

GEOFOAM BLOKLARIN İSTİNAT DUVARI UYGULAMALARINDA KULLANILMASI

THE USE OF GEOFOAM BLOCKS IN RETAINING WALL APPLICATIONS

Abdullah Tolga ÖZER¹, Emre AKINAY², Emrah TÜZER³

ÖZET

Genleştirilmiş polistiren (EPS) blok (geofoam blok) zayıf zeminler üzerine inşa edilen otoyol dolgularının yanı sıra istinat yapılarının geri dolgularında da kullanılmaktadır. İstinat duvarı geri dolgusunda iki farklı blok yerleşim planı, bir başka deyişle iki farklı uygulama tekniği söz konusudur. Birinci teknik, geri dolgunun tamamen geofoam bloklardan teşkil edilerek istinat yapısına gelen yanal yüklerin ihmal edilebilir mertebelere inmesinin amaçlandığı sıfır toprak basıncı (Zero Earth Pressure, ZEP) konsepti olarak bilinmektedir. İkinci teknik ise, istinat yapısının hemen arkasında belirli kalınlıkta geofoam blok dolgu ve geri kısmında ise toprak dolgunun kullanıldığı konsepttir. Geofoam blokların sıkışabilir içerik olarak kullanıldığı bu teknik yanal basınçların azaltılması (Reduced Earth Pressure, REP) konsepti olarak bilinmektedir. Bu çalışmada, ülkemizde ZEP konseptine göre inşa edilmiş bilinen ilk geofoam blok istinat duvarı geri dolgusunun imalat adımları, uzun vade performansını gözlemlemek için yerleştirilen enstrümantasyonlar (bir adet miknatıslı oturma plakası ve iki adet toplam basınç hücresi), imalat aşaması ve sonrasında ölçülen performans değerleri tartışılmıştır. İstinat yapısı geri dolgusu aynı zamanda bir yol dolgusu olarak da servis vermek amacıyla tasarlanarak Kasım 2017'de trafiğe açılmıştır. Yolun trafiğe açıldığı günden itibaren toplanan deformasyon verileri kullanılarak dolgunun uzun vade performansı tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geofoam Blok, İstinat Duvarı, Miknatıslı Oturma Plakası, Toplam Basınç Hücresi, Aletsel Gözlem

ABSTRACT

Expanded Polystyrene (EPS) block (geofoam block) is used in the construction of highway embankments at the soft soil sites as well as backfill applications in retaining walls. Two

¹ Doç. Dr., Okan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, tolga.ozer@okan.edu.tr (Yazışma yapılacak yazar)

² Dr., Austrotherm Türkiye, İnşaat Mühendisliği Uygulamaları Departmanı, emre.akinay@austrotherm.com.tr

³ İnş. Yük. Müh., Austrotherm Türkiye, İnşaat Mühendisliği Uygulamaları Departmanı, emrah.turer@austrotherm.com.tr

different block placement plans (two different application techniques) are used for retaining wall backfill applications. The first technique is known as zero earth pressure (ZEP) concept which is based on constructing the entire backfill with geofoam blocks to minimize horizontal pressures acting on the retaining wall to a negligible level. The second technique comprises of using geofoam blocks immediately behind the retaining wall with a limited thickness and the remaining backfill is constructed with conventional earth fill. Geofoam blocks are used as compressible inclusion in this technique is known as reduced earth pressure (REP) concept. In this study, the details of the construction of the first known ZEP concept retaining wall application of our country has been discussed. In addition, performance evaluation not only during construction but also post-construction period of the geofoam backfill has been evaluated by using the data collected by field instrumentations (a settlement magnet plate and two total pressure cells). This retaining wall backfill was also designed to accommodate live traffic loads opened to traffic on November 2017. Long-term performance predictions of the geofoam backfill has been evaluated by using the in-situ instrumentation data which has been collected since the opening the roadway to traffic.

Keywords: Geofoam Block, Retaining Wall, Magnet Extensiometer, Total Pressure Cell, In-Situ Monitoring

1. GİRİŞ

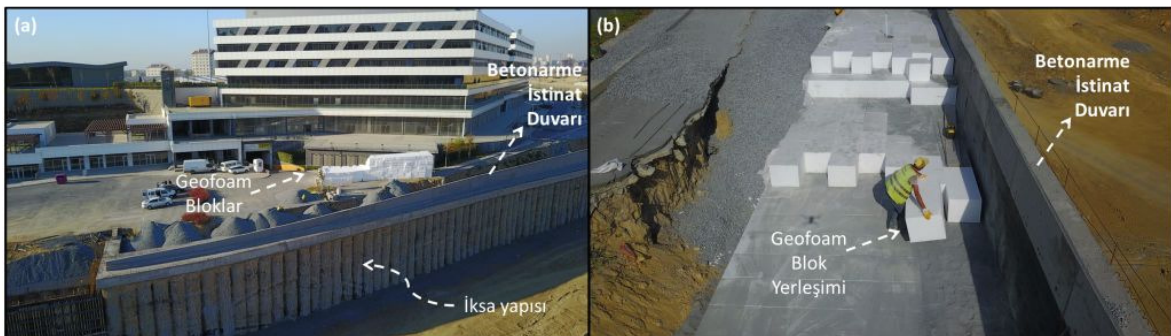
Genleştirilmiş polistiren (EPS) blok (geofoam blok) 11.2 kg/m^3 (EPS12) ilâ 45.7 kg/m^3 (EPS46) arasında değişen yoğunluklarda üretilebilen (ASTM D6817), geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılan, kapalı gözenekli, hafif bir malzemedir (ASTM D4439). Fabrikasyon bir ürün olması nedeni ile geofoam blok mühendislik özellikleri için asgarî gereklilikler ilgili standartlar tarafından (ASTM D6817, TS EN 14933) belirlenmiştir. Geofoam blokların geoteknik mühendisliği projelerinde pek çok farklı uygulama alanları bulunmaktadır (Aabøe vd., 2019).

Geofoam bloklar ilk defa 1972 yılında Norveç Karayolları İdaresi tarafından otoyol dolgusu inşasında kullanılmış olup (Aabøe, 2011), günümüzde de dünyanın çeşitli ülkelerinde taşıma gücü düşük, oturma potansiyeli yüksek killi zeminler üzerine otoyol, demiryolu ve köprü yaklaşım dolgularının inşasında kullanılmaktadır (Aabøe vd., 2019). Dünyadaki yaygın kullanımına karşın, geofoam bloklar ülkemizde ilk defa Mart-Nisan 2017'de bir yol dolgusunun inşaatında kullanılmıştır (Özer vd., 2017; Özer ve Akınay, 2017; Özer ve Akınay, 2019). Söz konusu projede İstanbul Çevre Yolu'nun Uzunçayır çıkışından Harem yönüne doğru trafiğin bir kısmının Acıbadem Mahallesiine yönlendirilmesi amaçlanmış olup, geofoam bloklar yol dolgusu temel seviyesinin altından geçen iki adet ana isale su hattına dolgu inşası nedeni ile uygulanacak ilave gerilmeleri azaltmak adına kullanılmıştır.

Geofoam blokların yaygın kullanım alanlarından biri de istinat duvarlarının geri dolgularının inşasıdır. İstinat duvarı geri dolgusu inşası için iki farklı geofoam blok uygulama konsepti tanımlanmıştır (Horvath, 2004; 2010). Bunlardan birincisi sıfır toprak basıncı (Zero Earth Pressure, ZEP) konsepti, ikincisi ise azaltılmış toprak basıncı (Reduced Earth Pressure, REP) konseptidir. ZEP konseptine göre; istinat duvarının geri dolgusu bütünü ile geofoam bloklar kullanılarak inşa edilmektedir. Geofoam bloklar kendini tutabilen ve zeminlere oranla düşük Poisson Oranlarına (0.1 ve altında) sahip

malzemelerdir. Dolayısıyla, geofom bloklar ile ZEP konsepti uyarınca inşa edilen bir istinat duvarına etkiyen yanal yükler ihmal edilebilir mertebelerde olmaktadır. Hatta ZEP konseptine göre, eğer istinat duvarı geofom blokların “sıfırlanmış” yanal yükü dışında ilave herhangi bir tasarım yükünü taşımayacak ise, istinat duvarının inşa edilmesine de gerek kalmamaktadır. ZEP konsepti, istinat duvarına gereksinimi ortadan kaldırması sayesinde, proje sahiplerine hem ilk yatırım maliyetinde hem de projenin tamamlanmasında sağladığı süre ekonomisi ile öne çıkmaktadır. Bu uygulamaya örnek olarak Miyoshi-Japonya’da bir yol dolgusuna şerit ilavesi olarak inşa edilen, yan yüzeyi 90° eğimli (dik) ve istinat duvarsız geofom blok yol dolgusu verilebilir (Kubota, 2011). ZEP konsepti uygulamalarında da deformasyonların minimum düzeyde olması istenmekte ve dolayısı ile tasarımda geofom blokların elastik limitine karşılık gelen basınç dayanımı dikkate alınmaktadır. REP konsepti ise; rijit istinat duvarı ile geleneksel sıkıştırılmış toprak geri dolgu arasına sıkışabilirliği yüksek (toprak geri dolgunun yanal itkisi nedeni ile elastik limitin ötesinde deformasyona uğrayacak) geofom bloklar (compressible inclusion: sıkışabilir içerik) yerleştirilmektedir. Toprak geri dolgunun yanal itkisi nedeni ile sıkışabilir içerikte yanal deformasyon meydana gelmekte ve bunun sonucu olarak toprak dolguda yanal gerilmeler aktif duruma yaklaşmaktadır. Ertuğrul ve Trandafir (2011) sıkışabilir içerik kalınlığının 0.7 m yüksekliğindeki rijit bir duvara etkiyen yanal gerilmeler üzerindeki etkisini laboratuvar model deneyleri ile incelemiş ve sıkışabilir içerik kalınlığının duvar yüksekliğinin %28’i olduğu koşulda duvara etkiyen yanal gerilmelerin Rankine aktif değerlerine çok yakın olduğunu rapor etmişlerdir. Sıkışabilir içerik sayesinde duvara gelen yanal basınçlar azaltılarak daha ekonomik bir istinat duvarı tasarlamak mümkündür.

Türkiye’de bilinen ilk ZEP konsepti uygulaması Ekim-Kasım 2017’de hayata geçirilmiştir. Başakşehir İlçesi, Kayaşehir Bölgesi TEM Otoyolu – Eski Edirne Asfaltı arası yol kavşak uygulama projesi 5. Etap kapsamında HRT 2 Yolu KM:0+430.00 ile HRT 4 Yolu KM:0+117.00 arası bağlantı yolları üzerinde sürdürülen viyadük ve alt geçit çalışmaları kapsamında Ø165 fore kazıklar ile imal edilen bir iksa yapısının başlık kirişi üzerine geofom bloklar kullanılarak bir yol dolgusu inşa edilmiştir (Şekil 1). Bu yol dolgusunun inşasına iksa yapısının tamamlanmasından sonra karar verilmiştir. Dolayısı ile orijinal tasarımda servis yükü olarak dikkate alınmayan bu düşey gerilme artışlarının iksa stabilitesini etkilememesi için geofom bloklar tercih edilmiştir. ZEP konsepti uyarınca gerekli olmamasına karşın, yüklenici firma bu projede geofom blokların yerleştirilmesinden önce yüksekliği 1.50 m’den başlayıp 3.60 m’ye kadar yükselen, toplam 113 metre uzunluğunda bir betonarme istinat duvarı inşa etmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Geofom blok istinat duvarı geri dolgu uygulama sahası (a) iksa yapısı ve üzerine inşa edilen istinat duvarı (b) istinat yapısı geofom blok geri dolgusu

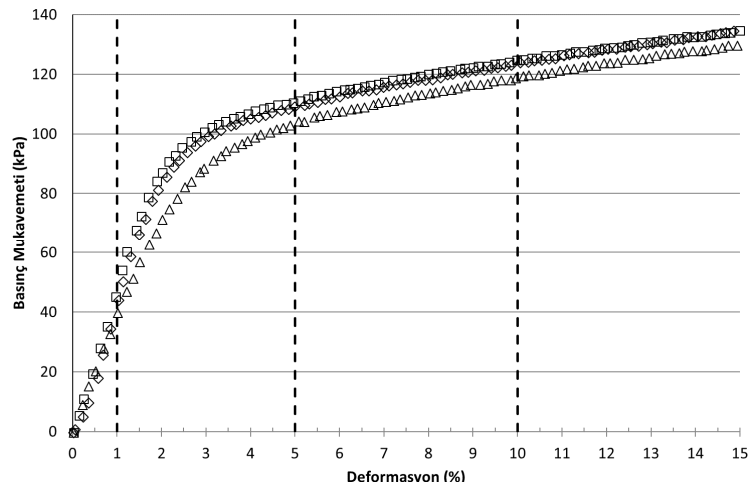
Geofoam blok dolgunun performansının değerlendirilmesi amacıyla, bir adet miknatıslı oturma plakası geofoam blokların üst yüzeyine yerleştirilerek hem inşaat sırasında hem de inşaat sonrası yolun servise açılması sonrasında zamana bağlı deformasyonlar ölçülmüştür. Ayrıca, bir adet toplam basınç hücresi istinat duvarının yüzeyine geofoam blok dolgu ile tam temas sağlayacak şekilde yerleştirilmiş ve istinat duvarına etkiyen yanıl gerilmeler ölçülmüştür. Bir toplam basınç hücresi ise geofoam blok dolgu tabanında yer alan temel tesviye kum tabakası içerisine yerleştirilerek toplam düşey gerilmeler kayıt altına alınmıştır. Bu çalışmada 8 aylık enstrümantasyon verilerinin ışığında ZEP konseptine göre tasarlanan geofoam blok yol dolgusunun kısa vade performansı değerlendirilmiştir.

2. TASARIM VE KESİT DETAYLARI

Geofoam blokların otoyol dolgusunda kullanılması olgunlaşmış bir teknoloji olup çeşitli tasarım şartnameleri yayınlanmıştır (NRTL, 1992; Stark vd.; 2004a ve 2004b; EUMEPS, 2014). Bu çalışmada ele alınan istinat duvarı geri dolgusu aynı zamanda trafik yüklerine de maruz kalacağı için otoyol dolgusu standartları kullanılarak tasarlanmıştır. Ülkemizde geofoam bloklar kullanılarak Acıbadem-İstanbul'da inşa edilen ilk geofoam otoyol dolgusunda olduğu gibi (Özer vd., 2017; Özer ve Akınay, 2017; Özer ve Akınay, 2019) bu projede de Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Otoyol Araştırma Birliği (NCHRP) tarafından yayınlanan (Stark vd.; 2004a ve 2004b) şartname kullanılmıştır.

Tasarım neticesinde servis yükleri altında kullanılacak olan geofoam blok yoğunluğu 20 kg/m³ olarak belirlenmiştir. 50 mm x 50 mm x 50 mm boyutlarındaki üç farklı küp numune üzerinde ASTM D1621 standardına göre yapılan basınç deneyi neticesinde elde edilen gerilme-şekl değiştirme eğrileri Şekil 2'de ve bu deneyde elde edilen mekanik özellikler ile ASTM D6817 standardında verilen asgarî mekanik özellikler Tablo 1'de sunulmuştur.

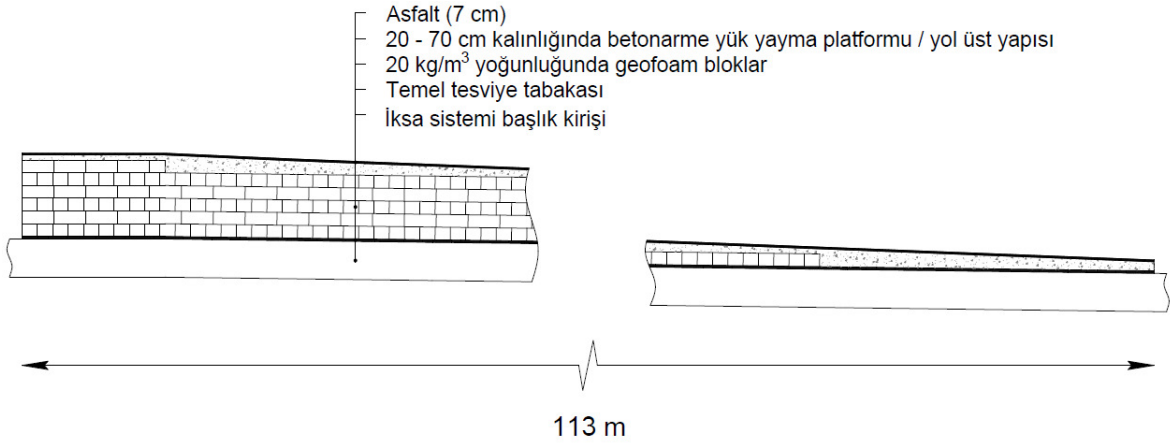
113 metre uzunluğundaki, yüksekliği 1.50 m - 3.60 m arasında değişen istinat duvarının geri dolgusu 0.5 m – 3.0 m arasında değişen yükseklikte geofoam dolgu ile rampa formunda teşkil edilmiştir (Şekil 3). Sahada uygulaması yapılan tipik en kesit ise Şekil 4'de verilmiştir. Enkesit üzerinde, detayları ilerde açıklanacak olan, arazi ölçüm cihazlarının yerleşim detayları da görülmektedir (Şekil 4).



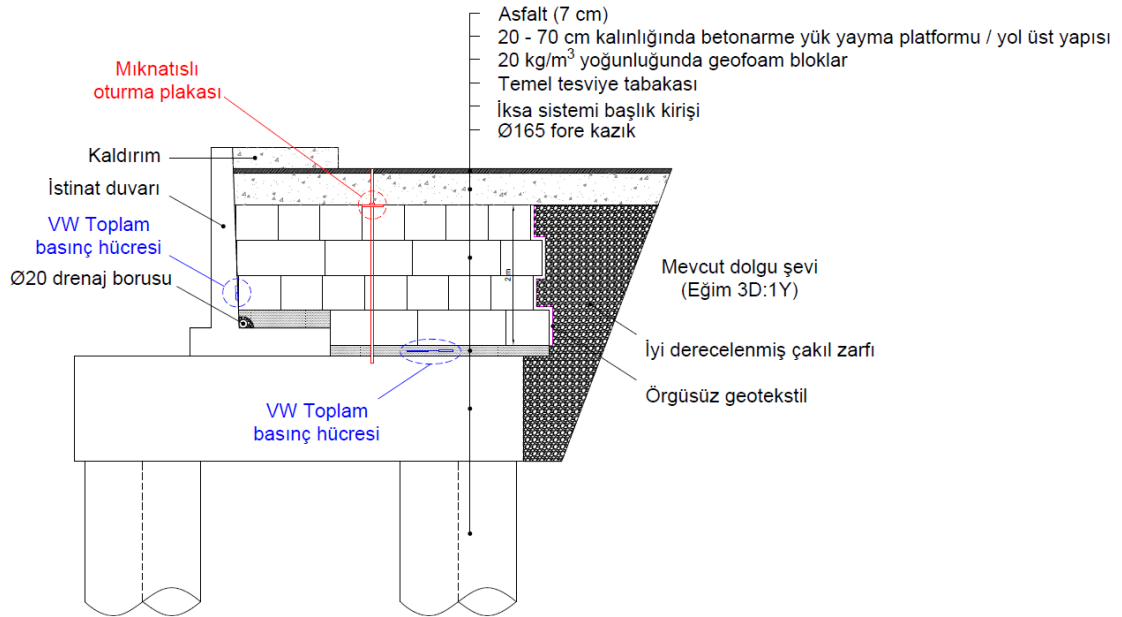
Şekil 2. Projede kullanılan geofoam blokların gerilme-şekl değiştirme davranışı

Tablo 1. Geofoam blokların mekanik özellikleri ve ASTM D6817 standardında verilen asgari değerler ile karşılaştırılması

Özellik	Tanımı ve Birim	Laboratuvar deney sonucu	ASTM D6817'de verilen ürün tanımı	ASTM D6817'de verilen asgari değerler
Yoğunluk	γ (kg/m ³)	19.2 – 19.3		18.4
%1 Birim boy kısalmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	σ_1 (kPa)	40.3 – 48.4		40
%5 Birim boy kısalmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	σ_5 (kPa)	103.1 – 110.7	EPS19	90
%10 Birim boy kısalmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	σ_{10} (kPa)	119.0 – 125.0		110
Elastisite Modülü	E_i (MPa)	4.0 – 4.8		---



Şekil 3. Proje boykesiti



Şekil 4. Proje tipik enkesiti

3. BLOK YERLEŞİM PLANI UYGULAMASI

Geofoam blokların sahada uygulamasına başlanmadan önce, blokların yerleştirileceği yüzey temizlenerek her türlü inşaat artığı sahadan uzaklaştırılmıştır. Temizleme işleminden sonra kalınlığı 10 cm olan, iyi derecelendirilmiş kumdan meydana gelen temel tesviye tabakası serilerek imalata başlanmıştır (Şekil 5a).

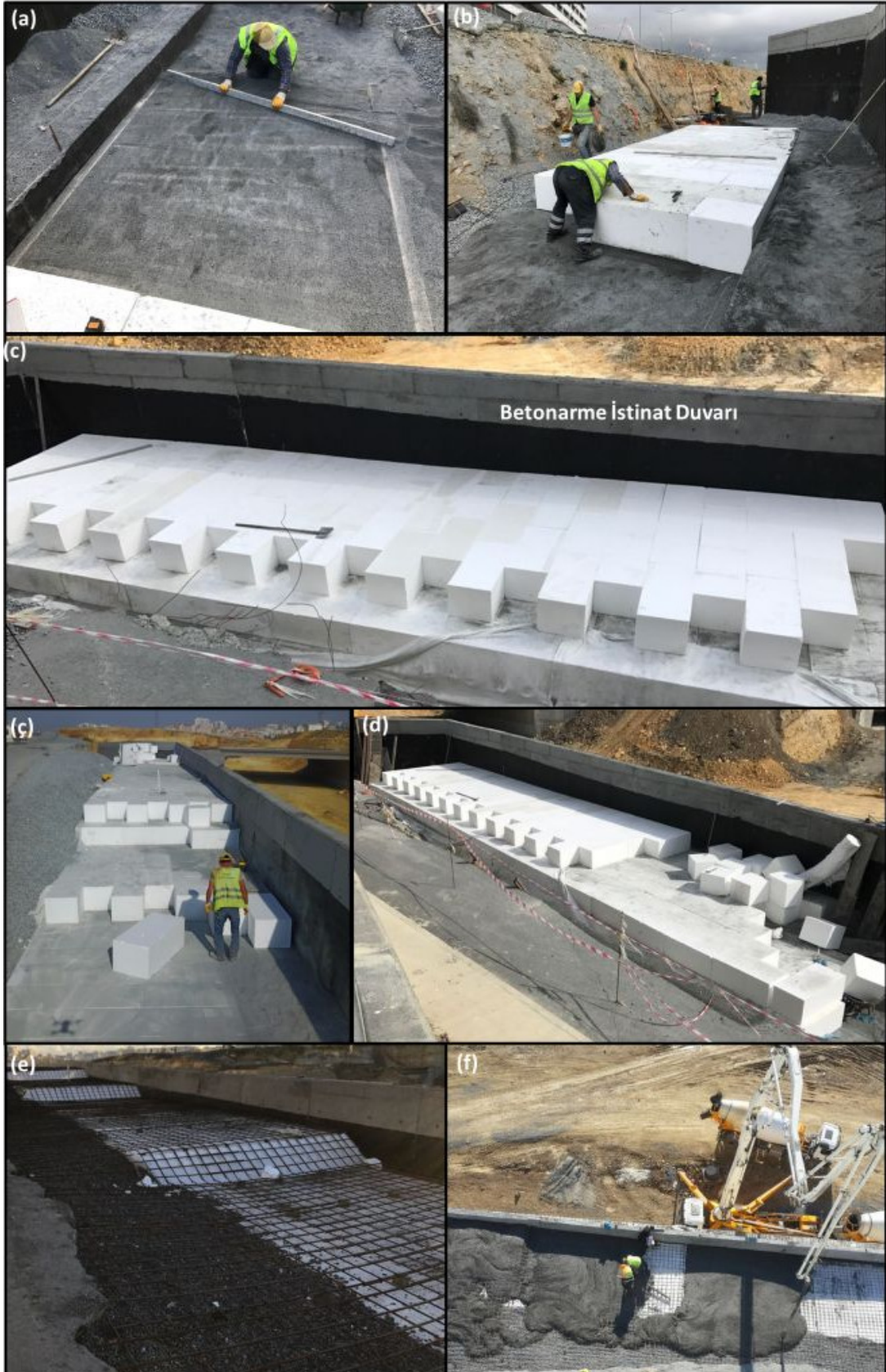
İstinat duvarı geri dolgusunun imalatında 50 cm yüksekliğinde, 60 cm genişliğinde ve 125 cm uzunluğunda (50 cm x 60 cm x 125 cm) geofoam bloklar kullanılmıştır. Blok yerleşim planı hazırlanırken, geofoam dolgu sisteminin herhangi bir sırasındaki blokların uzunlamasına olan aksları komşu sıralarda yer alan blokların uzunlamasına olan akslarına dik olacak şekilde şaşırtılarak yerleştirilmiştir. Bu şaşırtmayı sağlamak amacıyla 50 cm x 60 cm x 125 cm boyutlarındaki bloklara ek olarak 50 cm x 60 cm x 62.5 cm boyutlarında bloklar da kullanılmıştır (Şekil 5b-5d). Blok yerleşim planında herhangi bir sıradaki blokların düşey birleşim yerleri komşu sıradaki blokların düşey birleşim yerleri ile süreklilik arz etmeyecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 5c-5d).

Son sıra geofoam blok imalatının tamamlanmasının ardından, uygulama betonarme yük yayma platformunun inşasına hazır hale gelmiştir. Geleneksel geofoam otoyol dolgu inşaatlarında genellikle 10 cm kalınlığında teşkil edilen yük yayma platformu hem yol üst yapısı (alt temel ve temel tabakaları) için bir temel tabakası teşkil etmekte hem de geofoam blokları olası petrol ve türevlerinin sızıntısına karşı korumak amacıyla inşa edilmektedir (Stark vd.; 2004a ve 2004b). Geleneksel geofoam otoyol dolgularında, betonarme yük yayma platformu inşası sonrası, projede verilen kalınlıklarda ve özelliklerde, yol alt temel ve temel tabakası inşa edilir ve sonrasında sıcak kaplama uygulaması ile imalat sonlandırılır (Stark vd.; 2004a ve 2004b; Özer ve Akınay, 2019).

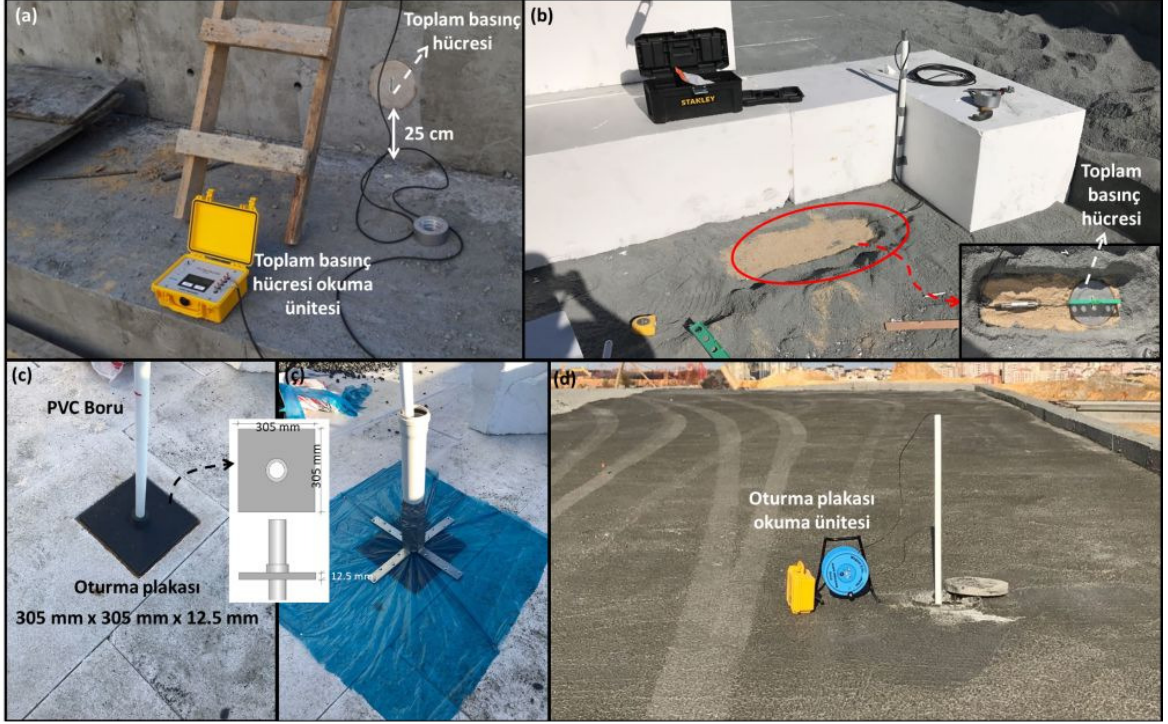
Bu projede yüklenici tarafından, uygulama alanının boyutlarını düşünülerek, proje sahasına alt temel ve temel malzemelerinin nakledilmesi, serilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinin uygulanması yerine, betonarme yük yayma platformu 20-70 cm arasında değişen kalınlıklarda (betonarme yük yayma platformu / yol üst yapısı şeklinde) imal edilmiş (Şekil 4e ve 4f) ve son olarak üzerine sıcak karışım uygulaması yapılmıştır.

4. ALETSEL GÖZLEM İSTASYONU

Geofoam blokların uygulanması sırasında dolgu yüksekliğinin 2 metre olduğu bir enkesit ölçüm istasyonu olarak belirlenmiş ve bu istasyonda kapsamlı bir enstrümantasyon programı uygulanmıştır (Şekil 4). Geofoam blok dolgunun performansının değerlendirilmesi amacıyla çapları 24 cm olan iki adet titreşen telli (vibrating wire) toplam basınç hücresi (plakası) kullanılmıştır (Şekil 4, 6a ve 6b). Bu plakalardan biri istinat duvarına etkiyen yanal gerilmeleri gözlemlmek amacıyla istinat duvarının yüzeyine (geofoam blok dolgu ile tam temas sağlayacak şekilde), duvar temelinin 25 cm üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 4 ve 6a). Diğer toplam basınç hücresi ise geofoam blok dolgu tabanında yer alan temel tesviye kum tabakası içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 4 ve 6b). Her iki hücre vasıtasıyla elde edilen toplam gerilmeler okuma ünitesi vasıtasıyla hem inşaat süresince hem de yolun servise açılmasını takip eden süreçte periyodik olarak kayıt altına alınmıştır (Şekil 6a).



Şekil 5. Geofam blok geri dolgu imalatı (a) temel tesviye tabakası (b-d) blok yerleşim planına göre blokların yerleştirilmesi (e) son sıra bloklar üzerine betonarme yük yayma platformu demir donatılarının imalatı (f) betonarme yük yayma platformu beton dökümü



Şekil 6. Aletsel gözlem istasyonu (a) istinat duvarına yerleştirilen toplam basınç hücresi (b) temel tesviye tabakasına yerleştirilen toplam basınç hücresi (c-d) oturma plakası

Geofoam blok dolgunun deformasyonlarının tespiti amacıyla daha önce hem I-15 otoyolunda (Bartlett vd., 2000) hem de ülkemizde inşa edilen ilk geofoam blok yol dolgusunda (Özer ve Akınay, 2017; 2019) kullanılan mıknatıslı oturma plakası tercih edilmiştir. Bu oturma plakası, PVC'den imal edilen, 305 mm x 305 mm x 12.5 mm boyutlarında bir plaka ve plakanın üzerinde 33.5 mm iç çapında ve 60 mm dış çapında bir manyetik yakadan oluşmaktadır (Şekil 6c-6d). Betonarme yük yayma platformu ile son sıra geofoam bloklar ara yüzeyine yerleştirilen oturma plakası sayesinde (Şekil 4 ve 6c-6d) zamana bağlı deformasyonlar ölçülmüştür. Manyetik yakanın olduğu boşluktan serbest olarak bir PVC boruya geçirilen oturma plakası yerine yerleştirilmiştir (Şekil 4 ve 6c-6d). PVC boru kazık başlık kirişine soketlenmiştir (Şekil 4). Oturma plakasının yerinin belirlenmesi amacıyla ucunda mıknatısa duyarlı bir iletken yer alan, metrik ölçülerde işaretlenmiş bir kabloya bağlı okuma probu kullanılmıştır (Şekil 6d). Prob PVC boru içerisinden ilerletilerek plakanın yeri 3 mm hassasiyetle tespit edilebilmiştir. Farklı zamanlarda alınan iki ardışık okuma arasındaki fark geofoam blok dolgunun iki okuma arasındaki geçen süre zarfındaki deformasyonunu göstermektedir.

5. ALETSEL GÖZLEM İSTASYONU VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

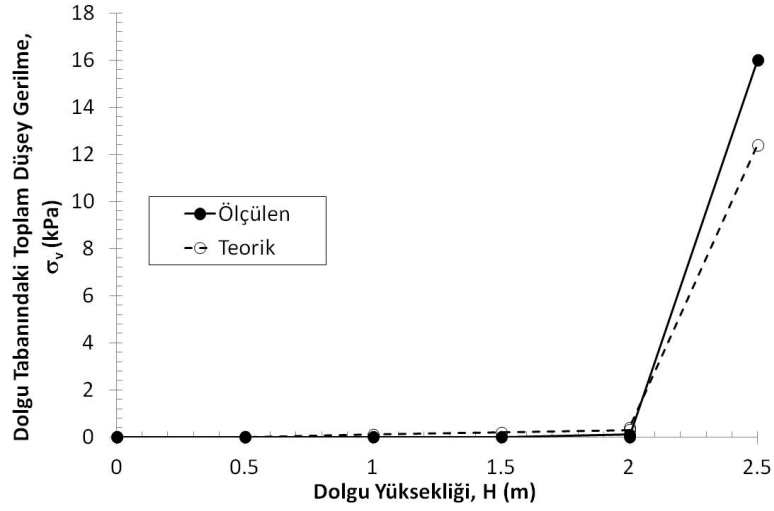
Şekil 4'de verilen geofoam blok geri dolgunun (2.0 m yüksekliğinde geofoam blok dolgu) üzerinde 0.5 m kalınlığında betonarme yük yayma platformunun / yol üst yapısının olduğu kesimde (toplam geri dolgu yüksekliği 2.5 m) kurulan aletsel gözlem istasyonunun (Şekil 4 ve 6) verileri değerlendirilmiştir.

İnşaat süresince geofoam blok dolgu tabanında yer alan temel tesviye kum tabakası içerisine yerleştirilen (Şekil 4 ve 6b) toplam basınç hücresi tarafından toplanan veriler

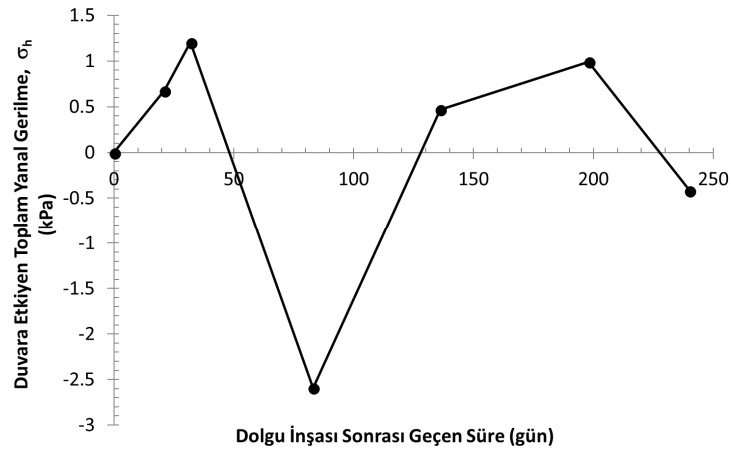
teorik düşey gerilmeler ile dolgu yüksekliğine bağlı olarak karşılaştırmalı olarak sunulmuştur (Şekil 7).

Toplam basınç plakasında geofoam blokların yüksekliği 2.0 m seviyesine gelene kadar herhangi bir basınç değerinin kayıt altına alınamaması toplam basınç hücresinin düşük düşey basınçlardaki hassasiyet sınırı ile açıklanmıştır. Betonarme yük yayma platformunun inşası sonrasında toplam basınç hücresi tarafından okunan düşey basınç teorik olarak hesaplanan değer ile oldukça yakın sonuçlar vermiştir (Şekil 7).

İstinat duvarına etkiyen yanal yükleri gözlemlemek amacıyla duvar temelinin 25 cm üzerine yerleştirilen toplam basınç plakası (Şekil 4 ve 6a) tarafından dolgu inşaatının tamamlandığı 1.11.2017 tarihinden itibaren 240 gün süre zarfında periyodik olarak alınan yatay gerilme değerleri Şekil 8’de sunulmuştur. Ölçülen yanal basınç değerleri ihmal edilebilir mertebelerde (-2.7 kPa ila 1.2 kPa arasında) ve toplam basınç hücresinin hassasiyet sınırları içerisinde yer almaktadır.



Şekil 7. Dolgu tabanında ölçülen düşey gerilmelerin teorik değerlerle karşılaştırılması

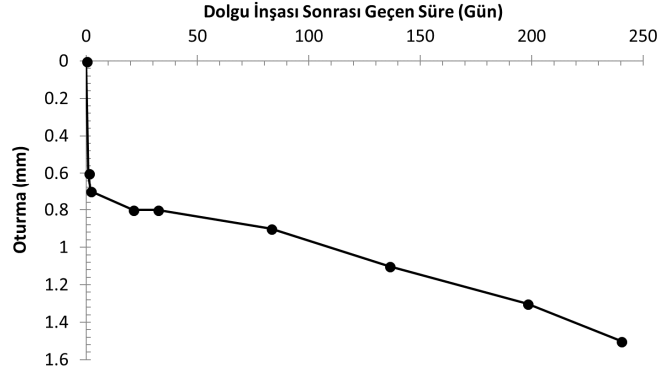


Şekil 8. İstinat duvarında yolun trafiğe açılması sonrasında ölçülen yanal gerilmeler

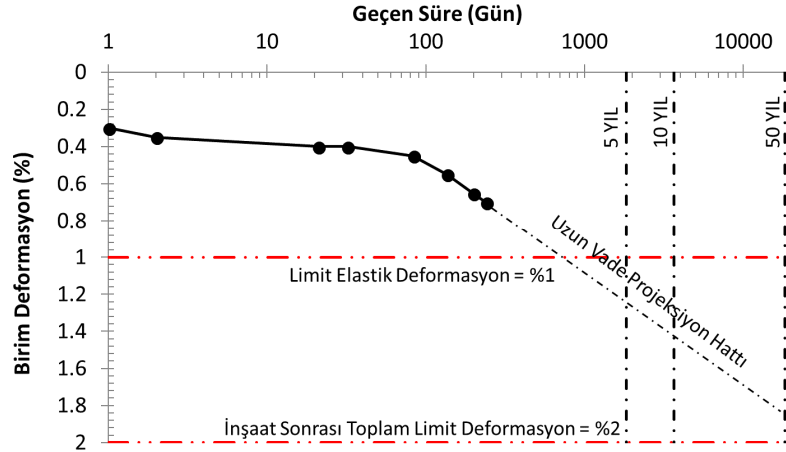
İnşaat sonrasında alınan deformasyon ölçümleri Şekil 9’da verilmiştir. Buradaki 0 gün okuması betonarme yük yayma platformunun inşasından hemen önce alınan okumayı

temsil etmektedir. Betonarme yük yayma platformu imalatının tamamlanmasından iki gün sonra sistemin ölü yük altında ölçülen deformasyonu 7 mm olarak kayıt edilmiştir. Ölü yükler altında inşaat sonrasında meydana gelen bu deformasyon toplam geofoam blok dolgu yüksekliğinin %0.35'i kadar olup, tasarım kriterlerine göre inşaat sonrası izin verilebilir limit elastik deformasyon değeri olan %1'in altındadır (Şekil 10).

Yolun trafiğe açılmasından 28.06.2018 tarihine kadar (betonarme yük yayma platformu inşasından 240 gün sonrasına kadar) geofoam blok yol dolgusunda ölçülen toplam oturma 1.5 cm'dir. Bir başka ifade ile, elastik oturmaların tamamlanmasından günümüze kadar geçen süre zarfında dolguda meydana gelen akma deformasyonu (creep) yaklaşık (8 mm) %0.4'tür (Şekil 10). Şimdiye kadar toplanan verilerin ışığı altında dolguda servis ömrü boyunca meydana gelebilecek toplam deformasyonlar için bir tahminde bulunulmuştur (Şekil 10). Uzun vade projeksiyon hattı şimdiye kadar toplanan akma deformasyonlarının eğiliminden yola çıkılarak çizilmiştir. Akma deformasyonu eğiliminin inşaat sonrasında geçen kısa süre zarfındakine benzer devam etmesi durumunda dolgunun ekonomik ömrü boyunca meydana gelecek akma deformasyonlarının %1.4 mertebesinde kalacağı ve toplam deformasyonun ise %1.8 mertebesinde kalarak tasarım kriterlerine göre toplam izin verilebilir toplam deformasyon değeri olan %2'nin (inşaat sonrası deformasyon + uzun vade akma deformasyonu) altında kalacağı beklenmektedir. Bu veriler, önceki geofoam blok yol dolgularından elde edilen deformasyon kayıtları ile uyumludur (Bartlett vd., 2000; Özer ve Akınay, 2019).



Şekil 9. İstinat duvarında yolun trafiğe açılması sonrasında ölçülen deformasyonlar



Şekil 10. Birim deformasyon ve uzun vade projeksiyon hattı

6. SONUÇLAR

Geofoam blok dolgu temeline yerleştirilen toplam basınç hücresi tarafından inşaat sırasında ölçülen toplam gerilmeler teorik olarak dolgu inşaatının uyguladığı gerilme artışına yakın değerler vermiştir.

İstinat duvarına yerleştirilen basınç plakasında yolun servise açıldığı günden itibaren toplam 240 gün süre zarfında periyodik olarak alınan toplam yanal basınç okumaları ihmal edilebilir mertebelere sahiptir. Dolayısıyla, stabilite problemi olmayan yamaç ve şevlerin topuğunda inşa edilecek olan yol dolgularının imalatında, ZEP konseptine göre geofoam bloklar kullanılarak geleneksel istinat duvarı uygulamasına gerek kalmadan dolgu inşaatlarını yapmak mümkündür. Bu sayede hem proje maliyetinde hem de inşaat süresinde ekonomi sağlanmış olunur. Stabilite problemi olan yamaç ve şevlerde ise, gerekli fiziksel şev iyileştirmesi yapılarak toptan göçmeye karşı gerekli önlemlerin alınması sonrasında ZEP konsepti uyarınca geofoam blok dolgu dayanma yapısına ihtiyaç duyulmadan inşa edilebilir.

Kısa vadede elde edilen deformasyon verilerinden uzun vade performansı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Projenin trafiğe açılmasından sonra kayıt edilen deformasyon davranışı önceki projelerden elde edilen deformasyon – zaman davranışları ile uyumludur. Tahmin edilen toplam oturmaların izin verilebilir değerlerin altında olacağı öngörülmesine rağmen, aletsel gözlem programının uzun vadeye yayılıp performansın kayıt altına alınması gerekmektedir. Bu projeden elde edilen veriler ve bilgi birikimi ülkemizde yamaç kenarlarına inşa edilecek geofoam blok dolguların arazi performansının tasarıma taşınmasında yol gösterecektir.

KAYNAKLAR

- Aabøe, R., Bartlett, S. F., Duškov, M., Frydenlund, T. E., Mandal, J. N., Negusse, D., Özer, A. T., Tsukamoto, H., Vaslestad, J. (2019), Geofoam Blocks in Civil Engineering Applications. In: Arellano D., Özer A., Bartlett S., Vaslestad J. (eds) Proceedings of 5th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications (EPS2018), Kyrenia, May 9-11, 2018, 3-38. Doi: 10.1007/978-3-319-78981-1_1
- Aabøe, R. (2011), "40 Years of Experience with the Use of EPS Geofoam Blocks in Road Construction", Proceedings of 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, EPS 2011, June 6-8, 2011, Lillestrøm, Norway.
- ASTM Standard D1621. (2010), "Standard Test Method for Compressive Properties Of Rigid Cellular Plastics", American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.
- ASTM Standard D4439. (2018), "Standard Terminology for Geosynthetics", American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.
- ASTM Standard D6817/D6817M. (2017), "Standard Specification for Rigid Cellular Polystyrene Geofoam", American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.
- Ertugrul, O., Trandafir, A. (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, 1711–1718.

- European Manufacturers of Expanded Polystyrene (EUMEPS) (2014), "EPS White Book, EUMEPS Background Information on Standardisation of EPS", Version: 15/10/2014.
- Horvath, J. S. (2004), "Geofoam Compressible Inclusion: The New Frontier in Earth Retaining Structures," Geotechnical Engineering for Transportation Projects, GeoTrans 2004, ASCE, 1925-1934.
- Horvath, J. S. (2010), "Lateral Pressure Reduction on Earth-Retaining Structures Using Geofoams: Correcting Some Misunderstandings", Proc., ER2010: Earth Retention Conference 3, ASCE, Reston, VA.
- Kubota, T. (2011), "Case History of EDO-EPS Method in Japan", Proceedings of the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications, EPS 2011, June 6-8, 2011, Lillestrøm, Norway.
- Norwegian Road Research Laboratory (NRRL). (1992), "Use of Expanded Polystyrene in Road Embankments-Design, Construction and Quality Assurance", Public Roads Administration, Oslo, Norway.
- Özer, A. T., Akinay, E. (2019), "First Geofoam Roadway Embankment Application in Turkey", In: Arellano D., Özer A., Bartlett S., Vaslestad J. (eds) Proceedings of 5th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications (EPS2018), Kyrenia, May 9-11, 2018, 71-80. Doi: 10.1007/978-3-319-78981-1_5
- Özer, A. T., Akinay, E. (2017), "Geofoam Blok Yol Dolgusunun Kısa Vade Performansının Aletsel Gözlemler Işığında Değerlendirilmesi", 7. Geoteknik Sempozyumu, 22-24 Kasım 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özer, A. T., Danyıldız, E., Akinay, 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, 11-12 Mayıs 2017, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 137-152.
- 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.
- 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.
- TS EN 14933 (2007), "Isı Yalıtım Mamulleri ve Hafif Dolgular- İnşaat Mühendisliği Uygulamaları İçin - Genleştirilmiş Polistirenden (EPS) Fabrikasyon Mamuller – Özellikler", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
γ	Yoğunluk	σ_v	Toplam düşey gerilme
σ_1	%1 Birim boy kısalmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	σ_h	Toplam yanal gerilme
σ_5	%5 Birim boy kısalmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	E_i	Elastisite Modülü
σ_{10}	%10 Birim boy kısalmaya karşılık gelen basınç mukavemeti	H	Dolgu yüksekliği