

# GEOFOAM BLOK YOL DOLGUSUNUN KISA VADE PERFORMANSININ ALETSEL GÖZLEMLER İŞİĞİNDA DEĞERLENDİRİLMESİ

## SHORT TERM PERFORMANCE EVALUATION OF GEOFOAM BLOCK EMBANKMENT USING FIELD INSTRUMENTATIONS

A.Tolga ÖZER\*<sup>1</sup>

Emre AKINAY<sup>2</sup>

### ABSTRACT

Expanded polystyrene (EPS) blocks (geofoam blocks), which have high strength/density ratios, are used to construct highway embankments on soft soil sites where consolidation settlement is a concern. In addition, geofoam technology is also preferred to construct embankments over buried utility corridors to prevent possible structural damages when embankments constructed using conventional compacted earth fills. The first geofoam block roadway embankment application of Turkey is constructed for diverting a portion of the traffic on Harem direction of Uzuncayir exit of the Istanbul Motorway to Acibadem district. Instead of compacted earth fill, geofoam blocks were preferred to prevent transferring significant additional stresses by conventional compacted earth fill to 2.2 m diameter water mains which are located approximately 3.8 - 5.6 meters below the base of the embankment. Vertical deformations were recorded over time by using a total of four magnet plate extensometers which were installed within the geofoam embankment, one magnet plate extensometer was installed at the foundation and a datum extensometer was installed below the foundation. The total deformation of geofoam block roadway embankment under the dead loads were %0.5 of the total height of the embankment that was less than %1 strain which was elastic limit strain used in the design. Relocation of the water mains were prevented and construction was completed without any loss of water services by selecting geofoam blocks in the construction of roadway embankment.

**Key words:** Geofoam block, Field instrumentation, Magnet plate extensometer, Field monitoring.

### ÖZET

Yüksek mukavemet/yoğunluk oranlarına sahip genişletilmiş polistiren (EPS) bloklar (geofoam bloklar) toplam oturma potansiyeli yüksek zeminler üzerine inşa edilecek olan otoyol dolgularının imalatında kullanılmaktadırlar. Ayrıca, gömülü alt yapı tesisleri üzerine inşa edilecek olan yol ve otoyol dolgularının geleneksel sıkıştırılmış toprak dolgudan imal edilmesinden dolayı oluşabilecek yapısal hasarları önlemek adına geofoam teknolojisi tercih edilmektedir. Ülkemizde geofoam bloklar ilk defa İstanbul Çevre

\*<sup>1</sup> Doç.Dr., Okan Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, tolga.ozer@okan.edu.tr

<sup>2</sup> İnşaat Mühendisliği Uygulamaları Sorumlusu, Austrotherm Türkiye, emre.akinay@austrotherm.com.tr

Yolu'nun Uzunçayır çıkışının Harem yönü trafiğinin bir kısmının Acıbadem Mahallesiye yönlendirilmesi projesi kapsamında yol dolgusu olarak kullanılmışlardır. Bu projede, dolgunun inşa edileceği bölgenin yaklaşık 3.8 – 5.6 m altından geçen ve 2.2 m çapında olan ana isale hatlarına geleneksel sıkıştırılmış toprak dolgu nedeni ile aktarılacak ilave gerilmeleri önlemek adına yol dolgusu inşaatında geofom bloklar tercih edilmiştir. Dolgunun performansının değerlendirmesi amacıyla toplam dört adet plaka ekstansiyometre (oturma plakası) dolgu içerisine, bir adet dolgu tabanına ve bir adet referans ekstansiyometre de dolgu temel tabanına yerleştirilmiş ve düşey deformasyonlar zamana bağlı olarak ölçülmüştür. Geofom bloklardan oluşan yol dolgusunun ölü yükler altında inşaat sonrası deformasyonu toplam geofom dolgu yüksekliğinin %0.5'i kadar olup, tasarımda kullanılan blokların elastik birim boy kısalması sınırı olan %1 den küçüktür. Geofom blokların yol dolgusunda tercih edilmeleri sayesinde isale hatlarının deplasman maliyeti önlenmiş ve inşaat sırasında hatlarda bir servis kaybı olmadan imalat tamamlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Geofom blok, Arazi enstrümantasyonu, Plaka ekstansiyometre, Aletsel gözlem.

## 1. GİRİŞ

Genleştirilmiş polistiren blok (geofom blok)  $11.2 \text{ kg/m}^3$  (EPS12) ila  $45.7 \text{ kg/m}^3$  (EPS46) arasında değişen yoğunluklarda üretilen (ASTM D6817, 2015), geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılan hafif ve kapalı gözenekli bir malzemedir (ASTM D4254, 2016). Hafif malzemeler arasında geofom bloklar yüksek mukavemet/yoğunluk oranına sahip olmalarından dolayı geoteknik mühendisliğinde çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadırlar. Bu uygulama alanlarından en yaygın olanı oturma potansiyeli yüksek killi zeminler üzerine inşa edilen otoyol dolgularının inşasıdır. Bu tür zeminler üzerine geleneksel sıkıştırılmış toprak dolgu kullanılarak inşa edilecek otoyol dolgularının imalatından önce yerel zemin koşullarının uygun bir zemin iyileştirme tekniği ile iyileştirilerek toplam-farklı oturmalara ve stabiliteye karşı önlemler alınmalıdır.

Alternatif olarak, zeminde herhangi bir iyileştirilmeye gerek duyulmadan, stabilite ve toplam oturma problemlerine sebebiyet vermeden geleneksel sıkıştırılmış toprak dolgunun yaklaşık %1 ağırlığına sahip geofom bloklar yol dolgusu imalatında kullanılırlar (Özer, 2011; Özer ve diğ., 2012). Toplam konsolidasyon oturmasını önlemek amacıyla ilk defa 1972 yılında Norveç Karayolları İdaresi tarafından kullanılan geofom teknolojisi (Aabø, 2011), günümüzde dünyanın çeşitli ülkelerinde otoyol ve köprü yaklaşım dolgularının inşasında toplam ve farklı oturmaları önlemek amacıyla kullanılan, olgunlaşmış bir teknolojidir (Thompsett ve diğ., 1995; Beinbrech ve Hillmann, 1997; Perrier, 1997; Bartlett ve diğ., 2000; Damtew vd., 2011; Duškov ve Nijhuis, 2011; Herle, 2011; Kubota, 2011; Papacharalampous ve Sotiropoulos, 2011; Spasojević ve diğ., 2011; Youwai ve diğ., 2011).

Zayıf zemin güzergâhlarına inşa edilecek olan otoyol dolgularının yanı sıra, gömülü altyapılar üzerine inşa edilecek olan otoyol dolguları da özel çözümler gerektirmektedirler. Geleneksel toprak dolgudan mevcut sığ gömülü altyapı tesislerine aktarılacak ilave gerilmeler yapısal hasarlara neden olabilmektedir. Bu tür altyapı tesislerini dolgu inşasından önce deplase etmek projelere hem ilave maliyet getirmekte hem de projenin tamamlanma süresini önemli ölçüde geciktirmektedir. Bunun yerine hem deplasman

*Geofoam Blok Yol Dolgusunun Kısa Vade Performansının Aletsel Gözlemler Işığında Değerlendirilmesi*

maliyetlerini önlemek hem de gömülü altyapılara gelebilecek yapısal zararlar ve sonucunda oluşacak servis kaybının önüne geçmek için bu tür altyapılar üzerine inşa edilecek dolgularda geofoam bloklar tercih edilirler (Bartlett ve diğ., 2000; Farnsworth ve diğ., 2008).

Dünyanın pek çok ülkesinde geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılan geofoam teknolojisi ülkemizde henüz yaygın bir kullanım alanına sahip değildir. Bununla birlikte, son yıllarda malzemenin geleneksel yöntemlere göre avantajları konusunda farkındalık artmış ve ilk geofoam uygulaması 2012 yılında hayata geçmiştir (Aliyazıcıoğlu ve Özer, 2015; Aliyazıcıoğlu ve Özer, 2016). Bu ilk projede geofoam bloklar mevcut bir otopark yapısı üzerinde betonarme taşıyıcı sisteme ilave yükler getirmeden düz/yeşil çatı ve araç ring yolu dolgusu olarak tasarlanmış ve hizmete açıldığı günden günümüze servis yükleri altında tasarım kriterine uygun hizmet vermektedir (Aliyazıcıoğlu ve Özer, 2016). Geleneksel toprak dolgu yerine kullanılan geofoam bloklar sayesinde mevcut otopark yapısının taşıyıcı sisteminde herhangi bir yapısal iyileştirme maliyetine gerek duyulmadan düz/yeşil çatı ve araç ring yolu dolgusu tamamlanmıştır (Aliyazıcıoğlu ve Özer, 2015; Aliyazıcıoğlu ve Özer, 2016). 2012 yılında yapılan bu uygulamadan sonra, ülkemizde geofoam uygulamalarına yönelik ilgi artmış ve günümüze kadarki süreçte pek çok bina içi hafif dolgu uygulamaları statik ve mimari ofisler tarafından hayata geçirilmiştir.

Ülkemizdeki ilk geofoam yol dolgusu ise İstanbul Çevre Yolu'nun Uzunçayır çıkışının Harem yönünden gelen trafiğin bir kısmının Acıbadem Mahallesine yönlendirilmesi amacıyla (Şekil 1) inşa edilerek Nisan 2017'de trafiğe açılmıştır (Özer ve diğ., 2017). Bu proje kapsamında geofoam bloklar, yol dolgusu temel seviyesinin yaklaşık 3.8 – 5.6 m altından geçen iki adet 2.2 m çapında ana isale su hattına toprak dolgu inşası nedeni ile ilave gerilmeler uygulamamak adına kullanılmıştır (Şekil 2).

Proje trafiğe açılmadan önce, geofoam yol dolgusunun inşaat adımlarının detayları önceki vaka analizi çalışmasında ele alınmıştır (Özer ve diğ., 2017). Geofoam blokların geleneksel sıkıştırılmış toprak dolgu yerine yol dolgusunda tercih edilmeleri sayesinde isale hatlarının deplasman maliyeti önlenmiş ve inşaat sırasında hatlarda bir servis kaybı olmadan imalat tamamlanmıştır (Özer ve diğ., 2017).



**Şekil 1.** Geofoam Blok Yol Dolgusu Yer Bulduru Haritası



Şekil 2. Geofam Blok Yol Dolgusu ve İsale Hatlarının Temsili Görünümü

Ülkemizde inşa edilen bu ilk geofam yol dolgusunun projede ele alınan tasarım kriterlerine göre performansının değerlendirilmesi amacıyla inşaat sırasında bir enstrümantasyon programı uygulanmıştır. Bu amaçla dolgu içerisine dört adet ve dolgu temelinde bir adet olmak üzere toplam beş adet manyetik ekstansiyometre (oturma plakası) ve bir adet temel tabanından 50 cm aşağıya referans ekstansiyometre yerleştirilmiştir. Düşey deformasyonlar hem inşaat sırasında hem de yolun trafiğe açılmasını takip eden kısa dönemde ölçülmüştür. Bu çalışmada aletsel gözlemler ışığında elde edilen geofam yol dolgusunu kısa vade performansı incelenmiş, uzun vade performansı için ise bir projeksiyon sunulmuştur.

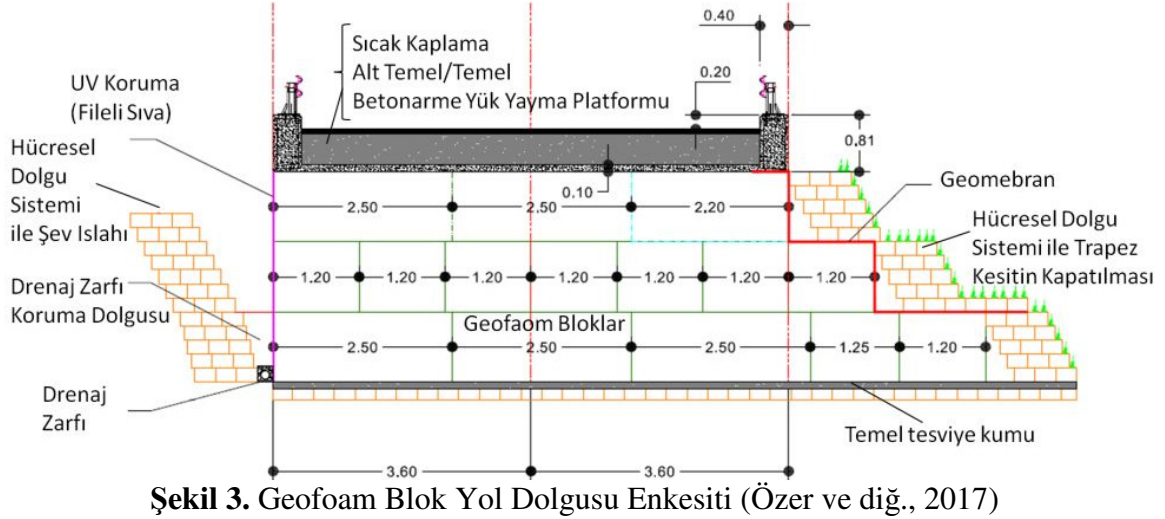
## 2. TASARIM DETAYLARI VE PROJEDE KULLANILAN GEOFOAM BLOKLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

1972'deki ilk geofam otoyol uygulamasını takiben tasarım şartnameleri de yayınlanmaya başlanmıştır. İlk olarak Norveç Yol Araştırma Laboratuvarı tarafından konulan şartnameyi (NRRL, 1992) Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Otoyol Araştırma Birliği (NCHRP) şartnamesi izlemiş (Stark ve diğ., 2004a; 2004b) ve Avrupa EPS üreticileri Birliği tarafından da şartname ortaya konmuştur (EUMEPS, 2014).

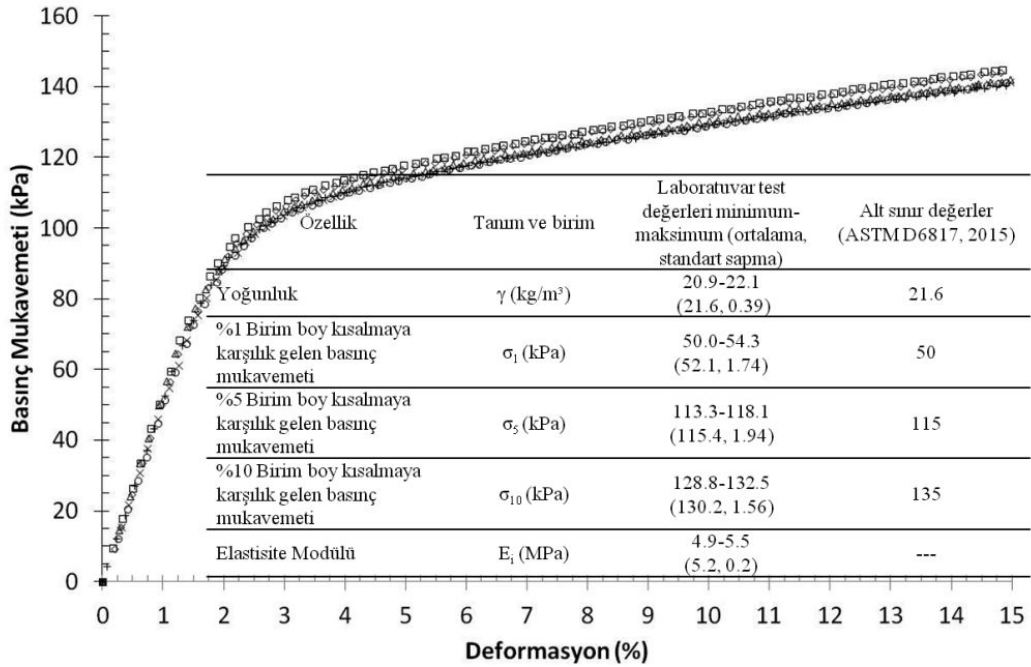
Bu proje kapsamında NCHRP tasarım şartnamesine göre projelendirme yapılmıştır. Buna göre tasarım aşamasında geofam blokların dış (oturma, taşıma gücü, şev stabilitesi, dış sismik stabilite, hidrostatik ötelenme ve kaldırma gücü analizleri) ve iç (blok yerleşimi ve blok ara yüzey mukavemetleri, hidrostatik kayma, iç sismik stabilite) stabilite analizleri ortaya konmuştur. Bu analizler neticesinde ölü ve hareketli yükler altında sistemde kullanılacak olan geofam blok yoğunluğu  $22 \text{ kg/m}^3$  (EPS22) olarak tasarlanmış ve sahada uygulanan bir kesit Şekil 3'de verilmiştir (Özer ve diğ., 2017). Saha imalatları ve blokların sahaya nakilleri aşamalarında hem sahadan hem de üretim tesisinden alınan 50 mm x 50 mm x 50 mm boyutlarındaki altı farklı numune üzerinde ASTM D1621'e göre yapılan basınç deneyleri neticesinde (ASTM D1621, 2010) elde edilen gerilme – şekil değiştirme eğrileri Şekil 4'de verilmiştir. Şekil 4'te ayrıca deney sonuçları ile ASTM D6817'nin EPS22 için istediği asgari mekanik özellikler de karşılaştırılmıştır (Özer ve diğ., 2017).



## Geofoam Blok Yol Dolgusunun Kısa Vade Performansının Aletsel Gözlemler Işığında Değerlendirilmesi



Şekil 3. Geofoam Blok Yol Dolgusu Enkesiti (Özer ve diğ., 2017)



Şekil 4. EPS22'nin Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrileri (Özer ve diğ., 2017)

### 3.PROJE İMALAT AŞAMALARI

Projeye ait imalat aşamalarına ve blok yerleşimlerine ilişkin detaylar önceki çalışmada ele alınmıştır (Özer ve diğ., 2017). Dolayısı ile, bu çalışmada aletsel gözlemlerin yorumlanması için imalat sırasında takip edilen adımlar özet olarak Şekil 5'de sunulmuştur. Geofoam blok otoyol dolgusu sırası ile temel tesviye kumunun serilip sıkıştırılması (Şekil 5a), akabinde blok yerleşim planlarına göre geofoam blokların yerleştirilmesi (Şekil 5a-5c), son sıra geofoam bloklar üzerine betonarme yük yayma platformunun inşası (Şekil 5ç), yol alt temel/temel malzemesinin iki kademe şeklinde serilerek sıkıştırılması (Şekil 5d-5f), üzerine sıcak kaplamanın imalatı (Şekil 5g-5h) ve son olarak yol korkuluklarının montajı aşamalarından sonra trafiğe açılmıştır.



**Şekil 5.** Geofoam Blok Yol Dolgusunun İmalat Aşamaları (a) Temel Tesviye Kum Tabakası Serilerek Blok Yerleşimine Başlanması (b-c) Blok Yerleşim Planına Göre İmalatın Tamamlanması (ç) Betonarme Yük Yayma Platformunun İnşası (d-f) Yol Alt Temel/Temel Malzemesinin İki Kademede Serilerek Sıkıştırılması (g-h) Alt Temel Üzerine Sıcak Kaplamanın İmalatı

#### 4.OTURMA PLAKALARININ MONTAJI VE KISA VADE PERFORMANS DETAYLARI

Geofoam blok yol dolgusunun hem inşaat sonrası yakın vade performansını hem de yolun ekonomik ömrü boyunca uzun vade performansını değerlendirmek adına mıknatıslı oturma plakaları kullanılmıştır. Bu tipteki oturma plakaları I-15 otoyolunun yeniden inşası projesinde başarı ile kullanılmışlardır (Bartlett ve diğ., 2000; Farnsworth ve diğ., 2008).

Dolgunun inşaat sırası ve sonrasındaki deformasyonlarını ölçmek ve saha performansını tasarım kriteri ile kıyaslamak adına dolgu içerisine toplam dört adet ve dolgu temelinde ise bir adet manyetik ekstansiyometre (oturma plakası) yerleştirilmiştir. Ayrıca, bir adet referans ekstansiyometre (datum) temel tabanından 50 cm derinliğe yerleştirilmiştir (Şekil 6a). Bu sayede geofoam blok dolgu sisteminin her bir katmanında, betonarme yük yayma platformu ile geofoam blok ara yüzünde, temel tesviye kumu ve ilk sıra geofoam blok ara yüzünde ve temelde meydana gelen deformasyonlar belirlenmiştir.

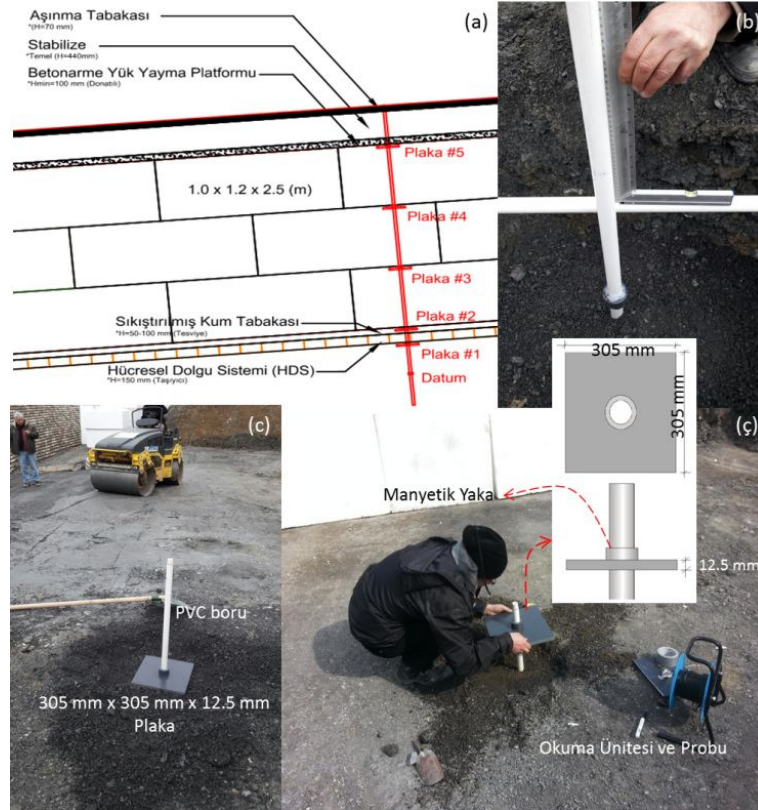
Manyetik ekstansiyometreler 305 mm (en) x 305 mm (boy) x 12.5 mm (kalınlık) boyutlarında PVC'den imal edilmiş bir plakadan ve bu plakaya monte edilmiş 33.5 mm iç çapında ve 60 mm dış çapında manyetik bir yakadan oluşmaktadır (Şekil 6c, 6ç). Bu plakalar dolgunun temel seviyesinden başlayıp (Plaka #1, Şekil 6a, 6c), temel tesviye tabakası içerisine (Plaka #2, Şekil 6a, 6ç), birinci ve ikinci sıra geofoam blok ara yüzüne (Plaka #3, Şekil 7), ikinci ve üçüncü sıra geofoam blok ara yüzüne (Plaka #4, Şekil 7) ve geofoam blok ile betonarme yük yayma platformu ara yüzüne (Plaka #5, Şekil 8) yerleştirilmiştir. Ayrıca, temel seviyesinden yaklaşık 1 m kazı yapılarak temel seviyesinden 50 cm aşağıda olacak şekilde PVC boru üzerine referans (datum) mıknatısı

## Geofoam Blok Yol Dolgusunun Kısa Vade Performansının Aletsel Gözlemler Işığında Değerlendirilmesi

yerleştirilmiştir (Şekil 6a, 6b). Bu referans mknatısı plakların üzerine monte edilmiş manyetik yakarın aynısıdır ve PVC borunun olası hareketlerini kayıt altına almak amacıyla yerleştirilmiştir.

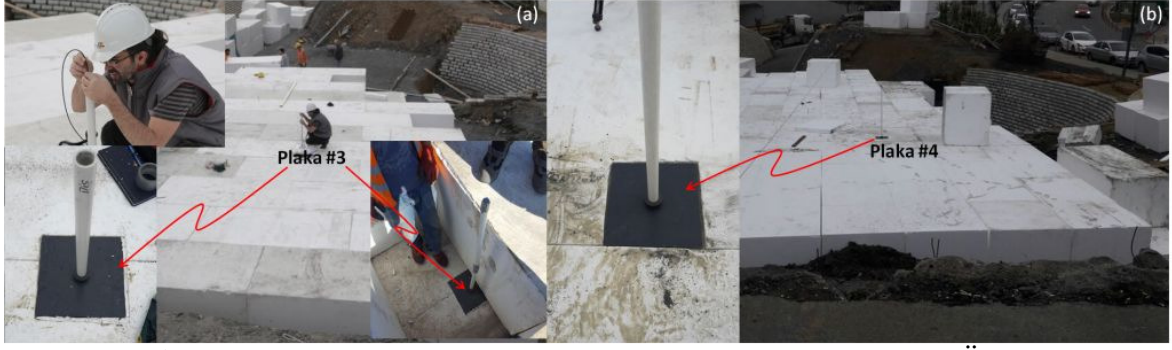
Oturma plakaları manyetik yakaların olduğu boşluktan (Şekil 6ç) serbestçe PVC boruya geçirilerek dolgu içerisindeki yerlerine yerleştirilmişlerdir (Şekil 6, 7, 8). PVC borunun geofoam bloklar içerisinde geçmesi için sahada sıcak tel aparatı ile blokların uygun yerleri kesilerek düşey boşluk yaratılmış ve buradan PVC borular (manşonlar vasıtasıyla ek yapılarak) dolgu yüksekliği boyunca monte edilmiştir. Geofoam blok ara yüzlerine gelecek oturma plakaları üzerindeki geofoam blok ile tam temas sağlayacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 7, 8). Oturma plakasının yerleştirileceği geofoam blok yüzeylerinde 310 mm x 310 mm x 12.5 mm boyutlarında boşluklar kesilerek plakaların bu boşluklara oturması sağlanmıştır (Şekil 7).

Son sıra geofoam bloklar ile betonarme yük yayma platformu arasında yerleştirilen oturma plakası üzerine plakanın beton ile aderansını önlemek için üzerine naylon kaplama yapılmıştır (Şekil 8). Böylelikle geofoam blok deformasyonu ile birlikte plakada hareket edebilmiştir. Ayrıca, son sraya yerleştirilen oturma plakası üzerine PVC borunun da beton ile temasını önlemek amacıyla bir HDPE muhafaza borusu yerleştirilmiş (Şekil 8) ve betonarme platform imal edilip prizini aldıktan sonra muhafazanın betonarme platform üzerinde kalan kısmı kesilmiştir. Muhafaza borusunun beton yerleştirme işlemleri sırasında yer değiştirmemesi için çelik profillerden bir ayak yapılmıştır (Şekil 8).



**Şekil 6.** Oturma Plakaları Yerleşimi (a) Geofoam Blok Otoyol Dolgusu Oturma Plakası Yerleşim Planı (b) Temel Seviyesinden 50 cm Aşağıda Yerleştirilen Referans (Datum) Mknatısı (c) Temel Tesviyesi Tamamlanıp Sıkıştırılma İşlemi Sonrasında Yerleştirilen Plaka#1 (ç) Temel Tesviye Kumu İçersine Yerleştirilen Plaka #2





**Şekil 7.** Oturma Plakaları Konumları (a) 1. Sıra Geofoam Bloklar Üzerine Yerleştirilen Plaka #3'ün Konumu ve İnşaat Sırasında Okumaların Alınması (b) 2. Sıra Geofoam Bloklar Üzerine Yerleştirilen Plaka #4'ün Konumu



**Şekil 8.** Son Sıra Geofoam Bloklar Üzerine Yerleştirilen Plaka #5'in Konumu

Betonarme yük yayma platformunun üst kotundan başlayıp sıcak kaplamanın yüzeyine kadar hem borunun stabilize alt temel/temel malzemesi ve sıcak kaplama ile temasını önlemek ve hem de PVC boruyu taşıt lastik yüklerine karşı korumak adına dökme demirden bir rögar ve kapağı monte edilmiştir (Şekil 9). İlk referans miktatısının yerleştirilmesi ile başlayan (Şekil 6) ve sıcak kaplamanın tamamlanması ile son bulan süreçte (Şekil 9) plakaların yol kırmızı hattına dik yerleştirilmesi için azami dikkat ve özen gösterilmiştir (Şekil 9).



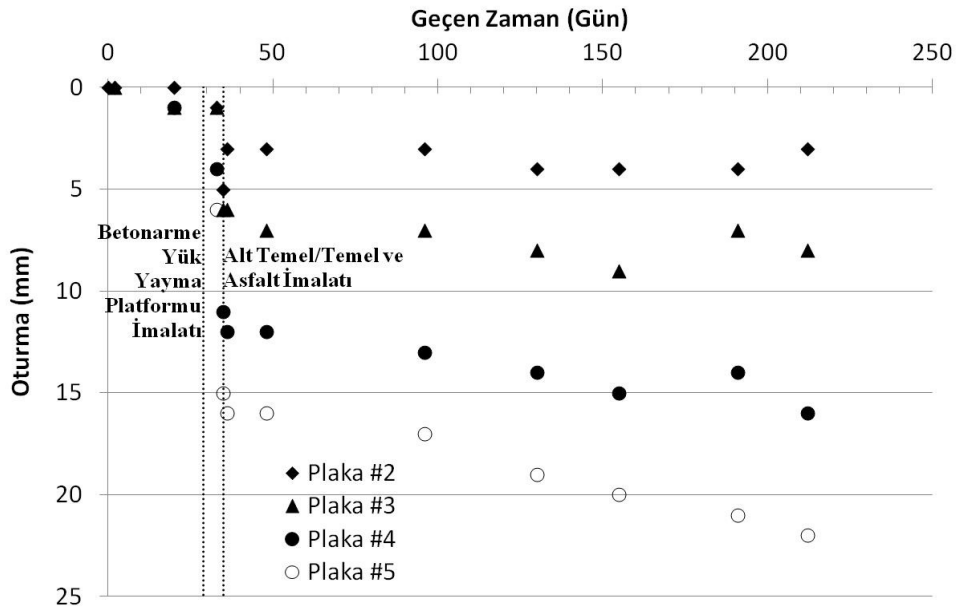
**Şekil 9.** Dökme Demirden Rögarın Yerleştirilerek Aletsel Gözlem İstasyonunun Tamamlanması



Dolgu içerisindeki oturma plakalarının yerlerinin belirlenmesi için ucunda mıknatısa duyarlı bir iletken bulunan, üzeri metrik olarak derecelendirilmiş kabloya bağlı okuma probu kullanılmaktadır (Şekil 6ç, Şekil 7). Okuma probu ve kablosu arazide taşıma ve okuma kolaylığı sağlaması açısından makaraya sarılmıştır (Şekil 6ç). Manyetik oturma plakalarının yerleri okuma probu ile belirlenerek (Şekil 6ç, Şekil 7) bir önceki okumalara göre rölatif deformasyonlar ölçülebilmektedir. Okuma probu sayesinde her bir manyetik oturma plakasının yeri 3 mm hassasiyetinde belirlenebilmektedir.

İnşaat sırasında ve yolun trafiğe açıldığı 14 Nisan 2017 tarihinden itibaren alınan deformasyon ölçümleri Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10'daki 0 gün okuması ilk geofoam bloğun yerleştirildiği tarih olan 9 Mart 2017'de alınmıştır. 9 Mart 2017 tarihi ile 7 Nisan 2017 tarihi arasında geçen sürede geofoam blok imalatları tamamlanmıştır. 7 Nisan 2017 tarihinde betonarme yük yayma platformunun imalatı tamamlanmış (Şekil 11, 29. gün) ve imalatın tamamlanmasını takip eden 4. günde (11 Nisan 2017) platformun ölü yükleri altındaki deformasyon ölçümleri alınmıştır. İlk geofoam blok yerleşimini takip eden 35. günde (13 Nisan 2017) yol alt temel/temel katmanları ile sıcak kaplama imalatı tamamlanmış ve otoyol dolgusunun tüm bu ölü yükler altındaki deformasyon ölçümleri alınarak 14 Nisan 2017'de trafiğe açılmıştır. Yolun trafiğe açılmasından sonra servis yükleri altındaki deformasyon ölçümleri alınmaya devam edilmiştir. 6 Ekim 2017 tarihine kadar (imalat başlangıcından itibaren 212. gün) alınan deformasyon ölçümleri Şekil 10'da sunulmuştur.

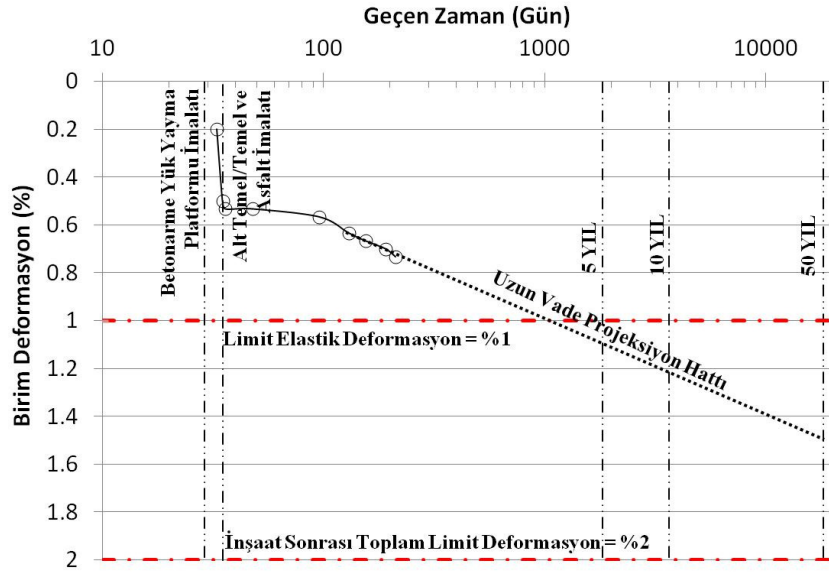
Referans mıknatısı ve Plaka#1'de herhangi bir hareket gözlemlenmediğinden dolayı Şekil 10'da sadece Plaka#2 ila Plaka#5'de gözlemlenen deformasyonlar verilmiştir. Plaka #2 geofoam blok yol dolgusunun altında yer alan temel tesviye kumu içerisinde yer almaktadır. Geofoam blok yol dolgusuna etki eden ölü yükler (betonarme yük yayma platformu, yol alt temel/temel ve sıcak kaplama) altında Plaka #2'de 3 – 4 mm deformasyon okuması ölçülmüştür. Bu ölçümler okuma probunun cihaz hata sınırı olan 3 mm civarında olmakla birlikte sistemin ölü yükleri altındaki kum tesviye tabakasının ani oturması olarak yorumlanmıştır. Betonarme yük yayma platformu imalatına kadar Plaka #2, #3 ve #4'de geofoam blokların hafif olmalarından dolayı kayda değer bir deformasyon okuması alınmamıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Kümülatif Deformasyon Okumaları

Geofoam bloklar üzerine betonarme yük yayma platformu inşası sonrasında toplam deformasyon 6 mm ve alt temel/temel ve sıcak kaplama inşası sonrasında ise 16 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 10, Plaka #5). Ölü yükler altında inşaatın tamamlanması sonrası meydana gelen bu deformasyon toplam geofoam dolgu yüksekliğinin %0.5'i kadardır ki bu değer inşaat sonrası izin verilen limit elastik deformasyon limitinin (%1) altındadır (Şekil 11).

Yolun servise açılmasından itibaren uzun vade performans gözlemi programı kapsamında deformasyon okumalar alınmış ve 212. günde (6 Ekim 2017) alınan deformasyon değerinin 22 mm mertebelerinde olduğu görülmüştür (Şekil 10). Bir başka deyişle, inşaat sonrasında günümüze kadar geçen süre zarfında yaklaşık %0.2 akma deformasyonu (creep) meydana gelmiştir. Bu kısa süre zarfında toplanan verilerden yolun servis ömrü boyunca oluşacak toplam deformasyonlar için bir tahminde bulunulmuş ve Şekil 11'de verilmiştir. Uzun vadede performans tahmini için oluşturulan projeksiyon hattı yolun trafiğe açılmasını takip eden süreçte altı farklı zamanda alınan oturma değerlerinin eğiliminden yola çıkarak oluşturulmuştur (Şekil 11). İnşaat sonrasında alınan akma deformasyon ölçümlerinin eğiliminin aynı şekilde devam etmesi durumunda dolgunun ekonomik ömrü boyunca tahmin edilen akma deformasyonu yaklaşık %0.8 mertebelerinde kalacaktır (Şekil 11). Dolayısı ile yapının ekonomik ömrü boyunca servis yükleri altında tahmin edilen toplam deformasyon değerinin (inşaat sonrası deformasyon + uzun vade akma deformasyonu) izin verilen deformasyon değeri olan %2'nin altında olması beklenmektedir (Şekil 11).



Şekil 11. Kümülatif Birim Deformasyon ve Uzun Vade Projeksiyon Hattı

## 5.SONUÇLAR

Ülkemizde inşa edilen ilk geofoam blok yol dolgusunun inşaat süresi ve trafiğe açıldıktan sonraki geçen süre zarfında aletsel gözlemler ışığında kısa vade performansı ele alınmıştır. Kısa vade performans verileri servis yükleri altında geofoam blokların izin verilebilir elastik limit deformasyonunun altında kaldığını göstermiştir. Bu kısa vade performans verilerinin ışığı altında uzun vadede beklenen deformasyonların mertebesi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Her ne kadar şimdiye kadar kısıtlı süre zarfında alınan okumaların ışığında uzun vade için tahmin edilen toplam oturmalar izin verilebilir toplam değer

altında gözükmese de aletsel gözlem programının devam ettirilerek kayıt altına alınması gerekmektedir. Bu veriler ülkemizde inşa edilecek olan geofoam yol, otoyol ve köprü yaklaşım dolgularının inşasında malzeme saha performansının tasarıma yansıtılmasına ışık tutacaktır.

## **TEŞEKKÜR**

Ülkemizdeki bu ilk geofoam yol dolgusu projesinin tamamlanmasında birçok kurum ve kuruluşun katkısı söz konusudur. Yazarlar projenin hayata geçirilmesindeki değerli katkılarından dolayı HDS Mühendislik, Movea-Geosentetiklerle Mühendislik, Akış GYO A.Ş., Sinpaş Yapı End. Tic. A.Ş., Aderanza Grup Yapı ve Austrotherm Türkiye'ye teşekkür ederler.

## **KAYNAKLAR**

- [1] ASTM Standard D6817. (2015), “Standard specification for rigid cellular polystyrene geofoam”, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.
- [2] ASTM Standard D4254. (2016), “Standard Terminology for Geosynthetics”, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA
- [3] Özer, A. T., Kiziroğlu, S., Akyol, Y., ve Ateş, E. (2012), “Yumuşak killi zeminler üzerine inşa edilecek köprü yaklaşım dolguları için zemin iyileştirme metotlarının ekonomik analizi”, Beşinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, G5 2012, Mayıs 24-25, 2012, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 165-176.
- [4] Özer, A. T. (2011), “Yol inşaatlarında EPS blok kullanımı”, EPS Haber, EPSDER Yayın Organı, Yıl: 1, Sayı: 2, 12-13.
- [5] Aabøe, R. (2011), “40 years of experience with the use of EPS geofoam blocks in road construction”, Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, EPS 2011, June 6-8, 2011, Lillestrøm, Norway.
- [6] Thompsett, D. J., Walker, A., Radley, R. J., and Grieveson, B. M. (1995). “Design and construction of expanded polystyrene embankments. Practical design and methods as used in the United Kingdom”, Construction and Building Materials, Vol. 9, (6), 403-411.
- [7] Beinbrech, G., and Hillmann, R. (1997), “EPS in road construction—Current situation in Germany”, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 15 (1-3), 39-57.
- [8] Perrier, H. (1997), “Ultra light cellular structure-French approach”, Geotextiles and Geomembranes, Vol. 15 (1-3): 59-76.
- [9] Bartlett, S., Negussey, D., Kimble, M., and Sheeley, M. (2000) “Use of geofoam as super-lightweight fill for I-15 reconstruction”, Transportation Research Record 1736, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [10] Damtew, T., Vaslestad, J., and Refsdal, G. (2011), “Case histories with EPS geofoam embankments from eastern Norway” Proceedings of the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, EPS 2011, Lillestrøm, Norway.
- [11] Duškov, M., and Nijhuis, E. (2011), “Lightweight road embankments for the crossover og the N207 over the railway Alphen A/D Rijn-Gouda”, Proceedings of the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, EPS 2011, Lillestrøm, Norway.
- [12] Herle, V. (2011), “Design and monitoring of EPS embankment on D1 near Ivanovice in the Czech Republic”, Proceedings of the 4th International Conference on



- Geofoam Blocks in Construction Applications, EPS 2011, June 6-8, 2011, Lillestrøm, Norway.
- [13] Kubota, T. (2011), “Case history of EDO-EPS method in Japan”, Proceedings of 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, EPS 2011, June 6-8, 2011, Lillestrøm, Norway.
- [14] Papacharalampous, G., and Sotiropoulos, E. (2011), “First time application of expanded polystyrene in highway projects in Greece”, Proceedings of 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, EPS 2011, June 6-8, 2011, Lillestrøm, Norway.
- [15] Spasojević, S., Mitrović, P., Vujanić, V., Jotić, M., and Berisavljević, Z. (2011), “The application of EPS in geotechnical practice: a case study from Serbia”, Proceedings of 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, EPS 2011, June 6-8, 2011, Lillestrøm, Norway.
- [16] Youwai, S., Kongkitkul, W., Sripobink, T., and Meesamuth, N. (2011), “Application of EPS for remedial work of bridge bearing unit on Bangkok Soft Clay: A case study”, Proceedings of the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, EPS 2011, June 6-8, 2011, Lillestrøm, Norway.
- [17] Farnsworth, C. B., Bartlett, S. F., Negussey, D., and Stuedlein, A. W. (2008), “Rapid construction and settlement behavior of embankment systems on soft foundation soil”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.134 (3), 289-301.
- [18] Aliyazıcıoğlu, H., ve Özer, A. T. (2015), “Ülkemizdeki ilk geofoam uygulaması: Medipol Mega Hastaneler kompleksi otopark yapısı üzeri hafif dolgu sistemi”, *EPS Haber*, EPSDER Yayın Organı, Yıl 5, Sayı 19, 34-36.
- [19] Aliyazıcıoğlu, H., ve Özer, A. T. (2016), “The use of EPS-block geofoam as a lightweight fill in flat roof applications: A case study”, 6th European Geosynthetics Congress, Ljubljana, Slovenia, September 25-28, 2016, 743-750.
- [20] Özer, A. T., Danyıldız, E., Akınay, E., Laçın, L., Alioğlu, Ö. K., İnallı, D., Vanlı, S., Dönmez, Ç., Özaydın, İ. K., Çelik, A., İreç, U., Tuğral, M. A., Marangoz, D. ve Marangoz, K. (2017), “Geofoam blokların gömülü boru hatları üzerine inşa edilecek yol dolgularının inşasında kullanılması: Bir vaka analizi”, *Yedinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, G7 2017*, Mayıs 11-12, 2017, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 137-152.
- [21] Norwegian Road Research Laboratory (NRRL). (1992), “Use of expanded polystyrene in road embankments-Design, construction and quality assurance”, Public Roads Administration, Oslo, Norway.
- [22] Stark, T.D., Arellano, D., Horvath, J.S. & Leshchinsky, D. (2004a), “Geofoam applications in the design and construction of highway embankments”, NCHRP Web Document 65 (Project 24- 11), Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [23] Stark, T.D., Arellano, D., Horvath, J.S. & Leshchinsky, D. (2004b), “Guideline and recommended standard for geofoam applications in highway embankments”, NCHRP Report 529, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- [24] European Manufacturers of Expanded Polystyrene (EUMEPS) (2014), “EPS white book, EUMEPS background information on standardisation of EPS”, Version: 15/10/2014.
- [25] ASTM Standard D1621. (2010), “Standard Test Method for Compressive Properties Of Rigid Cellular Plastics”, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.