

## GEOFOAM BLOK OTOYOL DOLGULARININ İMALATLARINDA SIKÇA SORULAN SORULAR

### FREQUENTLY ASKED QUESTIONS IN THE CONSTRUCTION OF GEOFOAM BLOCK EMBANKMENTS

Abdullah Tolga ÖZER<sup>1</sup>, Emre AKINAY<sup>2</sup>

#### ÖZET (14 PUNTO)

Genleştirilmiş polistiren (EPS) blok (geofom blok) teknolojisi taşıma gücü düşük, oturma potansiyeli yüksek zeminler üzerine inşa edilecek yol dolgularının imalatında yaygınlıkla kullanılan bir geoteknolojidir. Ayrıca, gömülü altyapı koridorları üzerine inşa edilecek yol dolgularının mevcut altyapı sistemlerinde herhangi bir servis kaybına yol açmadan imalatlarını mümkün kılmaktadır. 1972 yılından itibaren dünyada kullanılmaya başlanan geofom blok teknolojisi 2017 yılından itibaren ülkemizde yol ve otoyol dolgularının imalatlarında kullanılmaya başlanmıştır. Geofom blok teknolojisinin ülkemizdeki yaygınlaşması ile ilgili idareler ve müşavirler tarafından uygulama konusunda sıklıkla sorulan sorular bu çalışmada ele alınmıştır. Geofom teknolojisinin imalatı için blokların üretimlerindeki kalite kontrol sürecinden başlayan, üretim tesisinden sahaya nakli ve sahada depolanmasına, blokların blok yerleşim planlarına göre yerleştirilmelerinden imalat sırasındaki kalite kontrolüne kadar uzanan süreçte dikkat edilmesi gereken teknik ayrıntılar tartışılmıştır. Blok yerleşimini takiben geofom blok otoyol dolgularının üst yapı detayları ve şevli kısımlarının kaplama detayları ele alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Geofom blok, otoyol dolgusu, köprü yaklaşım dolgusu

#### ABSTRACT (14 PUNTO)

Expanded polystyrene (EPS) block (geofom block) technology is a widely used geotechnology in the construction of highway embankments to be built on sites with low bearing capacity and high settlement potential. In addition, constructing embankments atop existing buried infrastructure corridors is possible using geofom technology without causing any service loss. Geofom block technology, which has been used in the world since 1972, has been used in the construction of road and highway embankments in Turkey since 2017. Upon widespread use of geofom block technology in our country, frequently asked questions about the application raised by administrations and consultants are discussed in this study. The technical details of a successful construction process of geofom

<sup>1</sup> Doç. Dr., Gebze Teknik Üniversitesi, [tolgaozer@gtu.edu.tr](mailto:tolgaozer@gtu.edu.tr)

<sup>2</sup> Dr., İstanbul Teknik A.Ş., [emreakinay@istanbulteknik.com](mailto:emreakinay@istanbulteknik.com)

technology, that includes from the quality control process in the production of the blocks at the block molding facility, to the transportation and storage in the site, from the placement of the blocks according to the block placement plans to the quality control during the manufacturing are discussed. Following the block placement, the construction details of the geofoam block highway embankment pavements and the covering details of the vertical and slope sided geofoam embankments were discussed.

**Keywords:** *Geofoam block, highway embankment, bridge approach embankment*

## 1. GİRİŞ

Genleştirilmiş polistiren (EPS) blok (geofoam blok) mekanik ve fiziksel özellikleri ürün sınıfları bazında ilgili standartlarla belirlenmiş (ASTM D6817, TS EN 14933),  $11.2 \text{ kg/m}^3$  ila  $45.7 \text{ kg/m}^3$  arasında değişen yoğunluklarda üretilen (ASTM D6817), geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılan, kapalı gözenekli, hafif bir geosentetik malzemedir (ASTM D4439). Geoteknik mühendisliğinde, otoyol ve köprü yaklaşım dolgularının imalatları başta olmak üzere, çeşitli farklı alanlarda kullanılmaktadırlar (Aabøe vd., 2019).

Geofoam bloklar ilk defa 1972 yılında Norveç Karayolları İdaresi tarafından otoyol dolgusu inşasında kullanılmıştır (Aabøe, 2019). Günümüzde taşıma gücü düşük, oturma potansiyeli yüksek killi zeminler üzerine otoyol ve köprü yaklaşım dolgularının inşasında dünyanın çeşitli ülkelerinde tasarım ve uygulama şartnameleri olgunlaşmış, yaygınlıkla kullanılan bir geoteknolojidir (Aabøe vd., 2019). 1972'den itibaren dünyada yaygınlaşan geofoam teknolojisi kullanılarak ülkemizde inşa edilen ilk yol Nisan 2017 yılında trafiğe açılmıştır (Özer ve Akınay, 2017; 2019). Bu projede yol dolgusu inşaatından dolayı meydana gelecek ilave gerilme artışlarının temel seviyesinin yaklaşık 3.8 m altından geçen 2.2 m çapındaki ana isale hattına zarar vermemesi için dolgu malzemesi olarak geofoam bloklar tercih edilmiştir (Özer ve Akınay, 2019; Özer, 2020). Bu ilk uygulama ile ülkemizde ilk defa fiziki olarak geofoam teknolojisi ile tanışılmış ve Geoteknik Mühendislerimizin çözüm yelpazesine yeni bir geoteknoloji tanıtılmıştır. Bu proje ile birlikte uygulama ve teknik altyapısının oluşturulduğu geofoam blokların yol dolgularında hafif dolgu malzemesi olarak kullanılması uygulamalarına örnek bir diğer proje de Mayıs 2019'da Kuzey Marmara Otoyolu (KMO) Projesi kapsamında İstanbul Havalimanı kavşağında inşa edilmiştir (Özer, 2020). Bu projede İstanbul Havalimanı güney deşarj kanalı üzerine inşa edilen derin kazıklı koruma yapısı üzerine inşa edilecek olan dolguların mevcut altyapıya ilave gerilme artışı uygulamadan, servis yüklerinde toplam stabiliteyi etkileyecek bir problem yaratmaması için yol dolgusunun geofoam teknolojisi ile inşasına karar verilmiştir (Özer, 2020).

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) bünyesindeki ilk geofoam blok uygulaması ise ana kayanın yaklaşık 40 m derinde olduğu, taşıma gücü çok düşük, oturma potansiyeli yüksek organik killi zeminden oluşan yerel zemin koşulları üzerine herhangi bir zemin ıslahına gerek duyulmadan, taşıma gücü ve toplam-farklı oturma problemlerine karşı, geofoam bloklar ile köprü yaklaşım dolgusu inşaatıdır. Başlangıç istasyonunda  $H = 2 \text{ m}$ 'den başlayıp köprü kenar ayağı arkasında ise  $H = 10 \text{ m}$  yüksekliğe ulaşan köprü yaklaşım dolguları Ekim 2019'da trafiğe açılmıştır (Özer, 2020). Kuzey Marmara Otoyolu (KMO) altıncı bölgesi sınırları içerisinde, Akyazı mevkiinde yer alan, toplam iki şerit genişliğinde, boyuna eğimleri 7.1% ve 8.4% olacak şekilde bohça önyüzlü geogrid donatılı zemin duvar (geoarme) teknolojisi ile

inşa edilen köprü yaklaşım dolgularının boyuna eğimlerinin %5'e düşürülerek sürüş konforu sağlanması amacı ile gerekli ilave dolguların inşasında geofoam bloklar tercih edilmiştir (Özer vd., 2022). Bu sayede hem dış hem de mevcut geoarme yaklaşım dolgusunda iç stabilite kayıplarına neden olmadan yaklaşım dolgularının rehabilitasyonları yapılmış ve yol Haziran 2021'de trafiğe açılmıştır. Bu proje ülkemizde hareketli yükler altında hizmet veren ilk hibrit yaklaşım dolgusu olarak kayıtlara geçmiştir (Özer vd., 2022).

Tüm bu yol, otoyol ve köprü yaklaşım dolguları uygulamalarından da görüleceği üzere, ülkemizdeki İnşaat ve Geoteknik Mühendislerine yeni bir geoteknoloji 2017 yılından itibaren inşa edilen mühendislik yapıları ile tanıtılarak, teknolojinin ülkemiz koşullarına adaptasyonu sağlanmıştır.

Son 5 yıllık süreçte geofoam teknolojisinin ülkemizde yol, otoyol ve köprü yaklaşım dolgularının inşasında kullanıldığı örnekler sayesinde teknoloji hızla olgunlaşmış, bilinirliği ve farkındalığı artmıştır. Bu uygulamalar sırasında ilgili idareler ve müşavirler tarafından uygulama konusunda sıklıkla sorulan sorular çalışmada ele alınmıştır. Bu kapsamda geofoam blokların fabrika üretim sürecinden başlayıp saha uygulamasına kadar geçen tüm aşamalardaki teknik ayrıntılar ele alınmış, nihai kullanıcılar tarafından sıklıkla sorulan sorular cevaplanmıştır.

## **2. GEOFOAM BLOKLARIN ÜRETİM SÜRECİNDE DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN KONULAR**

Geofoam blok, dane çapları 0.5-1.0 mm arasında değişen granüler polistirenin ön şişirme ve sonrasında dinlendirilerek kalıplama aşamaları neticesinde blok formunda üretilen hafif ve kapalı gözenekli bir geosentetiktir. Blok boyutları üreticilerin kalıp makinesi ölçülerine bağlı olup, ülkemizde boyutları 50-100 cm yüksekliğinde 100-120 cm genişliğinde ve 220-500 cm uzunlukta değişen bloklar üretilmektedir.

Geofoam blok otoyol uygulama projesinin ilk adımı blok üretimi ile başlar. Yol ve köprü yaklaşım dolgusu inşasında kullanılacak tüm geofoam bloklar tamamıyla geliştirilmiş polistirenden oluşmalı, geri dönüştürülmüş EPS malzeme kullanılmamalıdır. İdareler veya proje sahiplerinin dikkat etmesi gereken konulardan en önemlisi, projede kullanılacak olan EPS-blokların TS EN 14933'e göre CE işaretlemesinin olmasıdır.

Geofoam bloklar üretimleri sonrasında gerekli blok dinlendirme koşullarına sahip depo sahalarında dinlendirilip boyutsal kararlılığa geldikten sonra sahaya nakledilmelidirler (Şekil 1). Boyutsal kararlık kriteri olarak blokların uzunluk, genişlik ve kalınlıklarında teorik boyutlarından  $\pm\%0.5$ 'den fazla sapma olmamalıdır. Ayrıca, geofoam yüzeyleri birbirleri ile 90 derece açı yapacak şekilde imal edilmelidir. Blokların en, boy ve kalınlıktaki diklikten sapma değerleri  $\pm 5$  mm/m'yi geçmemelidir. Standarda uygun olarak projeye özel imal edilen blokların basınç mukavemetleri ve görünür kütle yoğunlukları rapor edilerek sahaya naklieleri yapılmalıdır. Sahaya nakledilen blokların görünür toplam kütle yoğunluğu değeri projeye göre tasarlanan değerden  $-1$  kg/m<sup>3</sup>'den daha fazla sapma göstermemelidir.



Şekil 1. Geofoam blokların sahaya nakledilmesi ve geçici olarak depolanması, Kayaşehir/İstanbul

### 3. GEOFOAM BLOKLARIN SAHAYA NAKLEDİLMESİ, DEPOLANMASI VE BLOK DİZİLİMİNDE SIKÇA SORULAN SORULAR

Geofoam blokların sahaya nakliyesi (Şekil 1) ve sahadaki montajları sırasında (Şekil 2) bloklara fiziksel veya kimyasal zarar verecek her türlü eylemden uzak durulmalıdır. Blokların yerine yerleşimi sırasında bloklarda  $0.005 \text{ m}^3$ 'e kadar meydana gelecek hasarlar kabul edilebilir sınırlar içerisinde yer almaktadır.

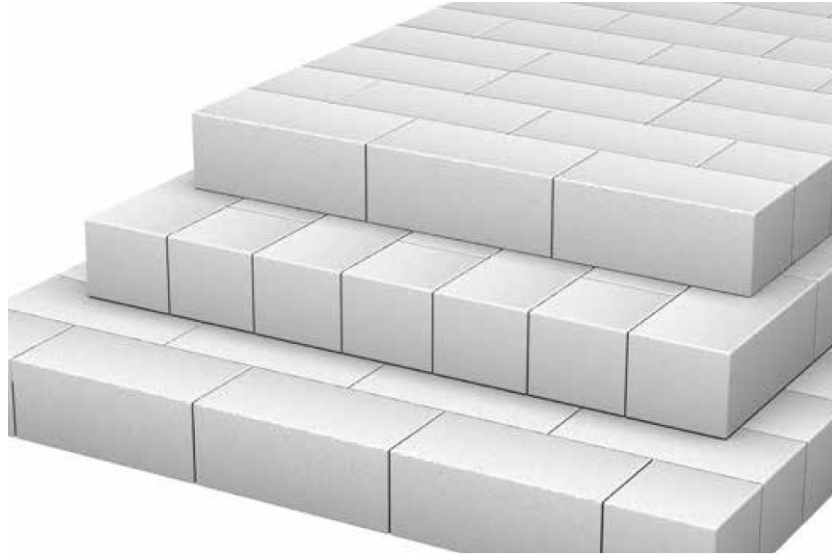
Bloklar sahaya nakledildikten sonra, yerlerine yerleştirilmeden önce sahada geçici olarak depolanacaksa (Şekil 1), bu saha herhangi bir ısı kaynağından, ısı ve ateş kullanılan inşaat etkinliklerinin olduğu bölgeden uzakta seçilmelidir. Depolama bölgesindeki bloklar aseton, benzen ve tiner gibi organik çözücülerden; ayrıca benzin ve dizel yakıt gibi petrol bazlı çözücülerden korunmalıdır. Geçici depolama bölgesinde bekletilen bloklar uzun süre güneş ışınlarına direk maruz kalmamalıdır.

Geofoam blok imalatının yapılacağı zemin (temel tesviye tabakası) pürüzsüz, herhangi bir inşaat artığı, moloz vs. içermeyecek şekilde düzenlenmeli, herhangi bir su birikintisi olmayacak şekilde teşkil edilmelidir (Şekil 2). Temel tesviye tabakası iyi derecelendirilmiş, en az 10 cm kalınlığında, dolgu güzergahının her 3 m'si için  $\pm 1$  cm toleransla serilen kumdan oluşmalıdır. Dolgu güzergahının uygun olduğu yerlerde finişer vasıtası ile (Şekil 2a), finişer erişimi olmayan alanlarda ise master yardımı ile tesviye katmanı serilebilir (Şekil 2b).



Şekil 2. Tesviye katmanının serilmesi (a) Finişer vasıtası ile serilip, silindir ile sıkıştırılması, Boğazköprü/Kayseri (b) Master vasıtası ile serilmesi, KMO/İstanbul

Geofoam blokların yerleşim planları hazırlanırken blokların herhangi bir katmanında, blokların uzunlamasına olan aksları üst ve alt sıralardaki katmanlarda yer alacak bloklarının uzunlamasına olan akslarına dik olacak şekilde şaşırtılarak yerleştirilmeli ve geofoam blok dolgu sistemi içerisinde herhangi bir sıradaki düşey blok derzleri süreklilik göstermemelidir. Geofoam blok dolgu sistemini oluşturan her bir sıradaki blokların üst düzlemi üstteki ve alttaki blokların üst düzlemleri ile paralel olacak şekilde blok yerleşim planı teşkil edilmelidir (Şekil 3 ve Şekil 4). Geofoam blokların üst düzlemi yol aksına paralel olacak şekilde yerleştirilmelidir. Geofoam blok dolgu sisteminin son sırasındaki (yol üst yapısının hemen altındaki) geofoam blokların yerleşim toleransları projedeki kotlarından  $\pm 5$  cm olacak şekilde ve uzunlamasına olan aksları yolun aksına dik olacak şekilde yerleştirilmelidir.



Şekil 3. Geofoam blokların blok yerleşim planına göre şaşırtma ayrıntısı (Özer, 2020)



Şekil 4. Geofoam blokların blok yerleşim planına göre yerleştirilmesi, Boğazköprü/Kayseri

Geofoam bloklar, düşey ve yatay birleşim yerlerindeki boşluklar 2 cm'den daha fazla olmayacak şekilde yerleştirilmeli; üzerine başka bir geofoam blok gelecek olan bloklar ise her 3 m'de projede verilen kotundan  $\pm 1$  cm'lik tolerans payını geçmeyecek şekilde yerleştirilmelidir. Aynı sırada kullanılacak olan yan yana iki blok arasındaki yükseklik farkı 5 mm'i geçmemelidir. İmalat sırasında blokların sahada özel kesimini gerektiren koşullarda sıcak tel (Şekil 5a) ya da elektrikli testere (Şekil 5b) kullanılabilir.



Şekil 5. Blokların sahada özel kesimlerinin yapılması (a) Sıcak tel kullanılarak, Boğazköprü/Kayseri (b) Elektrikli testere kullanılarak, KMO/İstanbul

Kurp gibi blokların birbirlerine göre değişik açılarla yerleştirilmesini gerektiren imalatlarda (Şekiller 6 ve 7), bloklar arası 2 ila 3 cm arasında meydana gelebilecek küçük boşluklar kabul edilebilir sınırlar içerisinde değerlendirilmektedir. Bloklar arasında oluşabilecek 5 cm'e kadar olan boşluklar ise kuru kum ile doldurulmalı, 5 cm'den büyük açıklıklara ise izin verilmemelidir.

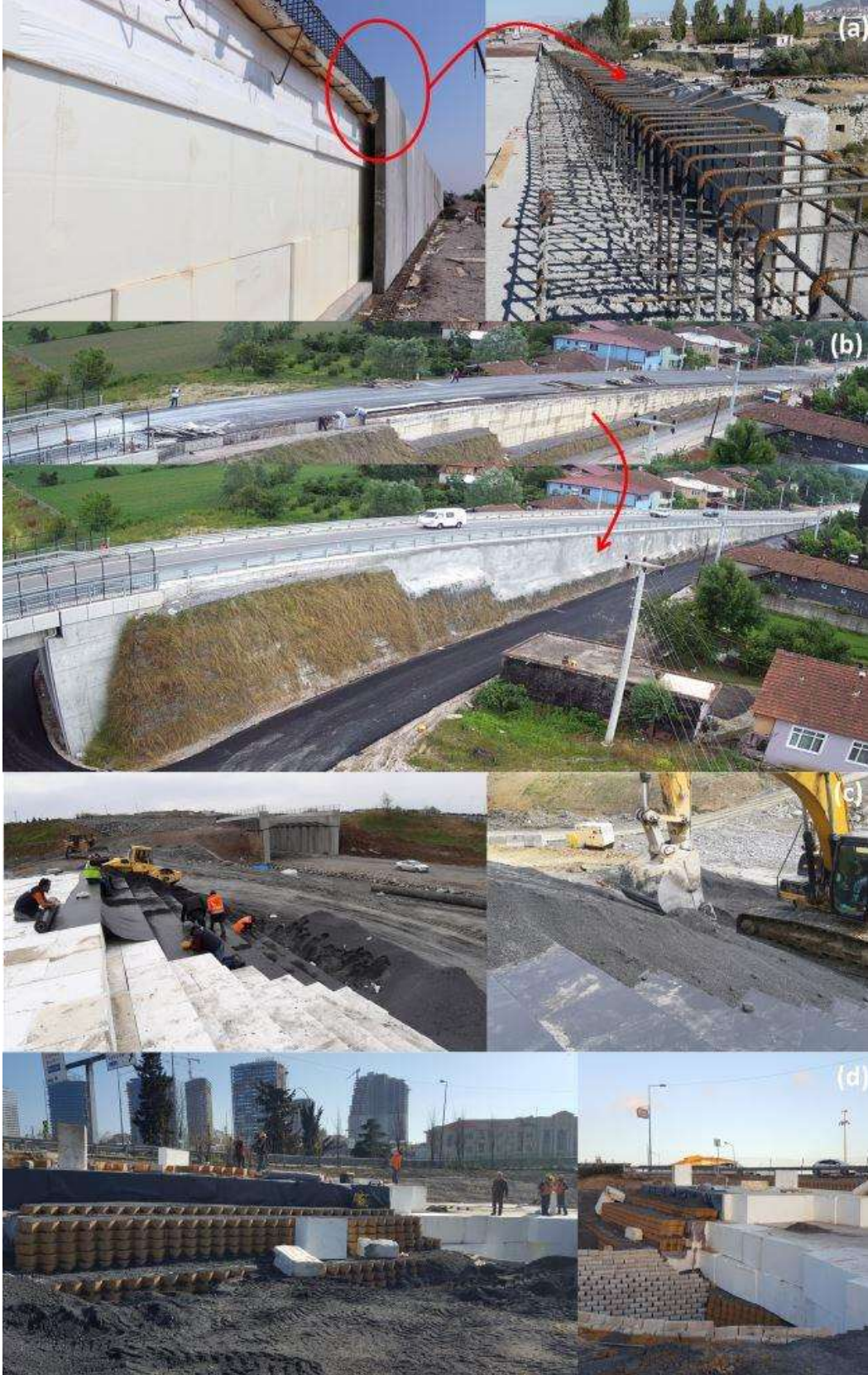


Şekil 6. Kurplu blok yerleşim planının sahada uygulanması, Boğazköprü/Kayseri



Şekil 7. Kurplu blok yerleşim planının sahada uygulanması, Boğazköprü/Kayseri

Geofoam blok dolgu sistemini dış etkenlerden korumak için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Dolguların 90 derece eğimli teşkil edildiği durumlarda prekast paneller (Şekil 8a) veya donatılı püskürtme beton uygulaması (Şekil 8b); trapez kesitli inşa edildiği koşullarda ise dolgunun şevli kesiminde geomembran kaplama ve üzerine en az 30 cm kalınlığında toprak (Şekil 8c) sonrası çimlendirme veya geohücre (Şekil 8d) üzerine bitkilendirme ülkemizde uygulanmaktadır. Prekast paneller, projede verilen duvar geometrisine göre imal edilmekte olup; geofoam blok otoyol dolgusunun topuğunda inşa edilen temel üzerine soketlenerek, blokların son sırasının üzerinde inşa edilen betonarme yük yayma platformuna ankre edilir (Şekil 8a). Geomembran; benzine karşı dayanıklı, geofoam blokların köşelerinde doksan dereceye yakın kıvrılabilen (Şekil 8c) ve polivinil klorürden (PVC) imal edilen esnek bir ürün olmalıdır. Geomembranda sızıntıya sebebiyet verecek herhangi bir fiziksel hasar olmamalıdır. Geleneksel geofoam blok yol üst yapısı; betonarme yük yayma platformu, yol alt temel (PMAT) ve temel (PMT) malzemesi, bitümlü temeli, binder ve aşınma tabakalarından oluşmaktadır. Geofoam bloklar ile yol alt temel tabakası arasında geofoam blokları olası petrol ve türevleri sızıntılarına karşı koruyacak, trafik yükleri altındaki yol üst yapısı için temel oluşturacak, yol alt temel ve temel tabakalarının kalınlığını azaltacak, minimum C25 sınıfında betondan oluşan en az 10 cm kalınlığında yerinde dökme betonarme yük yayma platformu imal edilmelidir (Şekil 9). Bu fonksiyonlarına ek olarak, betonarme yük yayma platformu otoyolda yer alacak olan sinyalizasyon, bariyer ve benzeri donanımların montajı için de kullanılmaktadır. Yük yayma platformunun tasarım mukavemetine erişmesi için sahada gerekli bakımı yapılmalıdır. Yol üst yapısı, betonarme yük yayma platformunun üzerine Karayolları Teknik Şartnamesine uygun gradasyon ve fiziksel özellikte malzeme kullanılarak inşa edilir. Betonarme yük yayma platformu tasarım mukavemetine eriştikten sonra yol üst yapı inşasına başlanmalıdır. İnşaat sırasında hiçbir şekilde trafik doğrudan geofoam blokların ya da betonarme yük yayma platformunun üzerinden geçmemelidir. Yol üst yapısını oluşturan granüler katmanlar yük yayma platformunun üzerine önden yüklemeli kepçeler vasıtası ile itilerek yerleştirilmelidir (Şekil 10a). Alt temel malzemesi yük yayma platformu üzerine en az 30 cm kalınlıkta serildikten sonra sulama (Şekil 10b) ve sıkıştırma işlemine başlanmalıdır (Şekil 10c). Yol üst yapısı bağlayıcısız granüler katmanlarının serme-sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra bitümlü temel, binder ve aşınmadan oluşan sıcak karışım katmanlarının serme-sıkıştırma işlemleri ile yol üst yapısı tamamlanmış olunur.



Şekil 8. Geofoam blok otoyol dolgularının dış etkenlerden korunması (a) Prekast panel, Boğazköprü, Kayseri (b) Donatılı püskürtme beton, KMO, Akyazı, Sakarya (c) Geomembran üzeri toprak örtü, KMO, İstanbul (d) Geomembran üzeri geohücre uygulaması, Acıbadem, İstanbul





Şekil 9 Betonarme yük yayma platformu inşası, Boğazköprü, Kayseri



Şekil 10. Yol üst yapısının serme-sıkıştırma yöntemi ile inşası, Boğazköprü, Kayseri (a) PMT serimi (b) PMT sulanması (c) PMT sıkıştırması

## 4. SONUÇLAR

Geofoam blok teknolojisi 2017 yılından itibaren ülkemizde yol ve otoyol dolgularının imalatlarında kullanılmaya başlanmıştır. Geofoam blok teknolojisinin ülkemizde yaygınlaşması ile nihai kullanıcılar tarafından uygulama altyapısı ile ilgili sıklıkla sorulan sorular ve detaylar ele alınmıştır. Ülkemizde son beş yıldır gelişim gösteren geofoam uygulamalarının altlıkları tartışılmış ve bundan sonraki uygulamalar için temel teşkil edecek bir uygulama metodolojisi ortaya konmuştur.

## 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. T., 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
- 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.
- Özer, A. T., Caymaz, P., Türer, E., Değer, T. T. (2022), "Köprü Yaklaşım Dolgularının İmalatında Hibrit Uygulama: Bohça Önyüzlü Geoarme Duvar Ve Geofoam Geoteknolojilerinin Birlikte Kullanılması", 9. Ulusal Geosentetikler Konferansı, G9, 23-24 Haziran 2022, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Özer, A. T. (2020), "Geofoam: İnşaat Mühendisliğinde EPS Blok Uygulamaları", ISBN: 978-605-69266-0-0, Austrotherm Türkiye Yayınları.
- Özer, A. T., Akınay, E. (2019), "First Geofoam Roadway Embankment Application in Turkey", In: Arellano D., Özer A.T., Bartlett S., Vaslestad J. (eds) Proceedings of 5<sup>th</sup> 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., Akınay, E. (2017), "Geofoam Blok Yol Dolgusunun Kısa Vade Performansının Aletsel Gözlemler Işığında Değerlendirilmesi", 7. Geoteknik Sempozyumu, 22-24 Kasım 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- 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