

EPS Ara Dolgu Kullanımının Ankastre İstinat Duvarlarının Statik Davranışı Üzerindeki Etkileri

Influence of EPS Geofom Buffers on the Static Behavior of Cantilever Earth-Retaining Walls

Özgür L. ERTUĞRUL^{a*}, M. Yener ÖZKAN^b

^aMersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Çiftlikköy Kampüsü, 33343, Mersin

^bOrtadoğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Çankaya, 06800, Ankara

Geliş Tarihi/Received : 04.11.2011, Kabul Tarihi/Accepted : 03.04.2012

ÖZET

Bu çalışmada, genişletilmiş polistren (EPS) ara dolgu kullanımının, farklı duvar esnekliklerine sahip olan ankastre istinat duvarlarında oluşan yanal basınç ve duvar sehimleri üzerindeki etkileri araştırılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, 0.7 m yüksekliğinde ve çeşitli kalınlıklarda istinat duvarı modelleri hazırlanarak laboratuvar ortamında deneyler yapılmıştır. Birinci grup testlerde, duvar ile kohezyonsuz dolgu arasında herhangi bir ara dolgu yer almaması durumu incelenmiş, ikinci ve üçüncü test gruplarında ise duvar ile dolgu arasında iki farklı kalınlıkta EPS'den imal edilen ara dolgu bulunması durumu incelenmiştir. Dört farklı kalınlıkta duvar için deneyler tekrarlanarak elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Duvar esnekliği arttıkça ara dolgunun sağladığı yük azaltıcı etki azalmaktadır. Buna rağmen, esnek duvarlarda deforme olabilen ara dolgu kullanımı, yanal zemin itkisi ve duvar sehimlerinde önemli oranlarda düşüş sağlayarak daha ekonomik duvar tasarımlarına imkân verebilir. Model deneyler neticesinde elde edilen yanal zemin basıncı katsayıları, Coulomb yöntemi ile elde edilen aktif yanal basınç katsayılarıyla karşılaştırılmaktadır. Duvar esnekliği ve ara dolgu özelliklerinin çeşitli kombinasyonları için, statik yanal basınç katsayılarının tahmini amacıyla bir grafik sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Ankastre istinat duvarı, Genleştirilmiş polistren (EPS), Ara dolgu, Duvar esnekliği.*

ABSTRACT

In this study, the effect of expanded polystyrene (EPS) buffers on lateral stresses and deflections of model retaining walls with various flexibility values were investigated. For this purpose, 0.7 m high model walls were instrumented and 1-g model tests were performed in laboratory environment. In the first group of tests, the wall models retain only granular cohesionless backfill whereas in the second and third group of tests, EPS deformable buffers of two different thicknesses were installed between the wall and granular backfill. Tests were repeated for four different wall thicknesses and results were discussed comparatively. As wall flexibility increases, there is a decrease in the load reduction pattern of the buffer. On the other hand, utilization of geofom buffers with flexible cantilever walls still provides substantial decrease in wall thrust and deflections thus leading to more economical retaining structure design. The lateral earth pressure coefficients determined through model tests were compared to those calculated from Coulomb's theory for active lateral earth stresses. A graph is provided for the estimation of lateral earth pressure coefficients for various combinations of wall flexibilities and buffer characteristics.

Keywords: *Cantilever retaining wall, Expanded polystyrene (EPS), Deformable buffer, Wall flexibility.*

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : ozgurertugrul@hotmail.com (Ö.L. Ertuğrul)

1. GİRİŞ

Genleştirilmiş polistren köpük (EPS), granüler zemin içerisinde dikey ve yanal kemerlenme etkisi yaratarak mühendislik yapılarına etkileyen zemin kuvvetlerinin azaltılması konusunda kullanılabilir (Horvath, 1995). İstinat duvarı ve granüler dolgu malzemesi arasında konulan EPS ara katmanı, oluşan etkileşim mekanizmasının en esnek elemanı olduğundan dolayı sıkışarak deforme olması kaçınılmazdır. Ancak, bu deformasyon, desteklenen doğal granüler dolgu içerisinde hareketlenme oluşturarak zemin kayma mukavemetinin daha yüksek oranda mobilize olmasını sağlayabilir. Bir ankastre istinat duvarında EPS ara dolgu uygulaması Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Ankastre istinat duvarlarında EPS dolgu kullanımı örneği.

Camyünü ve talaş gibi malzemelerin, yanal zemin basınçlarının azaltılması amacıyla, istinat yapıları ve desteklenen doğal zemin arasında yerleştirilmesi literatürde yer almaktadır (Rehman ve Broms, 1972). Ancak; Horvath, (1997) bu malzemelerin gerilme-birim deformasyon özelliklerinin belirgin olmaması ve çürümeye yatkın olmaları sebebiyle ara dolgu olarak kullanılmalarının istenilen faydayı veremeyeceğini bildirmektedir. Yukarıda bahsedilen malzemelerden farklı olarak EPS sert köpük, çürümeye maruz kalmadan 50 yıldan fazla süreyle kullanılabilir. Geoteknik mühendisliğinde EPS ara dolgu uygulamaları 1970’lerde Almanya’da görülmeye başlamıştır.

Deforme olabilen ara dolgu kullanılan istinat duvarlarında, yerinde yapılan ölçümler, yanal

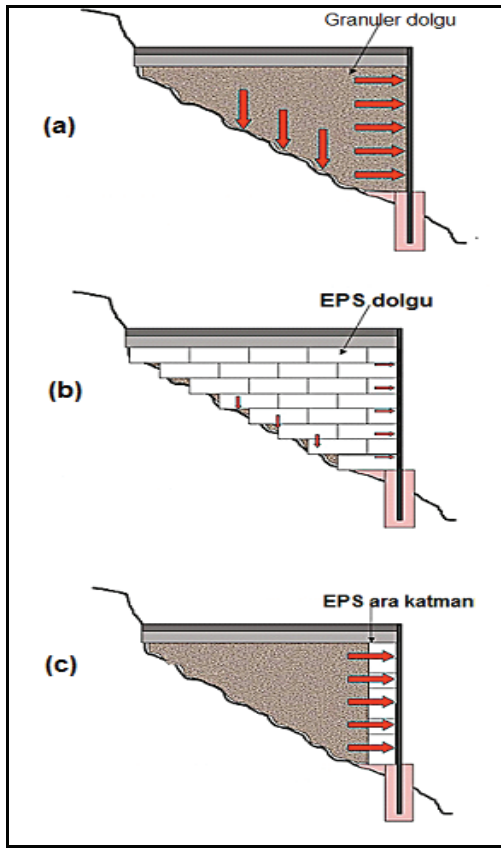
zemin basınçlarında önemli oranda düşüş sağlanabildiğini ortaya koymaktadır (Partos ve Kazaniwsky, 1987).

Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan sayısal modelleme çalışmaları da deforme olabilen ara katman kullanımının rijit istinat duvarlarına etkileyen yanal basınçlar üzerinde oldukça olumlu etkiye sahip olduğuna işaret etmektedir (Karpurapu ve Bathurst, 1992; Trandafir v.d., 2010; Ertuğrul ve Trandafir, 2011). Ertuğrul v.d., (2012), rijit istinat duvarlarına etkileyen yanal basınçların EPS ara dolgu kullanımı vasıtasıyla değişen oranlarda azaltılabildiğini model deneyler vasıtasıyla incelemiştir.

Matsuda v.d., (1996), 14 m yüksekliğinde bir köprü yaklaşımında yer alan ankastre istinat duvarları için yapılan 0.5 m kalınlığında EPS ara dolgu uygulamasında, temel seviyesinde oluşan eğilme momentlerinde % 85’e varan oranlarda düşüş gözlemlendiğini belirtmektedir. Momentlerde oluşan düşüş oranları, EPS birim ağırlığı ve kalınlığına bağlı olarak değişmiştir. Ertuğrul ve Trandafir (2011), model deneyler ile doğrulamasını yaptığı sonlu elemanlar modeliyle parametrik analizler gerçekleştirerek tasarım mühendislerinin yararlanabileceği grafikler sunmuştur. Mevcut uygulamalar, genleştirilmiş polistren sert köpük (EPS) dolgunun istinat duvarlarının tasarımı konusunda iki farklı şekilde kullanılabilirliğini göstermektedir. Şekil 2’de bu uygulamalara yer verilmektedir. İstinat duvarları, kohezyonsuz doğal dolgu malzemesi kullanılması durumunda oldukça yüksek yanal yüklere maruz kalabilmektedir. Doğal dolgu yerine tamamen EPS malzemesi kullanımı durumunda duvar üstüne etkileyen yanal itkide önemli ölçüde düşüş sağlanabilir (Şekil 2b). Ancak, EPS dolgunun üzerinde oluşacak dikey yükler altındaki performansı, kullanılacak EPS malzeme seçiminde göz önünde bulundurulmalıdır. İkinci alternatif ise doğal dolgu ile istinat duvarı arasında deforme olabilen EPS ara katmanı yerleştirilmesidir. Bu katman, yanal yükler sebebiyle sıkışarak doğal dolgunun kayma mukavemetinin daha yüksek oranda mobilize edilebilmesine, buna ilave olarak da yatay kemerlenme etkisi oluşumuna olanak sağlayarak istinat yapısına etkileyecek yanal yüklerde düşüş sağlayabilecektir.

2. FİZİKSEL MODELLEME ÇALIŞMASI

Modelleme çalışmasında, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarında yer alan $2 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ (boy×en×yükseklik) ebatlarındaki çelik bir kum tankı kullanılmıştır. Kum tankı, 10 mm kalınlıkta çelik plakalardan imal edilmiş olup iç yüzeyi, model 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.

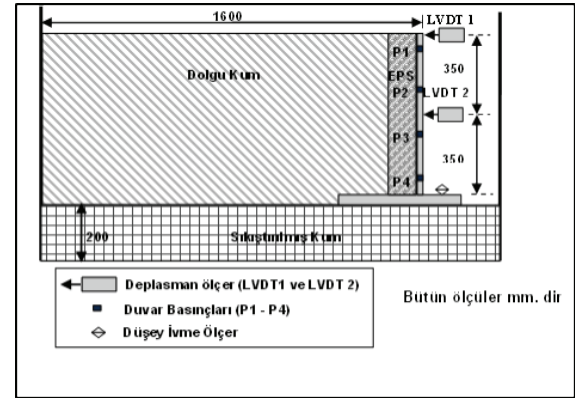


Şekil 2. (a) Granüler dolgulu (b) EPS dolgulu (c) EPS ara katmanlı istinat duvarı.

2.1. Deney Yöntemi

Deneyler 0.7 m yüksekliğinde ve farklı kalınlıklarda çelikten imal edilen model duvarlar ile yapılmaktadır. Şekil 3'de duvar modeli gösterilmektedir. Deney düzeneği, Ertuğrul v.d. (2012)'de kullanılan model ile benzer nitelikte olup duvar gövdelerinin esneklikleri

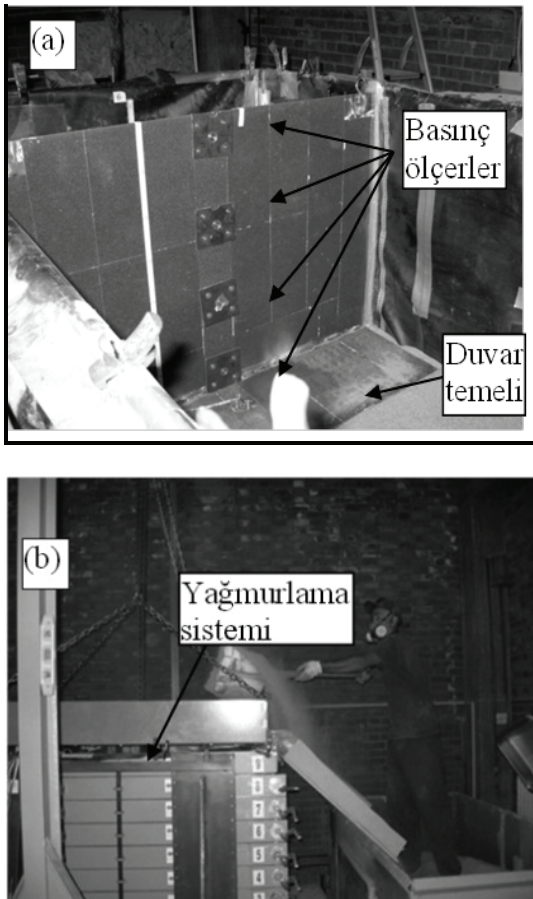
değişken olmaktadır. Duvar yüksekliği boyunca dört ayrı noktaya yanal basınç ölçerler ve iki ayrı noktaya da yanal deplasman ölçerler yerleştirilmiştir. Kullanılan istinat duvarı modeli $700 \times 980 \times 5$ (yükseklik×boy×et kalınlığı, mm olarak) ebatlarında, istinat duvarının tabanını oluşturan kısım ise $980 \times 500 \times 8$ (uzunluk×en×et kalınlığı, mm olarak) çelikten imal edilmiş olup kaynaklanarak birleştirilmiştir. Kullanılan model ve ölçüm elemanlarının model üzerindeki konumları Şekil 3'de gösterilmektedir. Ölçüm aygıtlarından elde edilen veriler sinyal düzenleyiciler tarafından filtrelendikten sonra 12 bit çözünürlüklü bir veri toplama sistemi ile kayıt edilmiştir.



Şekil 3. Deforme olabilen ara katman kullanılan istinat duvarı modeli (Ertuğrul v.d., 2012).

Birinci grup testlerde, duvar ile kohezyonsuz dolgu arasında ara dolgu tabakası yer almamakta; ikinci ve üçüncü grup testlerde ise duvar ile granüler dolgu arasında iki farklı kalınlıkta (Ara dolgu kalınlığı, $t = 50 \text{ mm}$ ve 100 mm) EPS paneller bulunmaktadır. Dört farklı kalınlıkta duvar için deneyler tekrarlanmıştır (duvar kalınlığı, $t_w = 2 \text{ mm}$, 4 mm , 5 mm , 8 mm). 300 mm kalınlığında granüler malzeme kum tankının tabanına serilerek kompaktör ile sıkılaştırılmış, buna müteakip olarak istinat duvarı modeli vinç yardımıyla tankın içine yerleştirilmiştir (Şekil 4a). Model istinat duvarı ile kum tankının kenarı arasındaki mesafe, oluşabilecek potansiyel bir aktif kayma kamasının limitlerinden daha büyük olacak şekilde duvarın yerleşimi yapılmıştır. Duvar gövdesi boyunca dört ayrı noktada önceden açılmış deliklere basınç ölçerler yerleştirilmiş ve duvar yanal hareketlere karşı sabitlemiştir. Buna müteakip olarak yağmurlama tekniğiyle 500 mm yükseklikten 100 mm'lik katmanlar

halinde kohezyonsuz dolgu serilmiştir (Şekil 4b). Alınan numuneler ile rölatif sıkılık testleri yapılmış ve yaklaşık olarak % 72 civarında değerler elde edilmiştir. Dolgu işleminin tamamlanmasının ardından veri toplama sistemi çalıştırılarak duvar üzerine gelen yanıl basınçlar ölçülmüştür. Bu ölçüm esnasında duvar gövdesine bağlı durumda olan mekanik kriko sistemi, duvarın sehim yapmasına izin vermemektedir. Deneyin ikinci aşamasında ise kriko kademeli olarak gevşetilerek model duvar gövdesinin sehim yapması sağlanmış, yanıl basınç değerleri dengeleninceye kadar veri toplama sistemi ile ölçüm yapılmaya devam edilmiştir. EPS ara dolgu kullanılan testlerde ise yağmurlama işleminden önce duvar gerisine 50 mm ve 100 mm kalınlığındaki paneller yerleştirilmiştir (Şekil 5a). Dolgu işleminin tamamlanması sonrasında deney düzeneği Şekil 5b’de gösterilmektedir.

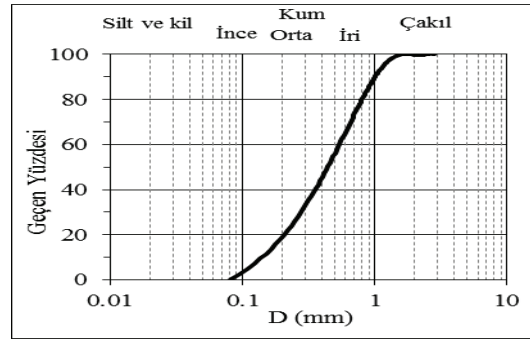


Şekil 4. (a) Ara dolgu uygulanmayan duvar modeli (b) Yağmurlama tekniğiyle dolgunun hazırlanışı (Ertuğrul v.d., 2012).

2.2. Granüler Malzemenin Özellikleri

Deneylerde kullanılan granüler malzemenin elek analiz eğrisi Şekil 6’da yer almaktadır. En yüksek ve en düşük boşluk oranı Head, (1992) tarafından tarif edilen prosedür uygulanarak 0.745 ve 0.436 olarak tespit edilmiştir. Malzemenin özgül ağırlığı ASTM D854-83 standardına uygun olarak yapılan testlerde 2.66 bulunmuştur. Birleşik zemin sınıflandırma sistemine göre kötü derecelenmiş kum (SP) grubuna dahil edilmektedir.

Model deneylerde kullanılan granüler malzemenin kayma mukavemeti parametrelerinin ve sekant modülünün belirlenmesi gayesiyle tek eksenli ve üç eksenli (konsolidasyonlu-drenajsız) yükleme deneyleri yapılmıştır. % 70 sıklığa haiz silindir numuneler ile yapılan üç eksenli deneylerine göre içsel sürtünme açısı (Φ) 43.5° olarak bulunmuştur. Uygulanan çevre basıncı değerlerinin oldukça düşük olması sebebiyle (10kPa-30kPa), ölçülen içsel sürtünme açısı yüksektir. Malzemenin göçme basıncının % 50’sine karşılık gelen değerden çizilen sekant modülü (E_{50})s yaklaşık 6000 kPa olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6. Granüler malzemenin parçacık büyüklük dağılımı.

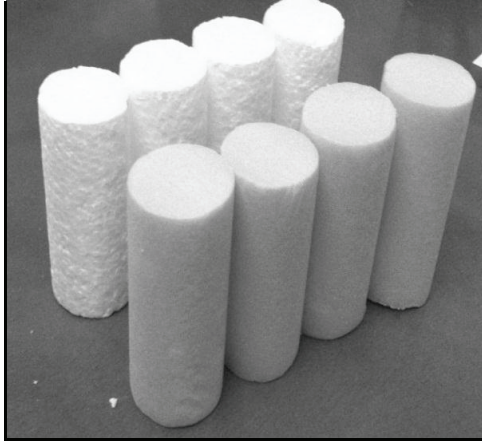
2.3. Genleştirilmiş Polistren (EPS) Özellikleri

Testlerde kullanılan EPS malzemenin birim ağırlığı 15 kg/m³ olarak tespit edilmiştir. Bu malzeme, ASTM-C578-05 standartlarına göre Kategori-I’e dâhil edilmektedir. Boy: Çap oranı 2:1 olarak hazırlanan ve Şekil 7’de gösterilen 50 mm çapındaki numuneler üzerinde tek eksenli ve üç eksenli yükleme deneyleri yapılmıştır. Şekil 8’de EPS üzerinde yapılan tek eksenli yükleme deneyi sonucu elde edilen basınç-birim deformasyon eğrileri gösterilmektedir.

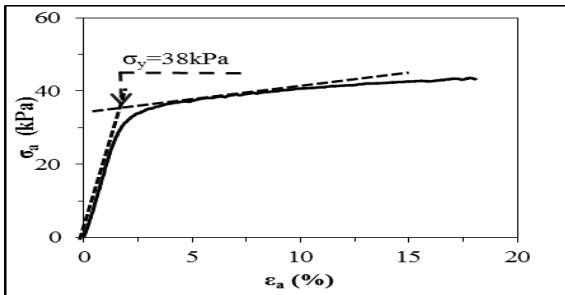
Deney sonuçları doğrultusunda 15 kg/m^3 birim ağırlıklı EPS sert köpüğün akma gerilmesi Magnan ve Serratice, (1989) tarafından önerilen metot ile 38 kPa olarak tayin edilmiştir. EPS malzemenin lineer-elastik davranış yapan kısmı için teğet elastisite modülü (E_{50}), 1500 kPa olarak bulunmuştur.

Tablo 1. Testlerde kullanılan granüler malzemenin endeks özellikleri.

Parametre	Değer
Ortalama birim ağırlık (kN/m^3)	16.50
En yüksek boşluk oranı (e_{max})	0.745
En düşük boşluk oranı (e_{min})	0.436
Deneylerde elde edilen boşluk oranı (e)	0.523
Özgül ağırlık	2.66
Uniformluk katsayısı, C_c	0.80
Eğrilik katsayısı, C_u	3.31
İnce daneli malzeme(%)	<1.0

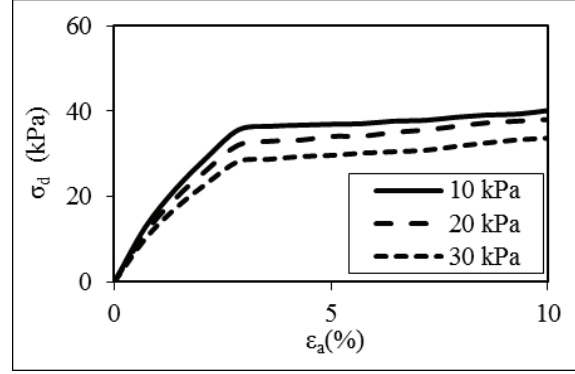


Şekil 7. Tek eksenli ve üç eksenli yükleme deneylerinde kullanılan EPS numuneleri.



Şekil 8. EPS numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli yükleme deneyi neticesinde elde edilen gerilme-birim deformasyon eğrisi (Ertuğrul v.d., 2012).

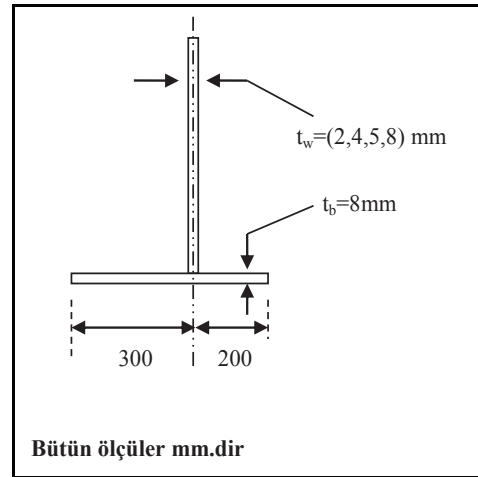
Şekil 9'da EPS numuneleri üzerinde yapılan CU türü üç eksenli yükleme deneylerinde elde edilen basınç- birim deformasyon davranışları karşılaştırılmaktadır. Artan çevre basıncı ile birlikte malzemenin akma dayanımı düşmektedir. Bu davranış, doğal zeminlerde gözlenen davranış biçimiyle bir tezat oluşturmaktadır.



Şekil 9. EPS numuneleri üzerinde yapılan üç eksenli yükleme deneyi sonuçları (birim deformasyon hızı = $0.01\%/dk.$).

2.4. Model Duvar Özellikleri

Model deneylerde kullanılan istinat duvarları ve temelleri St-37 tipi çelikten imal edilmiş olup elastisite modülü 205 GPa olarak belirlenmiştir. Temel ve duvar gövdesi kaynaklanarak birbirine bağlanmıştır. Duvar esnekliğinin ara dolgu kullanımı performansına etkisinin incelenmesi amacıyla model duvarların esnekliklerinin değiştirilmesi gereklidir. Farklı kalınlıklardaki duvar gövdeleri farklı bağıl esneklik değerlerine tekabül etmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Duvar modellerinin boyutları.

Younan ve Veletsos, (2000) tarafından bağıl esneklik oranı (d_w), duvar rijitliğinin zeminin rijitliğine oranı olarak tanımlanmış olup eşitlik-1 ile hesaplanabilmektedir. Bu eşitlikte G , desteklenen doğal zeminin kayma modülünü, H , duvar yüksekliğini, E_w , istinat duvarını oluşturan malzemenin elastik modülünü, t_w duvar kalınlığını ve ν_w ise Poisson oranını ifade etmektedir.

$$d_w = 12(1 - \nu_w^2) \frac{G}{E_w} \left(\frac{H}{t_w}\right)^3 \quad (1)$$

Bu formül doğrultusunda model duvar kalınlığının (t_w) = 2 mm, 4 mm, 5 mm ve 8 mm olarak alınması ve deneysel olarak hesaplanan G değeri kullanılması neticesinde bağıl duvar esnekliği (d_w) değerleri 8200, 1024, 524 ve 128 olarak elde edilmektedir. Tablo 2’de farklı kalınlıklardaki model duvarların kayma (GK_{kayma}) ve dönme ($GK_{dönme}$) güvenlik katsayıları gösterilmektedir.

Tablo 2. Model duvarların güvenlik katsayıları.

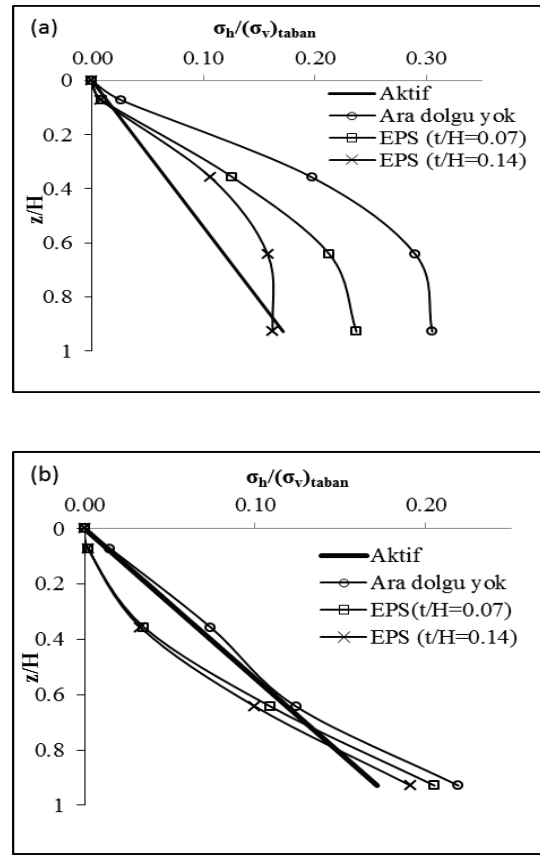
t_w (mm)	GK_{kayma}	$GK_{dönme}$
2	1.68	3.12
4	1.73	3.19
5	1.76	3.23
8	1.84	3.33

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

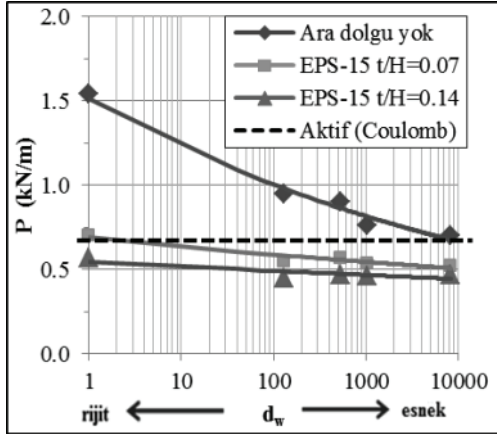
Model duvar gövdelerine yerleştirilmiş basınç ölçerlerden elde edilen veriler doğrultusunda Şekil 11’de duvar hareketlerini engelleyen krikonun çıkarılması öncesinde ve sonrasında duvar gövdesi boyunca dört farklı yükseklikte gözlenen yanal basınçlar kıyaslanmaktadır. Duvar gövdesinin sehim yapmasının engellendiği durum, tam rijit bir istinat duvarı modeli olarak düşünülebilir. Bu durum için ölçülen yanal basınç değerleri Şekil 11a’da gösterilmektedir. Bu duvar modelinde, çeşitli kalınlıklarda ara dolgu kullanımı yanal basınçlarda önemli oranlarda düşüş sağlamaktadır. Duvar yüksekliğinin % 14’ü kadar kalınlıkta EPS-15 ara dolgu kullanımı en yüksek oranda azaltıcı etkiyi göstermektedir.

Aynı özelliklere sahip olan ara dolgunun sehim yapabilen esnek istinat duvarının gövdesinin gerisinde bulunması durumunda yanal basınçlar üzerindeki azaltıcı etkisi oransal olarak belirgin şekilde azalmaktadır (Şekil 11b).

Model deneylerde elde edilen basınç ölçümleri kullanılarak toplam yanal itki değerleri hesaplanabilmektedir. Şekil 12’de model istinat duvarı ile granüler dolgu arasında esnek ara dolgu katmanı yer alması durumunda elde edilen yanal itki değerleri, ara dolgu bulunmayan modele etkiyen itki değerleri ile kıyaslanmaktadır. Bu şekilde, yatay eksen duvar esnekliğini, düşey eksen ise yatay itki değerlerini ifade etmektedir. Duvar rijitliği arttıkça, itki değerleri yükselmektedir. EPS ara dolgu bulunması durumlarında yanal itki değerlerinde önemli düşüşler gözlenmiştir.



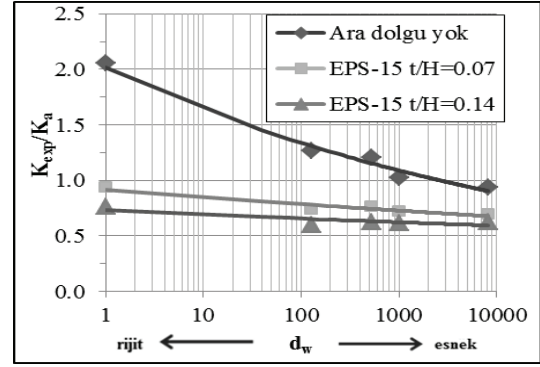
Şekil 11. (a) Duvarın sehim yapması engellenmiş durumdayken (b) Duvar sehim yapabilir durumdayken duvar gövdesine etkiyen basınç dağılımları ($d_w=524$ değeri için).



Şekil 12. Farklı bağıl esneklik değerleri için elde edilen yanal itki büyüklüklerinin karşılaştırması.

Esnek istinat yapılarında ara dolgu kullanımı sonucu elde edilen azalma miktarı, rijit duvarlardaki etkiye oranla daha düşük kalmaktadır. Duvar yüksekliğine oranı % 7 olan EPS ara katmanı kullanımı durumunda gözlenen yanal itki değeri Coulomb yöntemi ile elde edilen aktif yanal itki değerinden az miktarda daha düşük gerçekleşmektedir. Ara katman kalınlığının % 14 olması durumunda ise yanal itki bir miktar daha ilave düşüş meydana gelmektedir. EPS ara katmanın rijit duvar ile kullanılması durumunda yanal itki sağlanacak azaltıcı etki % 60 civarında olabilmektedir. Duvar esnekliğinin artmasıyla, aynı kalınlıkta EPS ara katman kullanımının verimliliği, % 20'lere kadar düşmektedir.

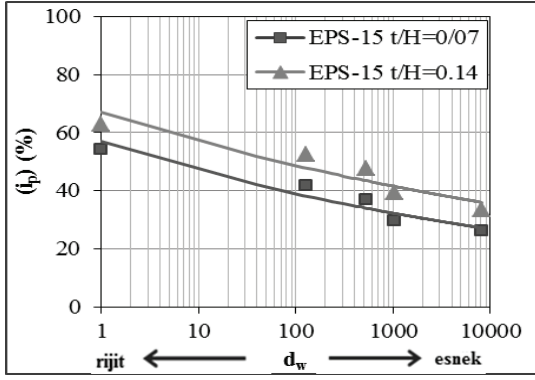
Deneysel olarak elde edilen yanal basınç (σ_h) değerleri kullanılarak yanal basınç katsayıları (K_{exp}) Eşitlik-2 vasıtasıyla hesaplanabilir. Bu eşitlikte γ , granüler malzemenin birim ağırlığını, H ise duvar gövdesinin yüksekliğini göstermektedir. Şekil 13'de model deneylerde elde edilen yanal basınç katsayıları Coulomb yöntemi ile elde edilen aktif basınç katsayısıyla normalize edilerek farklı bağıl esneklik değerleri için sunulmaktadır. EPS türü ara dolgu kullanımı bağıl esnekliği düşük olan duvarlarda oldukça etkili bir şekilde yanal basınç katsayılarını azaltabilmektedir. Duvar esnekliğindeki artışla birlikte, ara katman kullanımının verimliliği azalmaktadır. Esnek duvarların, yanal basınçlar altında sehim yaparak desteklenen kohezyonsuz ara dolgunun plastik limit dayanım değerlerine ulaşabilmesine imkân verebilir nitelikte olması, ara dolgu kullanımının performansını düşürmektedir.



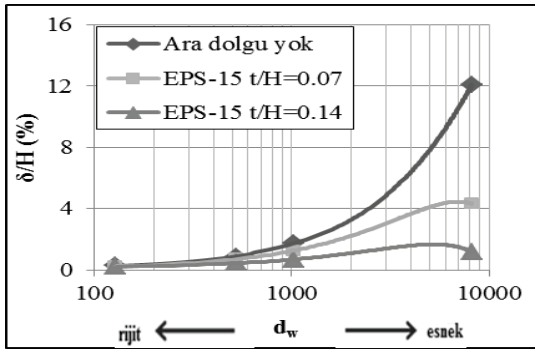
Şekil 13. Farklı bağıl esneklik değerleri için elde edilen normalize edilmiş yanal zemin basıncı katsayılarının karşılaştırması.

$$K_{exp} = \frac{2}{\gamma H^2} \int_0^H \sigma_h dz \quad (2)$$

Şekil 14'te duvar ile kohezyonsuz granüler dolgu arasında farklı kalınlıklarda EPS-15 ara dolgu yerelması durumunda yanal itki değerlerinde gözlenen düşüşler, EPS yer almayan duvarlarda oluşan yanal itki değerlerine oranlanarak (i_p) yüzde olarak ifade edilmektedir. Ara dolgu özelliklerinin duvar esnekliğine bağılı olarak yanal duvar sehimlerinde de önemli etkileri olduğu gözlenmektedir. Şekil 15'de model deneyler neticesinde farklı bağıl duvar esneklikleri için kaydedilen en yüksek sehim değerleri duvar yüksekliğiyle normalize edilerek sunulmaktadır. Duvar esnekliğinin artmasıyla, beklenildiği gibi duvar sehimlerinde artış olmakta, EPS ara katmanı kullanımı ise daha düşük sehimlerin gözlenmesine imkan vermektedir. Duvar esnekliğindeki artışa bağılı olarak duvar sehimleri duvar yüksekliğinin % 10'u mertebesine kadar ulaşabilmektedir. Ancak, 1000'in üzerindeki bağıl esneklik değerleri pratikte uygulanan betonarme istinat duvarları için oldukça yüksek kabul edilebilir.



Şekil 14. Yanal itki miktarında sağlanan düşüş oranları (ip).



Şekil 15. Farklı bağıl esneklik değerleri için elde edilen duvar sehimleri.

4. SONUÇLAR

EPS ara dolgu kullanımı yanal duvar basınçları ve toplam duvar itkisinde düşüş sağlayabilmektedir. Düşüş miktarı, duvar gövdesinin esneklik oranına ve ara dolgunun özelliklerine bağlıdır. Bağıl duvar esnekliğindeki artış, daha düşük basınçların istinat yapısına aktarılmasına sebep olmaktadır.

Rijit duvarlarda EPS-15 tipi ara dolgu kullanımı, esnek duvarlarda kullanımına kıyasla yanal itki değerlerinde daha yüksek oranda düşüş sağlamıştır. Bağıl esnekliğin azalmasıyla birlikte istinat yapısının sehim yapma kabiliyeti azalmakta ve gözlenen yanal basınçların daha yüksek olmasına sebep olmaktadır.

Netice itibariyle EPS türü ara dolgu kullanımı rijit duvarlarda yanal basınç katsayılarını önemli miktarda azaltabilmektedir. Duvar esnekliğindeki artışla birlikte, ara katman kullanımının verimliliği azalmaktadır. Esnek duvarların yanal basınçlar altında sehim yaparak desteklenen kohezyonsuz ara dolgunun plastik

limit dayanım değerlerine ulaşabilmesine imkân verebilir nitelikte olması, ara dolgu kullanımının performansını düşürmektedir. Kullanılan ara dolgunun kalınlığı, yanal basınçlar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. EPS ara dolgu kullanımı rölatif duvar esnekliğine bağlı olarak yanal duvar sehimlerinde de önemli etkiler göstermektedir.

Duvar esnekliğinin artmasıyla, beklenildiği gibi duvar sehimlerinde artış olduğu ve EPS ara dolgu kullanımının ilave düşüş sağlayabildiği belirlenmiştir. Küçük ölçekli modelde oluşabilecek muhtemel sınır etkileşimlerinin sonuçlar üzerindeki etkisinin azaltılması amacıyla deneylerin daha büyük ölçekli modeller ile tekrarlanarak mevcut verilerle karşılaştırılması oldukça olumlu katkıda bulunacaktır.

5. SEMBOLLER LİSTESİ

σ_y	= Akma gerilmesi,
t_w	= Duvar gövdesi kalınlığı,
d_w	= Bağıl duvar esnekliği,
GK_{kavma}	= Kaymaya karşı güvenlik katsayısı,
$GK_{dönme}$	= Dönmeye karşı güvenlik katsayısı,
σ_h	= Yanal zemin basıncı,
$(\sigma_v)_{taban}$	= Taban seviyesindeki düşey zemin basıncı,
H	= Duvar gövdesi yüksekliği,
K_{exp}	= Yanal basınç katsayısı (deneysel),
K_a	= Coulomb yöntemi ile hesaplanan aktif yanal basınç katsayısı,
P	= Toplam yanal itki,
γ	= Granüler malzemenin birim ağırlığı,
δ	= Yanal duvar deplasmanı,

6. KAYNAKLAR

Ertuğrul, Ö. L., Trandafir, A. C. 2011. Reduction of Lateral Earth Forces Acting on Rigid Non-Yielding Retaining Walls by EPS Geofoam Inclusions. ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, 23 (12), 1711-1718.

Ertuğrul, Ö. L., Trandafir, A. C., Özkan, M. Y. 2012. Yanal Zemin Basınçlarının EPS Köpük Kullanımı Vasıtasıyla Azaltılması. İMO Teknik Dergi, 23, 5885-5901.

Head, K. H. 1992. Manual of soil laboratory testing: Soil classification and compaction tests (Vol. 1). London: Pentech Press.

- Horvath, J. S. 1997. Compressible inclusion function of EPS geofoam. *Geotextiles and Geomembranes*, 15 (1), 77-120.
- Karpurapu, R, Bathurst, R. J. 1992. "Numerical investigation of controlled yielding of soil-retaining wall structures." *Geotextiles and Geomembranes*; 11: 115–31.
- Magnan, J. P., Serratice, J. F. 1989. Mechanical properties of expanded polystyrene for applications in road embankment. *Laboratoire Central Ponts et Chaussees*, 164, 25-31.
- Matsuda, T., Ugai, K., Gose, S. 1996. Application of EPS to backfill of abutment for earth pressure reduction and impact absorption. *Proceedings of the International Symposium on EPS Construction Method*, 327-332. Tokyo, Japan.
- Partos, A.M., Kazaniwsky, P.M. 1987. "Geofoam reduces lateral earth pressures." *Proceedings of Geosynthetics'87*. Industrial Fabrics Association International, New Orleans, LA, USA, 628-639.
- Rehman, S. E., Broms, B. B. 1972. Lateral pressures on basement wall; Results from full scale tests. *Proceedings of the Fifth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 189-197.
- Trandafir, A. C., Moyles, J. F., Erickson, B. A. 2010. "Finite-element analysis of lateral pressures on rigid non-yielding retaining walls with EPS geofoam inclusion." *Proceedings of the Earth Retention Conference 3*. Bellevue, Washington: ASCE, Geo-Institute, 756-763.
- Younan, A. H., Veletsos, A. S. 2000. Dynamic response of flexible retaining walls. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, (29), 1815-1844.