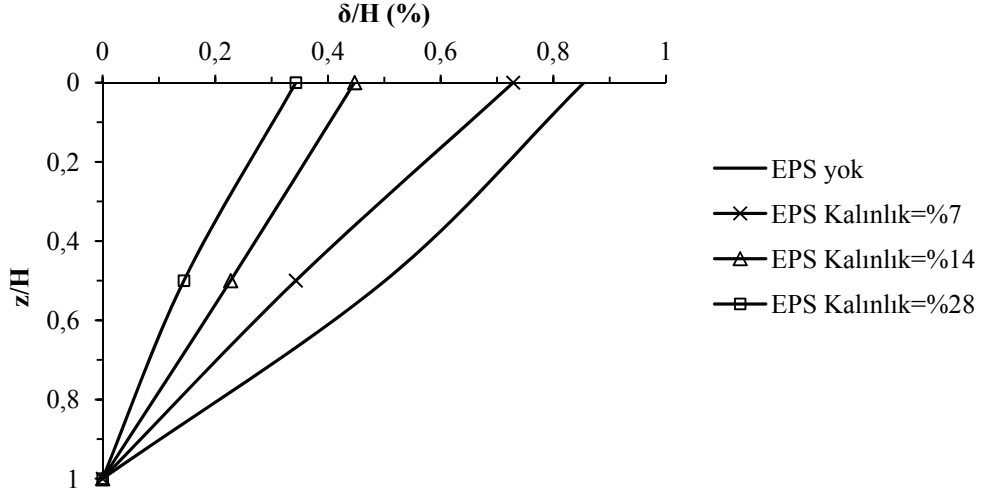


Şekil 10 EPS tabaka kalınlığına bağlı olarak (a)rijit duvar (b) esnek duvar için basınç profilleri

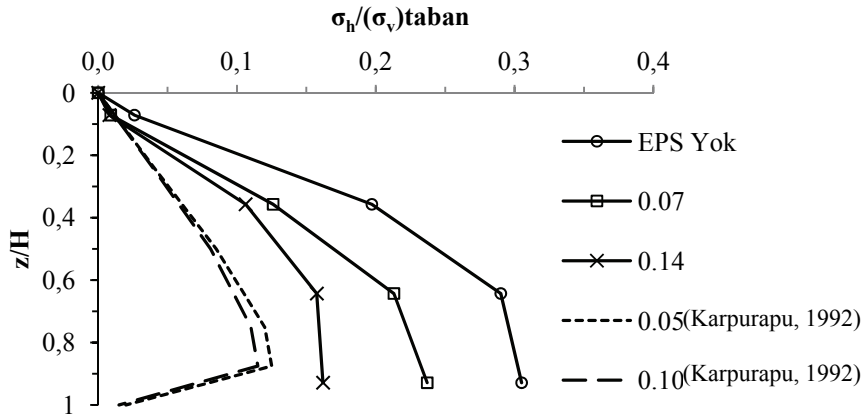
*Yanal Zemin Basınçlarının EPS Köpük Kullanımı Vasıtasıyla Azaltılması*



*Şekil 11 EPS tabaka kalınlığının yanal itki değerleri üzerindeki etkisi (a) Rijit duvar (b) Esnek duvar*



Şekil 12 Esnek duvar modelleri için kontrol testleri ve EPS köpük kullanılan testlerde elde edilen duvar yatay hareketleri



Şekil 13 Rijit duvarda oluşan yanıl basınç profillerinin karşılaştırılması

#### Kaynaklar

- [1] Horvath, J. S., Compressible Inclusion Function of EPS Geofoam. Geotextiles and Geomembranes , 15 (1-3), 77-120, 1997.
- [2] Farnsworth, C. B., Bartlett, S. F., Negussey, D., Stuedlein, A. W., Rapid construction and settlement behavior of embankment systems in soft foundation soils, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering , 134 (3), 289-301, 2008

- [3] Jutkofsky, W. S., Sung, J., Negussey, D., Stabilization of embankment slope with geofoam, *Transportation Research Record* , 1736, 94-102, 2000
- [4] Horvath, J., Using geosynthetics to reduce surcharge induced stresses on rigid earth retaining structures, *Transportation Research Record* , 1330, 47-53, 1991
- [5] Horvath, J., Extended Veletsos-Younan Model for geofoam compressible inclusions behind rigid, non-yielding earth retaining structures, *Proceedings of the 4th Decennial Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics ASCE Special Publication*. 181. Sacramento, 2008
- [6] Hazarika, H., Okuzono, S., On a performance enhancement of a soil-structure system with sandwiched inclusion, *Proceedings of the 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering and the 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, (pp. 257-263). Berkeley,CA., 2004
- [7] Hatami, K.,Withoeft, A., A numerical study on the use of geofoam to increase the external stability of reinforced soil walls, *Geosynthetics International* , 15 (6), 452-470, 2008
- [8] Zarnani, S., Bathurst, R. J., Experimental Investigation of EPS geofoam seismic buffers, *Geosynthetics International* , 14 (3), 165-177, 2007
- [9] Zarnani, S., Bathurst, R. J., Numerical Modeling of EPS seismic buffers using shake table tests, *Geotextiles and Geomembranes* , 26 (5), 371-383, 2008
- [10] İkizler, B., Aytakin, M., Nas, E., Laboratory study of expanded polystyrene (EPS) geofoam used with expansive soils, *Geotextiles and Geomembranes*, 26, 189-195, 2008
- [11] Newman, M. P., Bartlett, S. F., Lawton, E. C., Numerical Modeling of Geofoam Embankments, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* , 136 (2), 290-298, 2010
- [12] Rehnman, S. E., Broms, B. B., Lateral pressures on basement wall; Results from full scale tests, *Proceedings of the Fifth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 189-197, 1972
- [13] Edgar, T. V., Puckett, J. A., DSpain, R. B., Effects of geotextiles on lateral pressure and deformation in highway embankments, *Geotextiles and Geomembranes* , 8 (4), 275-292, 1989
- [14] Partos, A. M., Kazaniwsky, P. M., Geofoam reduces lateral earth pressures, *Proceedings of Geosynthetics'87*, (pp. 628-639). Los Angeles, 1987
- [15] Hoppe, E. J., Field measurements on skewed semi-integral bridge with elastic inclusion: Instrumentation Report, Virginia Transportation Research Council, 2006
- [16] Karpurapu, R., Bathurst, R. J., Numerical Investigation of Controlled Yielding of soil-retaining wall structures, *Geotextiles and Geomembranes*, 11, 115-131, 1992
- [17] Tsukamoto, Y., Ishihara, K., Kon, H., Matsuo, T., Use of compressible expanded polystyrene blocks and geogrids for retaining wall structures, *Soils and Foundations*, 42 (4), 29-41, 2002



- [18] Lutenegeger, A. J., Ciufetti, M., Full Scale pilot study to reduce lateral stresses in retaining structures using geofoam, University of Massachusetts Department of Civil Engineering. Amherst, Vermont Department of Transportation, 2009
- [19] Reeves, J. N., Filz, G. M., Earth force reduction by a synthetic compressible inclusion, Department of Civil Eng., Virginia Tech, Geotech Systems Corp., 2000
- [20] Magnan, J. P., Serratice, J. F., Mechanical properties of expanded polystyrene for applications in road embankment, Laboratories Central Ponts et Chausse'es. Paris: Bull Liaison LCPC, 1989