GEOFOAM BLOKLAR SERVİS ÖMRÜ SÜRESİNCE BOZUNMA GÖSTERİR Mİ: BİR VAKA ANALİZİ

DO GEOFOAM BLOCKS DEGRADE OVER THEIR SERVICE LIFE: A CASE STUDY

Emre AKINAY [1], Abdullah Tolga ÖZER [2]

ÖZET

Geofoam blok hafif dolgu teknolojisi, Türkiye'de son yıllarda tasarım yüklerinin azaltılması ve hızlı imalat olanakları sağlaması nedeniyle yaygın olarak tercih edilen bir geoteknolojidir. Son 10 yıllık süreçte farklı ölçeklerde ve farklı tasarım yüklerine servis veren birçok geofoam blok hafif dolgu projesinin başarıyla hayat geçirilmiş olmasına karşın, geofoam blokların servis ömrü süresince bozunacağı ve fiziksel ile mekanik özelliklerini yitireceği ve hatta tamamen yok olacağı gibi sorular Türkiye'de geofoam teknolojisi ile ilgili halen merak edilen ve sıkça sorulan sorular arasında yer almaktadır. 2017 yılında inşa edilen Türkiye'nin ilk geofoam blok hafif yol dolgusu motorlu taşıt trafiğine 6,5 yıl servis vermesinin ardından Fikirtepe Köprülü Kavşağı inşaatı kapsamında trafiğe kapatılmış ve kaldırılmıştır. Sökülen geofoam bloklar üzerinde yerinde görsel muayene ve laboratuvarda basınç deneyleri yapılmıştır. Muayene ve deneyler sonucunda geofoam blokların zamanla bir bozunma göstermediği, tasarım yükleri altında fiziksel ve mekanik özelliklerini kaybetmediği ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: *EPS, geofoam, hafif dolgu, bozunma, saha incelemesi, basınç deneyi*

ABSTRACT

Geofoam lightweight fill geotechnology has been widely adopted in Türkiye in recent years due to its ability to reduce design loads and enable rapid construction without the need for heavy equipment. Despite the successful implementation of numerous geofoam embankment projects of varying scales giving service under different design loads over the past decade, concerns regarding the long-term performance of geofoam blocks—such as potential degradation, loss of physical and mechanical properties, and even complete deterioration—are still frequently raised in practice. The first geofoam lightweight road embankment in Türkiye constructed in 2017 was decommissioned after approximately 6.5 years' service life. The embankment was removed as part of the Fikirtepe Interchange construction works. The retrieved geofoam blocks were subjected to visual inspection in the field and compression tests in the laboratory. The results indicate that the geofoam blocks did not exhibit any significant degradation over time and maintained their physical and mechanical properties under service loads.

Keywords: *EPS, geofoam, lightweight fill, degradation, field inspection, compression test*

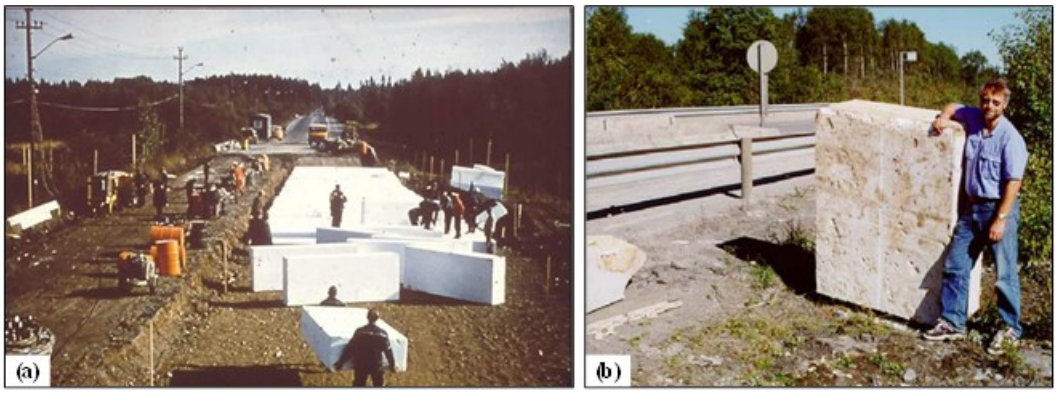
1. GİRİŞ

Genleştirilmiş polistiren (EPS) blok (geofoam blok), 11,2 kg/m³ (EPS 12) ila 45,7 kg/m³ (EPS 46) arasında değişen yoğunluklarda üretilen (ASTM D6817), fiziksel ve mekanik özellikleri ürün sınıfları özelinde tanımlanmış (ASTM D6817; TS EN 14933), geosentetik ailesine ait hafif ve kapalı gözenekli bir malzemedir (ASTM D4439). Geleneksel sıkıştırılmış toprak dolgulara kıyasla yaklaşık 50–100 kat daha hafif olan geofoam bloklar,

[1] Dr., GeoTech Zemin ve Temel Mühendisliği Ltd. Şti., emreakinay@geotechzemin.com (Sorumlu yazar)
[2] Prof. Dr., Gebze Teknik Üniversitesi, tolgaozer@gtu.edu.tr

özellikle karayolu ve köprü yaklaşım dolgularının inşası nedeniyle oluşabilecek toplam ve farklı oturmaların izin verilebilir sınırlar içerisinde tutulması amacıyla tercih edilen bir geoteknolojidir. Geofoam blokların fiziksel ve mekanik (ASTM D6817; Duškov, 1997) ve dinamik (Ossa ve Romo, 2010) özelliklerinin yanı sıra, bloklar arası arayüzeylerin ve blokların dolgu sistemi içerisindeki diğer malzemelerle oluşturduğu arayüzeylerin dayanım özellikleri de kapsamlı olarak araştırılmıştır (Özer ve Akay, 2016; 2021; 2022).

Geofoam blok hafif dolgu geoteknolojisi, özellikle yumuşak killi zeminler üzerinde inşa edilecek karayolu ve köprü yaklaşım dolgularında, toplam ve farklı oturma problemlerinin herhangi bir zemin iyileştirme yöntemine gereksinim duyulmaksızın kontrol altına alınabilmesi amacıyla tercih edilmektedir (Aabøe vd., 2019). Geofoam bloklar hafif dolgu malzemesi olarak ilk kez 1972 yılında Norveç Karayolları İdaresi (Norwegian Public Roads Administration; NPRA) tarafından 159 No.lu Otoyol (Oslo Çevreyolu) üzerinde yer alan Flom Köprüsü'nün yaklaşım dolgularında toplam oturmaların önlenmesi amacıyla kullanılmıştır (Aabøe vd., 2019) (Şekil 1). Dünyadaki ilk geofoam blok yol dolgusu uygulaması olan bu yapı, günümüzde de servis yükleri altında hizmet vermeye devam etmektedir. Norveç'te gerçekleştirilen bu ilk uygulamadan günümüze kadar geçen 54 yıllık süreçte, başta birçok Avrupa ülkesi, Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya olmak üzere dünyanın birçok ülkesinde geofoam blok hafif dolgu geoteknolojisi kullanılarak çok sayıda karayolu ve köprü yaklaşım dolgusu başarıyla inşa edilmiş (Aabøe vd., 2019), tasarım ve uygulamaya yönelik şartnameler geliştirilmiş (NRRL, 1992; Stark vd., 2004) ve geoteknolojinin uzun dönem servis performansı ortaya konmuştur.



Şekil 1. Dünyanın ilk geofoam blok hafif otoyol dolgu uygulaması (Oslo Çevreyolu, Flom Köprüsü/Norveç): (a) Köprü yaklaşım dolgusunun inşaatı (1972) (b) 24 yıl sonra fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile çıkarılan geofoam blok numunesi (1996) (Aabøe ve Frydenlund, 2011)

Türkiye'de ilk geofoam blok yol dolgusu 2017 yılında İstanbul Çevre Yolu (O-1 Otoyolu) ile D100 Karayolu kesişiminin kuzeybatısında inşa edilmiştir. O-1 Otoyolu Uzunçayır çıkışında Harem istikametine yönelen trafiğin bir kısmının Acıbadem Mahallesi'ne yönlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen bu uygulama, Türkiye'de geofoam blok hafif dolgu geoteknolojisinin karayolu dolgularında kullanımının ilk örneğini oluşturmuştur (Özer ve Akınay, 2017; 2019). Bu ilk uygulamayı, T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) işvereni olduğu İncesu-Himmetdede Ayrımı – Kayseri Yolu üzerindeki Boğazköprü D.D.Y. Üst Geçidi doğu kenar ayağı yaklaşım dolgusu inşa projesi (2019) (Özer ve Akınay, 2023), T.C. Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü'nün (AYGM) işvereni olduğu O-4–O-1 Otoyolları Bağlantı Yolu (Avrasya Tüneli Bağlantı Yolu) inşa projesi (2024), T.C. Devlet Hava Meydanları İşletmesi'nin (DHMİ) işvereni olduğu Sabiha Gökçen Havalimanı 1. Pist

RESA (runway end safety area) genişletme projesi (2024–2025) ve T.C. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin işvereni olduğu Gölcük-1 – Karşıyaka Kavşağı Arası D-130 Başiskele Koridoru inşa projesi (2025–2026) takip etmiştir. Bunların yanı sıra, Kuzey Marmara Otoyolu Projesi kapsamında biri İstanbul Havalimanı VIP Terminali Kavşağı (2019), diğeri U48 Üst Geçit Köprüsü yaklaşım dolgularının boyuna eğimin azaltılması amacı ile yeniden inşası (2021) olmak üzere iki ayrı lokasyonda geofoam blok hafif dolgu uygulaması hayata geçirilmiştir (Özer ve Akınay, 2023; Özer vd., 2022; https://geotechzemin.com/tip/geofoam-projeleri) (Şekil 2).

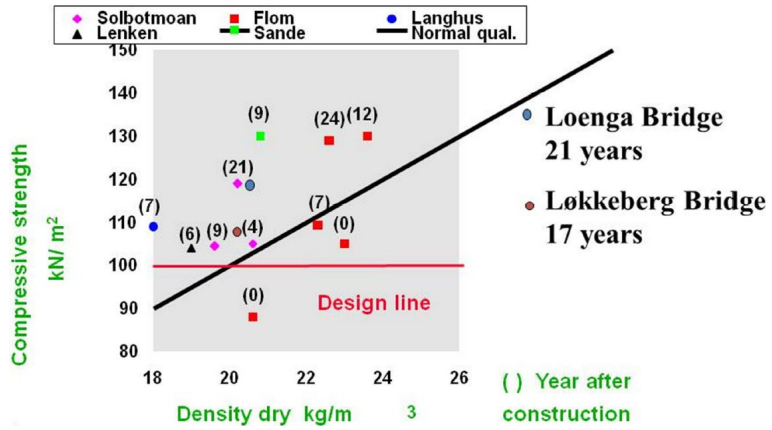


Şekil 2. Türkiye'de geofoam blok hafif dolgu geoteknolojisinin kilometre taşları: (a) Türkiye'deki ilk geofoam blok otoyol dolgusu (Acıbadem-Üsküdar/İstanbul; 2017) (b) KMO İstanbul Havalimanı VIP Terminal Kavşağı inşaat projesi (Tayakadın-Arnavutköy/İstanbul; 2019) (c) KGM'nin işvereni olduğu ilk proje (Boğazköprü-Kocasinan/Kayseri; 2019) (d) KMO U48 Üst Geçit Köprüsü yaklaşım dolguları yeniden inşaat projesi (Akyazı/Sakarya; 2021) (d) AYGM'nin işvereni olduğu ilk proje (Acıbadem-Üsküdar/İstanbul; 2024) (e) DHMİ'nin işvereni olduğu ilk proje (Pendik/İstanbul; 2024-2025) (Kaynak: https://geotechzemin.com/tip/geofoam-projeleri)



Şekil 2 (devamı). (g – j) Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin işvereni olduğu Gölcük-1 – Karşıyaka Kavşağı Arası D-130 Başiskele Koridoru Projesi kapsamında inşa edilmekte olan geofoam blok hafif dolgular (Başiskele/Kocaeli; 2025-2026; Fotoğraflar 07.07.2026 itibarı ile inşaat faaliyetlerini göstermektedir.) (Kaynak: https://geotechzemin.com/tip/geofoam-projeleri)

Geofoam blokların fiziksel ve mekanik özelliklerinin servis ömrü süresince ne ölçüde değiştiği geofoam teknolojisinin elli yılı aşkın geçmişi boyunca ilgi çeken bir araştırma konusu olmuştur. Bu konuda günümüze kadar gerçekleştirilen en kapsamlı araştırma, teknolojinin doğduğu ülke olan Norveç'te yapılmıştır. 1972 yılından itibaren geofoam blok hafif dolgu geoteknolojisi kullanılarak inşa edilmiş yol dolgularından numuneler alınmış ve bu numuneler üzerinde basınç dayanımı ve su muhtevası deneyleri yapılmıştır (Aabøe ve Frydenlund, 2011; Frydenlund ve Aabøe, 1996). Basınç deneyleri sonucunda, incelenen projelerin çoğunda geofoam blokların basınç dayanımlarında zaman içerisinde bir azalma meydana gelmediği ortaya konmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. Farklı servis süreleri boyunca trafik yüklerine maruz kalmış geofoam blok dolgulardan alınan numunelerin basınç dayanımları (Aabøe ve Frydenlund, 2011)

Geofoam blokların fiziksel ve mekanik özelliklerinde servis süresi boyunca bir azalmanın meydana gelmemesi, koşulların gerektirmesi durumunda, blokların aynı veya farklı bir amaçla yeniden kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Örneğin, 1989 yılında Norveç'in güneyinde (Norveç–İsveç sınırı civarında) yaklaşım dolguları geofoam bloklar kullanılarak inşa edilmiş olan iki köprü (Løkkeberg ve Hjelmungen köprüleri), 2006 yılında gerçekleştirilen şerit genişletme çalışmaları ve E6 Otoyolu güzergâhındaki değişiklikler nedeni ile mevcut konumlarından kaldırılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, sökülen 5000 metreküpün üzerindeki geofoam bloğun E6 Otoyolu Projesi kapsamındaki diğer dolguların inşasında yeniden kullanılabileceğine karar verilmiştir (Şekil 4). Ayrıca, 17 yıl boyunca trafik yüklerine servis veren geofoam blok köprü yaklaşım dolgularından alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen basınç deneyleri sonucunda, blokların basınç dayanımlarının asgari kalite koşullarının üzerinde kaldığı belirlenmiştir (Şekil 4) (Aabøe ve Frydenlund, 2011).



Şekil 4. (a) Løkkeberg Köprüsü yaklaşım dolgularında kullanılmış olan geofoam blokların oluşturduğu istif (b) Løkkeberg Köprüsü'nden gelen geofoam blokların başka bir projede yeniden kullanılması (Aabøe ve Frydenlund, 2011)

1972 yılından günümüze kadar Türkiye dâhil dünyanın birçok ülkesinde inşa edilen geofoam blok yol dolgularının halen servis vermeye devam etmesi, çeşitli projelerden farklı servis süreleri sonunda alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen fiziksel muayene ve deneylerden elde edilen bulgular ve aletsel gözlem (enstrümantasyon) istasyonlarından toplanan veriler birlikte değerlendirildiğinde, geofoam blokların servis koşulları altında fiziksel ve mekanik özelliklerini uzun süre koruyabildiği görülmektedir. Bununla birlikte, gerek yurt içi gerekse yurt dışındaki onlarca kanıtlanmış performans kaydına karşın, Türkiye'de geofoam blokların servis ömrü süresince bozunacağı, çürüyeceği, fiziksel ve mekanik özelliklerini yitireceği ve hatta tamamen yok olacağı yönündeki spekülasyonlarla halen karşılaşılmaktadır. Dolayısı ile geofoam blokların uzun dönem servis koşulları altında durabilitesi (dayanıklılığı), Türkiye'de geofoam geoteknolojisine ilişkin en çok merak edilen ve sıkça sorgulanan konular arasında yer almaktadır.

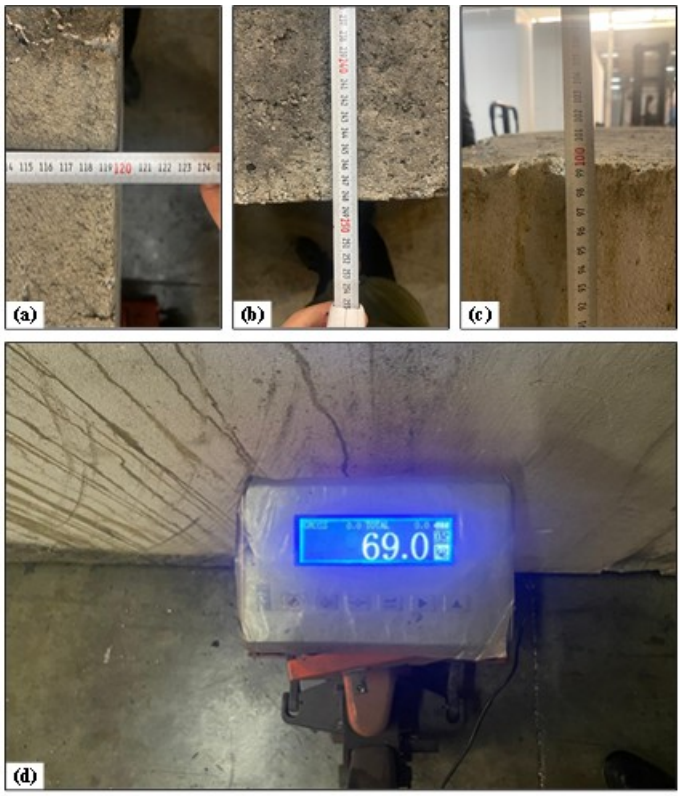
Türkiye'nin ilk geofoam blok yol dolgusu, 6,5 yılı aşkın servis süresinin ardından, Fikirtepe Köprülü Kavşağı inşaatının son aşamalarında trafiğe kapatılmıştır. Viyadük temellerinin inşası amacıyla yol dolgusu kaldırılmış olup, bu işlem sırasında geofoam bloklar dikkatlice çıkarılarak istiflenmiştir (Şekil 5). Bu çalışma kapsamında, çıkarılan geofoam bloklardan iki blok rastgele seçilmiş, üretim tesisine nakledilmiş ve başlıca fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.



Şekil 5. Türkiye'nin ilk geofoam blok yol dolgusunun kaldırılması (Acıbadem-Üsküdar/İstanbul, Şubat 2024)

2. FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ

Sahadan alınan geofoam bloklardan biri yedek numune olarak depoya alınmış, diğeri üzerinde ise fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi amacı ile muayene ve deneyler yapılmıştır. Seçilen blok üzerinde ilk olarak dış muayene yapılmış ve blok boyutlarının nominal blok boyutlarına (en: 1,20 m; boy: 2,50 m; yükseklik: 1,00 m) oldukça yakın olduğu, blok yüzeylerinin ise tıpkı bakir (fabrika çıkışı) blok yüzeyleri gibi düzgün olduğu tespit edilmiştir. Blok boyutları sırasıyla yaklaşık 1,195 m, 2,485 m ve 0,995 m, blok ağırlığı ise 69,0 kg olarak ölçülmüştür (Şekil 6). Ölçülen boyutlar ve ağırlık dikkate alınarak blok yoğunluğu yaklaşık 23,4 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Bu projede asgari yoğunluğu 22 kg/m³ olan geofoam bloklar kullanılmıştır. Buna göre, 6,5 yılı aşkın servis süresinin ardından ölçülen blok yoğunluğunun tasarımda belirtilen asgari yoğunluk değerinin altına düşmediği ortaya konmuştur.



Şekil 6. Geofoam blok numunesinin (a) eni (b) boyu (c) yüksekliği ve (d) ağırlığı

Fiziksel muayenenin ardından geofoam blok numunesi üretim tesisinde bulunan otomasyonlu sıcak tel kesim tezgâhında 5 cm kalınlığında levhalara dilimlenmiştir (Şekil 7a). Dilimlenen levhalardan, bloğun bütününü temsil edecek şekilde belirlenen bir numune alma protokolüne göre, 5×5×5 cm ölçülerinde deney numuneleri çıkarılmış (Şekil 7b ve 7c) ve bu numuneler üzerinde ASTM D1621 standardına göre monotonik yükleme deneyleri yapılmıştır (Şekil 7d). Çıkarılan toplam 20 numuneden biri üzerinde (numune no. 5.3) deney yapılamamıştır. Geri kalan 19 numune üzerinde yapılan deneylere asgari %25 eksenel birim boy kısalmasına ulaşılıncaya kadar devam edilmiştir. Deneylerden elde edilen ham veriler üzerinde, numune-plaka uyumlanması/oturması nedeni ASTM D1621 standardına göre başlangıç düzeltmesi yapılmıştır.

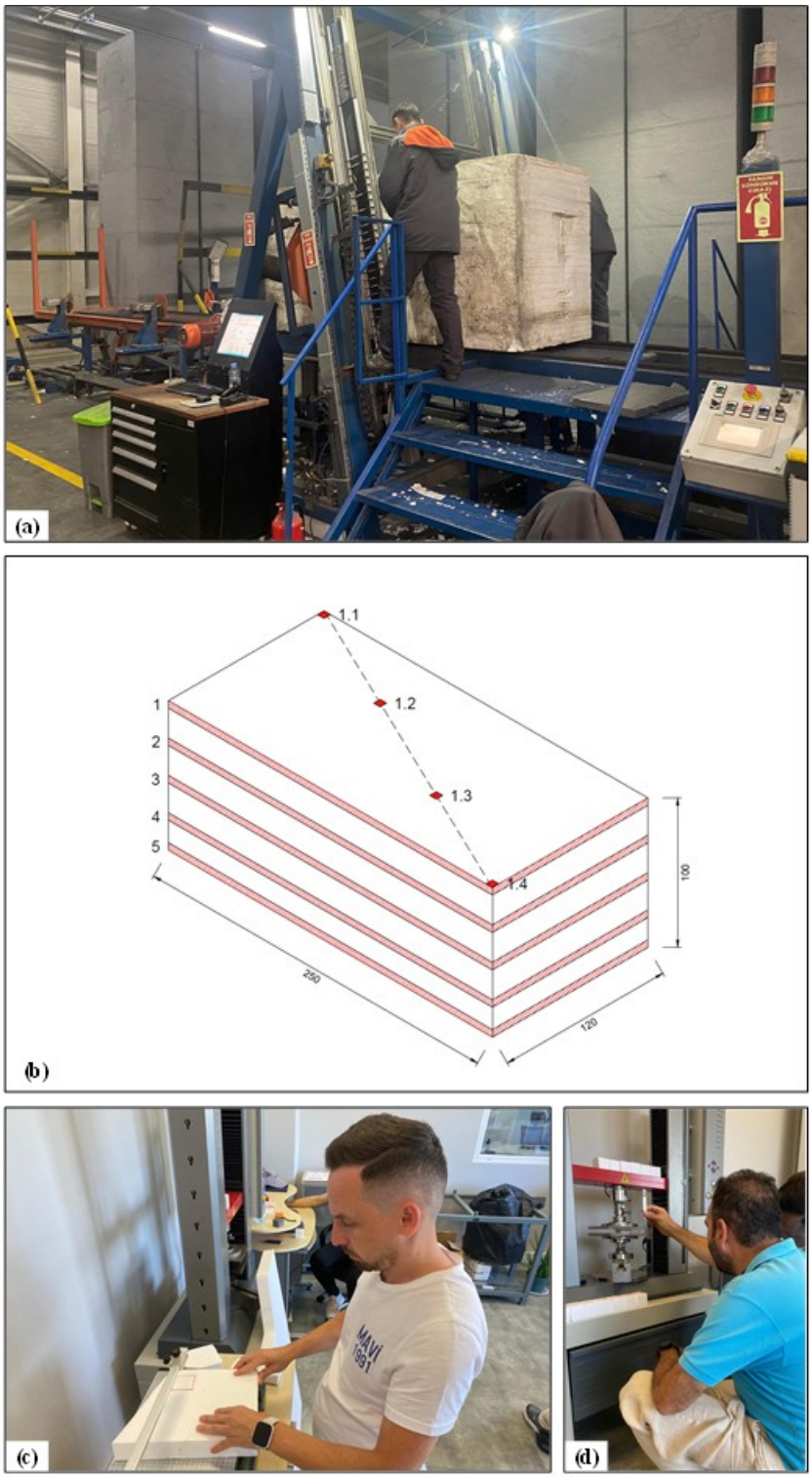
Monotonik yükleme deneyleri sonucunda elde edilen basma gerilmesi–eksenel birim boy kısalması eğrileri ile Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'de görüleceği üzere, basma gerilmesi–eksenel birim boy kısalması eğrilerinin yoğunlaştığı bir ana davranış bandı söz konusudur. Bu bandın üzerinde ve altında kalan eğriler bloğun heterojen yapısına işaret etmekte olup, bu eğrilerin çoğunlukla bloğun dış sınırlarına yakın bölgelerden çıkarılan numunelere ait olduğu görülmüştür. Ana davranış bandını oluşturan deneylerin belirlenmesinde aşağıda verilen iki aşamalı yöntem izlenmiştir:

1. Birinci aşama: EPS'nin tipik basma gerilmesi–eksenel birim boy kısalması eğrisinde %1 eksenel birim boy kısalması ilk doğrusal davranış bölgesinde, %5 ve %10 eksenel birim boy kısalmaları ise yenilme sonrası ikinci doğrusal davranış bölgesinde yer almaktadır. İlk doğrusal davranış bölgesinin eğimi ikinci doğrusal davranış bölgesine göre çok daha büyüktür ve bu nedenle CS1 değeri deney sınır koşullarından CS5 ve CS10'a oranla fazla etkilenebilmektedir. Bu nedenle ilk olarak, her bir deneyden elde edilen CS1 değerlerinden oluşan veri seti küçükten büyüğe sıralanmış ve CS1 değeri en düşük ve en yüksek %25'lik dilimlerde kalan deneyler değerlendirme dışında tutulmuştur. CS1 değeri birinci ve üçüncü çeyreklikler (Q1 ve Q3) arasındaki merkezî %50'lik bölümde kalan deneyler değerlendirmeye alınmıştır. CS1 değeri Q1–Q3 aralığının dışında kalan, ancak bu sınırlara çok yakın olan iki deney (numune no. 2.1 ve 4.2) ise sınır değerlerine olan yakınlıkları dikkate alınarak veri setinde tutulmuştur.

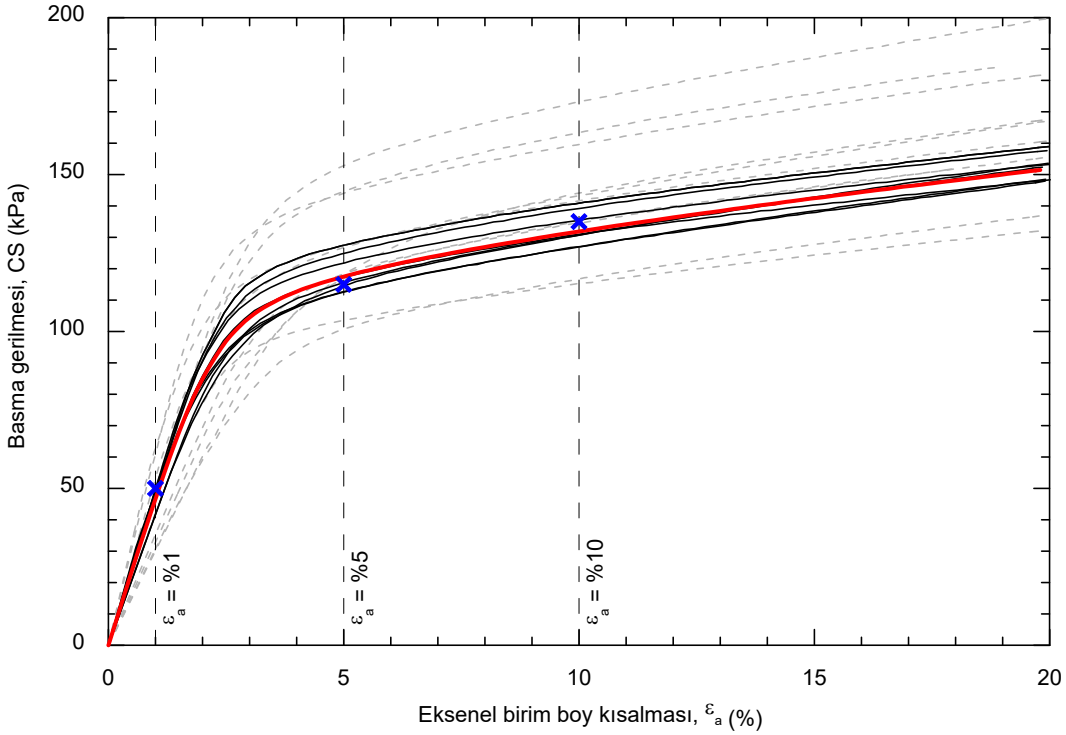
2. İkinci aşama: Birinci aşamadan geçen deneyler içerisinde CS5 ve CS10 değerleri veri setindeki diğer değerlerden belirgin biçimde ayrılan deneyler değerlendirme dışında tutulmuştur.

Her iki aşamadan geçen deneylerin geofoam blok numunesinin monotonik yükleme altındaki davranışını temsil ettiği kabul edilmiştir. Geofoam blok numunesinin bütününü temsil ettiği kabul edilen ana davranış bandı Şekil 8'de görülmektedir. Ana davranış bandının tek bir basma gerilmesi–eksenel birim boy kısalması eğrisi ile temsil edilebilmesi amacı ile bant içerisinde kalan deneylerden elde edilen veriler kullanılarak bir yapay zekâ programı aracılığı ile ayrıca bir ortalama eğri hesaplanmıştır (Şekil 8). CS1, CS5 ve CS10 basınç dayanımları için ana davranış bandının verdiği sınır değerler sırası ile 41,6-49,8 kPa, 110,7-127,5 kPa ve 124,8-140,9 kPa; ortalama değerler ise sırası ile 46,7 kPa, 117,5 kPa ve 131,9 kPa olarak belirlenmiştir. ASTM D6817 standardı tarafından belirtilen asgari değerler ise sırası ile 50 kPa, 115 kPa ve 135 kPa'dır. Bu sonuçlar, 6,5 yılı aşkın trafik yüklerine maruz kalan bir geofoam blok numunesi için basınç dayanımlarının ASTM D6817'de belirtilen asgari değerlerle genel olarak karşılaştırılabilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, asgarî değerlerin altında kalan basınç dayanımları da söz konusudur. Bu durumun, numune-plaka uyumlanması/oturması sonucunda basma gerilmesi–eksenel birim

boy kısalması eğrisinin ilk doğrusal davranış bölgesinin doğru olarak elde edilememesi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7. (a) Geofoam bloğun otomasyonlu sıcak tel kesim tezgâhında 5 cm kalınlığında levhalara dilimlenmesi, (b) geofoam bloktan deney numunesi çıkarma protokolü (c) masaüstü sıcak tel kesim cihazı ile levhalardan 5×5×5 cm boyutlarında deney numunelerinin çıkarılması (d) deney numuneleri üzerinde ASTM D1621 standardına göre monotonik yükleme deneylerinin yapılması



Şekil 8. Geofoam blok numuneleri üzerinde ASTM D6817 standardına göre yapılan monotonik yükleme deneyleri sonucunda elde edilen basma gerilmesi–eksenel birim boy kısalması eğrileri

3. SONUÇLAR

2017 yılında inşa edilerek trafiğe açılan Türkiye'nin ilk geofoam blok yol dolgusu, 6,5 yılı aşkın servis süresinin ardından, 2024 yılında Fikirtepe Köprülü Kavşağı viyadük temellerinin inşaatı kapsamında trafiğe kapatılmıştır. Proje sahasından alınan iki adet geofoam blok numunesi, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile üretim tesisinin laboratuvarına nakledilmiş ve burada muayene ve deneylere tabi tutulmuştur. Muayene ve deney sonuçları, 6,5 yılı aşkın süre boyunca servis ve trafik yüklerine maruz kalan geofoam bloğun fiziksel ve mekanik özelliklerini genel olarak koruduğunu ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

Aabøe, R., Bartlett, S.F., Duškov, M., Frydenlund, T.E., Mandal, J.N., Negussey, D., Özer, A.T., Tsukamoto, H., Vaslestad, J. (2019). Geofoam blocks in civil engineering applications. In: Arellano, D., Özer, A.T., Bartlett, S.F., Vaslestad, J. (Eds.), 5th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications: Proceedings of EPS 2018, Kyrenia, Northern Cyprus, 9–11 May 2018, 3–38. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78981-1_1.

Aabøe, R., Frydenlund, T.E. (2011). 40 years of experience with the use of EPS geofoam blocks in road construction. Proceedings of the 4th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications (EPS 2011), Lillestrøm, Norway, 6–8 June 2011.

ASTM D4439-23b. (2023). Standard Terminology for Geosynthetics. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

ASTM D6817/D6817M-17. (2021). Standard Specification for Rigid Cellular Polystyrene Geofoam. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

ASTM D1621-16(2023). (2023). Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Cellular Plastics. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.

Duškov, M. (1997). Materials research on EPS20 and EPS15 under representative conditions in pavement structures. Geotextiles and Geomembranes, 15(1–3), 147–181.

Frydenlund, T.E., Aabøe, R. (1996). Expanded polystyrene – The light solution. Proceedings of the International Symposium on EPS Construction Method (EPS Tokyo '96), EPS Construction Method Development Organization, Tokyo, Japan, 29–30 October 1996, 31–46.

NRRL, Norwegian Road Research Laboratory. (1992). Use of Expanded Polystyrene in Road Embankments—Design, Construction and Quality Assurance. Public Roads Administration, Oslo, Norway.

Ossa, A., Romo, M.P. (2010). Dynamic characterization of EPS geofoam. Geotextiles and Geomembranes, 29(1), 40–50.

Özer, A.T., Akay, O. (2022). Interface shear strength of EPS-concrete elements of various configurations. Journal of Materials in Civil Engineering, 34(6).

Özer, A.T., Akay, O. (2021). Shear strength characteristics of interlocked EPS-block geofoam-sand interface. Geosynthetics International, 28(5), 521–540.

Özer, A.T., Akay, O. (2016). Interface shear strength characteristics of interlocked EPS-block geofoam. Journal of Materials in Civil Engineering, 28(4).

Özer, A.T., Akınay, E. (2024). Construction of geofoam block embankments atop existing transportation infrastructure. Geosynthetics International, 31(1), 94–112.

Özer, A.T., Akınay, E. (2023). Geofoam blok geoteknolojisinin Türkiye'de karayolu uygulamalarında gelişimi. Karayolları 5. Ulusal Kongresi ve Sergisi, Ankara, 22–23 Kasım 2023.

Özer, A.T., Akınay, E. (2022). Geofoam blok otoyol dolgularının imalatlarında sıkça sorulan sorular. Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 18. Ulusal Konferansı (ZMGM18), Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 29–30 Eylül 2022, 385–394.

Özer, A.T., Akınay, E. (2019). First geofoam roadway embankment application in Turkey. In: Arellano, D., Özer, A.T., Bartlett, S.F., Vaslestad, J. (Eds.), 5th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications: Proceedings of EPS 2018, Kyrenia, Northern Cyprus, 9–11 May 2018, 71–80. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78981-1_5.

Özer, A.T., Akınay, E. (2017). Geofoam blok yol dolgusunun kısa vade performansının aletsel gözlemler ışığında değerlendirilmesi. Uluslararası Katılımlı 7. Geoteknik Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 22–24 Kasım 2017, 891–902.

Özer, A.T., Caymaz, P., Türer, E., Değer, T.T. (2022). Köprü yaklaşım dolgularının imalatında hibrit uygulama: Bohça önyüzlü geoarme duvar ve geofoam teknolojilerinin birlikte kullanılması. Dokuzuncu Ulusal Geosentetikler Konferansı (G9 2022), Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 23–24 Haziran 2022.

Stark, T.D., Arellano, D., Horvath, J.S., Leshchinsky, D. (2004). Geofoam Applications in the Design and Construction of Highway Embankments. NCHRP Web Document 65 (Project 24-11), Transportation Research Board, Washington, D.C.