

KÖPRÜ YAKLAŞIM DOLGULARININ İMALATINDA HİBRİT UYGULAMA: BOHÇA ÖNYÜZLÜ GEOARME DUVAR VE GEOFOM GEOTEKNOLOJİLERİNİN BİRLİKTE KULLANILMASI

A. Tolga ÖZER¹ Pınar CAYMAZ² Emrah TÜRER³ T. Tonguç DEĞER⁴

ABSTRACT

The U48 overpass approach embankments, located near Akyazı in the 6th region of the Northern Marmara Highway (KMO), were constructed with longitudinal slopes of 7.1% and 8.4%. Due to the right-of-way constraints, mechanically stabilized earth wall technology with wrapped around facing was selected to construct approach embankments reaching to a total height of 7.5 m – 8.5 m behind the abutments. Immediately after opening to traffic, steep longitudinal slopes created driving safety concerns and the need for reducing the longitudinal slope to about 5% was inevitable which required approximately 3.5 m high additional fill atop the existing mechanically stabilized earth approach embankments. This additional stress increase in the service loads required special solution to overcome the potential stability losses in both the internal and external stability of the existing approach embankments. Therefore, a portion of the existing approach embankments was removed as a stair-step configuration in a controlled manner to satisfy both the bearing capacity and settlement criteria. The remaining portions of the approach embankments were constructed with expanded polystyrene (EPS) block (geofoam block) technology to provide longitudinal slope of 5% without causing stability issues. The additional stress increase kept in the negligible levels by using geofoam blocks and rehabilitated approach embankments were opened to the traffic in July 2021. The design and construction stages of the first known hybrid bridge approach embankment (mechanically stabilized earth and geofoam blocks) constructed in Turkey are discussed in detail. An instrumentation array consisting of magnet settlement plates was installed to evaluate the long-term performance of the hybrid approach embankment under service loads. The short-term performance of embankments was evaluated.

ÖZET

Kuzey Marmara Otoyolu (KMO) altıncı bölgesi sınırları içerisinde, Akyazı mevkiinde yer alan, toplam iki şerit genişliğindeki U48 üst geçit köprüsü yaklaşım dolgularının boyuna eğimleri 7.1% ve 8.4% olacak şekilde inşa edilmiştir. Köprü kenar ayağı arkasında 7.5 m – 8.5 m yüksekliğe ulaşan yaklaşım dolgularının inşasında, kamulaştırma sınırından dolayı

¹ Doç. Dr., ÖZER, A. T., Gebze Teknik Üniversitesi, tolgaozer@gtu.edu.tr

² İnşaat Mühendisliği Uygulamaları Sorumlusu., CAYMAZ, P., Austrotherm Türkiye, pınar.caymaz@austrotherm.com.tr

³ İnşaat Yüksek Mühendisi, TÜRER, E., emrahturer@gmail.com

⁴ Genel Müdür Yardımcısı, Dr., DEĞER, T. T., İstanbul Teknik, tongucdeger@istanbulteknik.com

bohça önyüzlü geogrid donatılı duvar (geoarme) teknolojisi tercih edilmiştir. Trafiğe açıldıktan sonra yüksek boyuna eğimin yarattığı sürüş konforunda yaşanan sorunlar nedeni ile dolguların eğimlerinin %5'e düşürülmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu amaçla mevcut geoarme sistem üzerine yaklaşık 3.5 m yüksekliğe varan ilave dolgu inşasına ihtiyaç duyulmuştur. Servis yüklerinde oluşacak bu ilave gerilme artışlarının hem mevcut geoarme yaklaşım dolgusunun iç stabilitesi hem de dış stabilite açısından yaratacağı sorunlara karşı özel çözüm gereksinimi ortaya çıkmıştır. Bu amaçla, mevcut geogrid donatılı geoarme yaklaşım dolgusunun bir kısmı taşıma gücü ve oturma kriterini sağlamak amacıyla basamak şeklinde kontrollü olarak kaldırılmıştır. Yaklaşım dolgularının geri kalan kısmı ise %5 boyuna eğimi sağlayacak şekilde, ilave gerilme artışlarına sebebiyet vermeden genleştirilmiş polistiren (EPS) blok (geofoam blok) teknolojisi ile inşa edilmiştir. Geofoam blokların tercih edilmesi sayesinde ilave gerilme artışları ihmal edilebilir mertebelerde kalarak hibrit yaklaşım dolguları Temmuz 2021'de trafiğe açılmıştır. Ülkemizde bilinen iki farklı geoteknolojinin kullanıldığı ilk hibrit köprü yaklaşım dolgusunun tasarım ve imalat aşamaları kapsamlıca tartışılmıştır. Hibrit yaklaşım dolgusunun inşaat süresince ve sonrasında servis yükleri altında uzun vade performansını değerlendirmek amacıyla oturma plakalarından oluşan bir enstrümantasyon istasyonu kurulmuştur. Bu istasyondan toplanan veriler ışığında kısa vade performans değerlendirmesi ele alınmıştır.

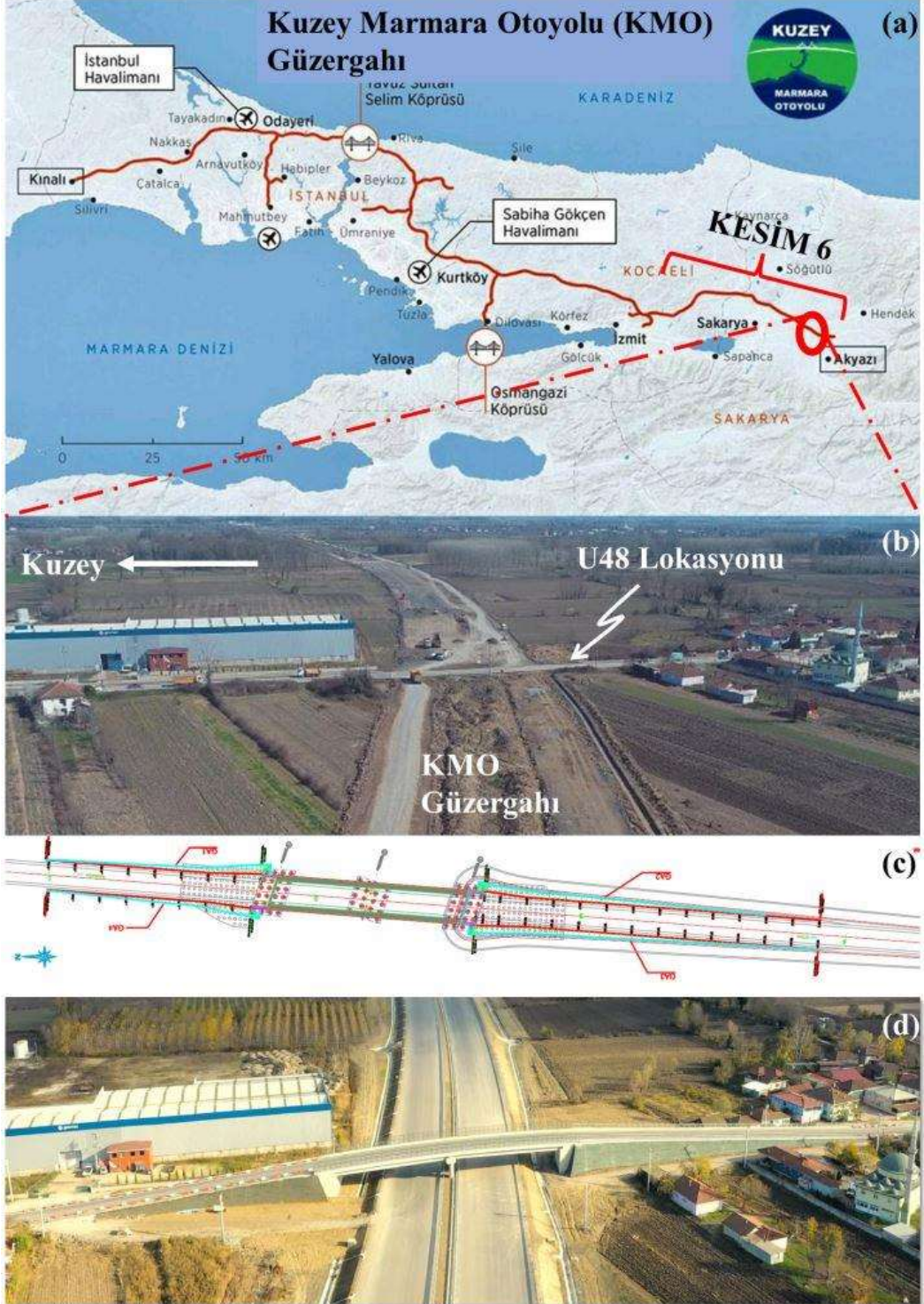
1. GİRİŞ

Marmara Bölgesinin kuzeyinde, doğu-batı istikametindeki transit trafiği yönlendirerek kesintisiz bir ulaşım koridoru oluşturmak ve İstanbul içi ulaşım ağındaki yükü hafifletmek amacıyla Kuzey Marmara Otoyolu (KMO) inşa edilmiştir (Şekil 1). KMO güzergahı Silivrinin batısında Kınalı mevkiinden başlayıp Sakaryanın doğusunda Akyazı İlçesinde sonlanmaktadır. KMO'nun İzmit – Akyazı kesimi arasındaki güzergah (Km: 223+000-Km: 251+111 arası) Kesim 6 olarak adlandırılmıştır (Şekil 1a).

Ana güzergah üzerinde Km: 247+923.960'da KMO'yu kuzey-güney yönünde kesen, ilçe içi ulaşımı sağlayan yolun (Şekil 1b) hizmetine devam edebilmesi için iki açıklıklı, bir gidiş, bir geliş olmak üzere toplam iki şeritten oluşan U48 üst geçit köprüsü inşa edilmiştir (Şekiller 1c ve 1d). Köprü'nün orta ve kuzey kenar ayakları 44 m derinliğinde, 1.2 m çapında fore kazıklardan oluşan derin temel sistemi üzerine inşa edilmişlerdir. Güney kenar ayağı ise, 40 m derinliğinde, 1.2 m çapında fore kazıklardan oluşan derin temel sistemine sahiptir. Kenar ayaklardan yaklaşık 30 m geriye kadar olan kesimde 2 m x 2 m karelaja sahip, 1.0 m çapında derin karıştırma kolonlardan oluşan zemin ıslahı uygulaması yapılmıştır (Şekil 1c). Güney kenar ayak arkasında yüksekliği 8.5 m (boyuna eğim %7.1) ve kuzey kenar ayak arkasında ise yüksekliği 7.5 m (boyuna eğim %8.4) olan köprü yaklaşım dolguları bohça ön yüzlü geoarme duvar teknolojisi ile inşa edilmişlerdir (Şekil 1d). Köprü trafiğe açıldıktan sonra yaklaşım dolgularındaki yüksek boyuna eğiminden dolayı sürüş konforunda yaşanan sorunlar nedeni ile dolguların eğimlerinin %5'e düşürülmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Yaklaşım dolgularının boyuna eğimlerinin %5'e düşürülmesi için mevcut geoarme sistem üzerine yer yer yaklaşık 3.5 m ilave dolgu yapılması gerekmektedir. Bu dolguların geleneksel yöntemlerle inşa edilmesi durumunda hem mevcut bohça ön yüzlü çift yönlü geogrid donatılı geoarme köprü yaklaşım dolgularının iç duraylılığı hem de sistemin dış stabilitesi açısından özel mühendislik çözümüne ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla ülkemizde ilk defa yol dolgusu olarak 2017 yılında kullanılmaya başlayan ve çeşitli yol ve otoyol dolgularının inşasında kullanılan (Özer vd., 2017; Özer ve Akınay, 2017; Özer ve Akınay

2019; Özer, 2020 ve 2021) geosentetik ailesi ürünlerinden hafif ve kapalı gözenekli yapıya sahip geofoam bloklar tercih edilmiştir. Geofoam bloklar ve bohça ön yüzlü çift yönlü geogrid donatılı geoarme teknolojilerinin birlikte kullanıldığı ülkemizdeki bilinen ilk hibrit köprü yaklaşım dolgusunun inşaat adımları kapsamıca ele alınmıştır.



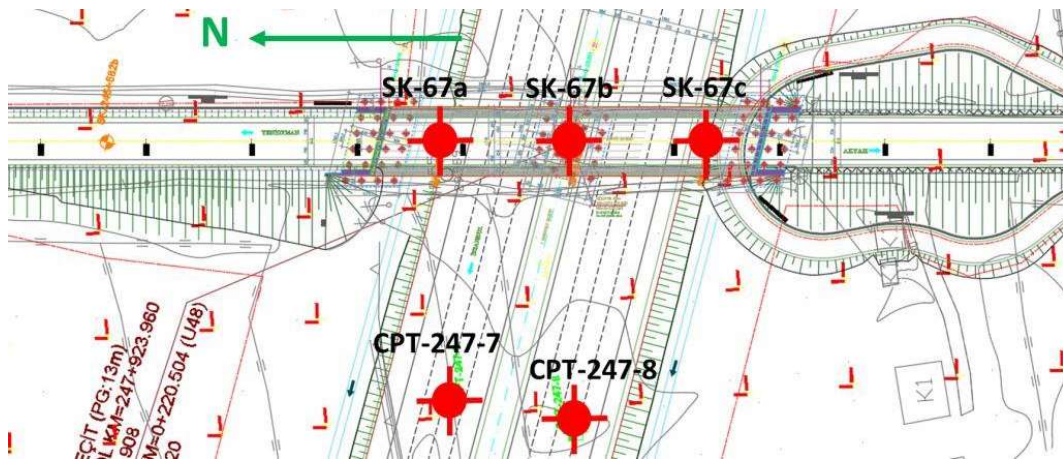
Şekil 1. Kuzey Marmara Otoyolu (KMO) Güzergahı U 48 Köprüsü Yer Bulduru Haritası (a) Kesim 6: İzmit – Akyazı Arası (b) U48 İnşaatı Öncesi (c) Akyazı U48 Köprüsü Plan Görüntüsü (d) U48 Köprü Yaklaşım Dolgularının Bohça Önyüzlü Geogrid Donatılı Geoarme Duvar Teknolojisi ile İnşa Edilmesi

2. YEREL ZEMİN KOŞULLARI

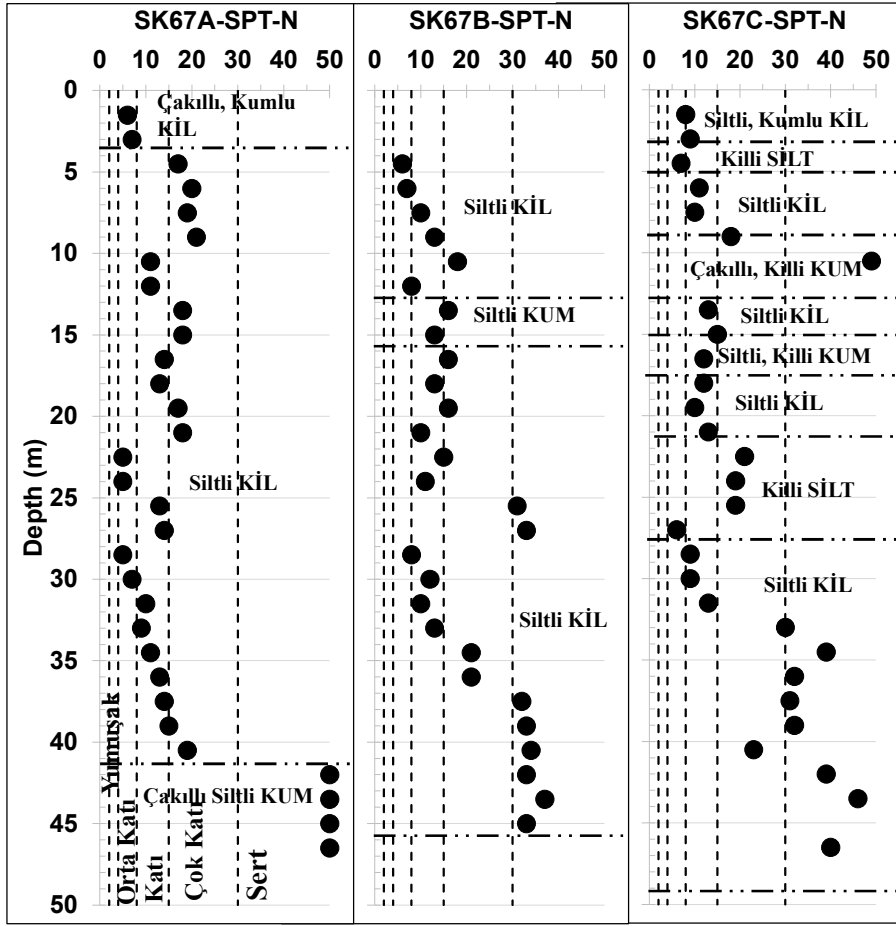
U48 Sahasında her bir kenar ayak ve orta ayakta olmak üzere derinlikleri 45 m – 50 m arasında değişen toplam 3 adet Standart Penetrasyon Testi (SPT) sondajları ve otoyol güzergah çalışmaları kapsamında U48 yakınlarında yapılan yaklaşık 21 m derinlikte 2 adet Piezecone (CPTu) penetrasyon testleri yapılmıştır (Şekil 2). SPT sondajlarını takiben her bir kuyuda Pressiyometre (PMT) testleri yapılmıştır. Bu kapsamlı arazi çalışmalarına ek olarak zemin sınıflandırması, kademeli yüklemeli (IL) konsolidasyon deneyleri ve konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) üç eksenli basınç deneylerinden oluşan laboratuvar test programı KMO Geoteknik tasarım ekibi tarafından yapılmıştır. Tüm bu veriler hibrit köprü yaklaşım dolgularının tasarımı kapsamında kullanılmak üzere KMO Yönetimi tarafından sağlanmıştır.

SPT sondajlarına göre yeraltı su seviyesinin 3.0 m - 7.5 m arasında değiştiği, sahadaki hakim zeminin siltli kil olduğu, yer yer killi silt, çakıllı killi kum, siltli killi kum ve çakıllı kumlu kil bantlarının yer aldığı görülmektedir (Şekil 3). SPT vuruş sayıları (N) yaklaşık 42 m den sonra refüze (N>50) değerlerine erişmekte olup, bu derinliğe kadar sahadaki killerin kıvamı SPT vuruş sayılarına göre genel olarak orta katı – katı bandında yer almaktadır (Şekil 3). CPTu sonuçlarından elde edilen uç drenc, q_c , sürtünme direnci, f_s ve boşluk suyu basıncı, u_2 profilleri Şekil 4’de verilmiştir. Birbirine yakın iki farklı lokasyonsa yapılan CPTu sonuçları birbirlerine yakın, tekrar edilebilir, sonuçlar vermiştir (Şekil 4). Ayrıca Robertson (1990) Zemin Davranış Tipi (SBT) İndeksi (I_c) sınıflandırma sistemine göre ilk 21 m için profilin killi silt – siltli kil – kil olduğu, yer yer siltli kum – kumlu silt – kum bantları geçişleri olduğu görülmekte olup (Şekil 4) SPT sondajlarından alınan örselenmiş zemin numuneleri üzerinde yapılan sınıflandırma deneyleri ile uyumlu sonuçlar göstermiştir (Şekil 3).

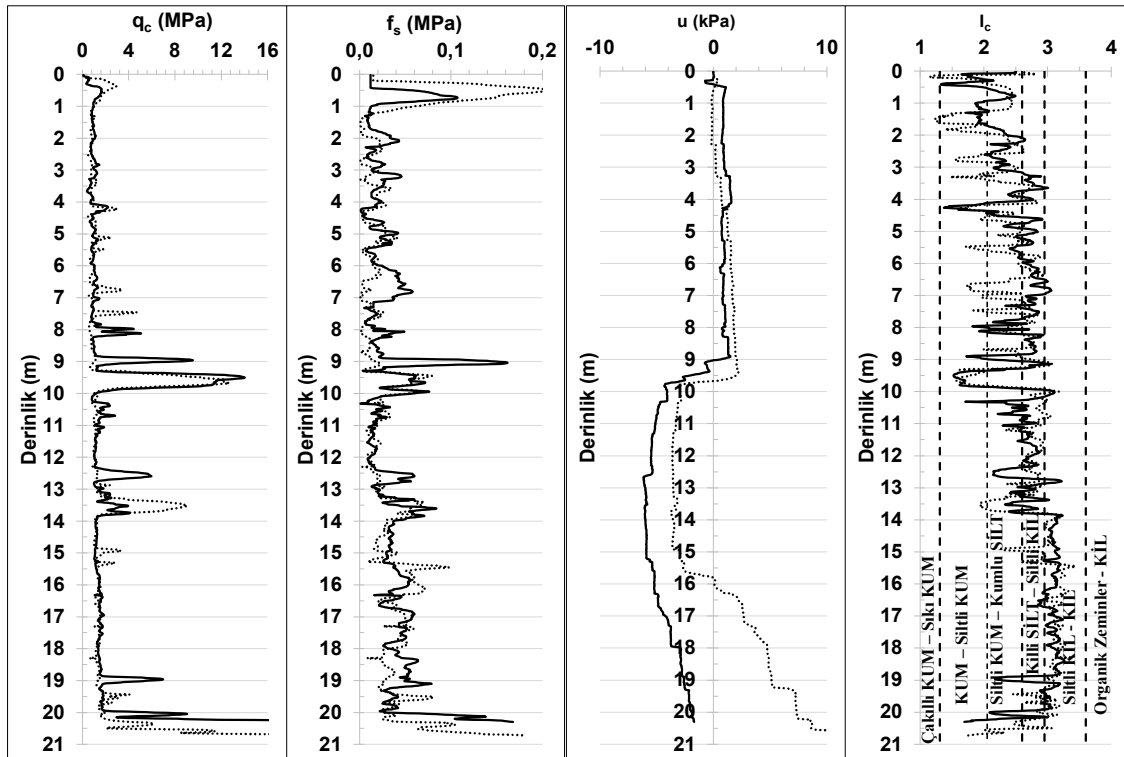
SPT sondajları sonrası kuyu içerisinde yapılan PMT deneyleri, SPT ve CPTu korelasyonları ve örselenmemiş numuneler üzerinden laboratuvarında konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) üç eksenli basınç deneyleri neticesinde oluşturulan drenajsız kayma mukavemeti (c_u) profilleri ise Şekil 5’de sunulmuştur. Drenajsız kayma mukavemeti profillerinden yerel zemin koşullarının kıvamının yaklaşık 35 m derinliğe kadar orta katı – katı arasında değiştiği, 35 m’den sonra ise çok katı’dan sert kıvama ulaştığı görülmüştür (Şekil 5). CPTu korelasyonları ve örselenmemiş numuneler üzerinden laboratuvarında IL konsolidasyon deneyleri neticesinde oluşturulan yerel zeminlerin konsolidasyon özellikleri profilleri ise Şekil 6’da sunulmuştur. Sahadaki ince daneli zeminlerin normal konsolide (NC) olduğu belirlenmiştir (Şekil 6).



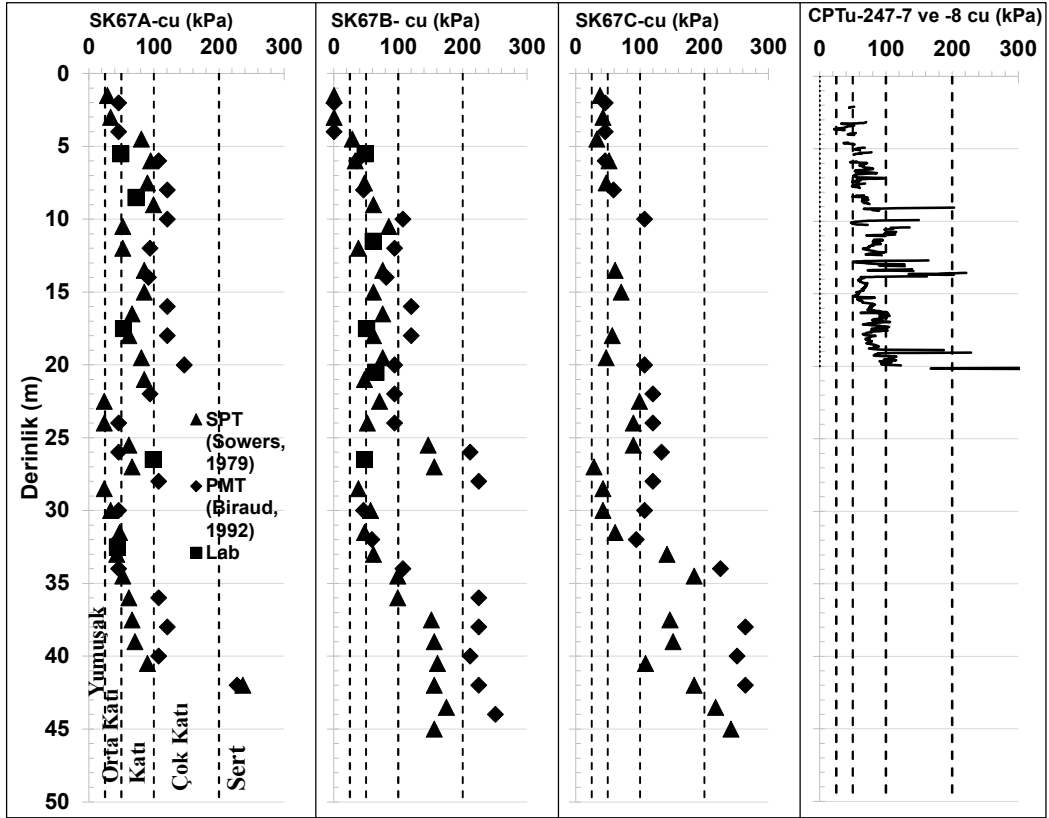
Şekil 2. KMO U 48 Köprüsü SPT Sondajları ve CPTu Deneyleri Yerleşim Planı



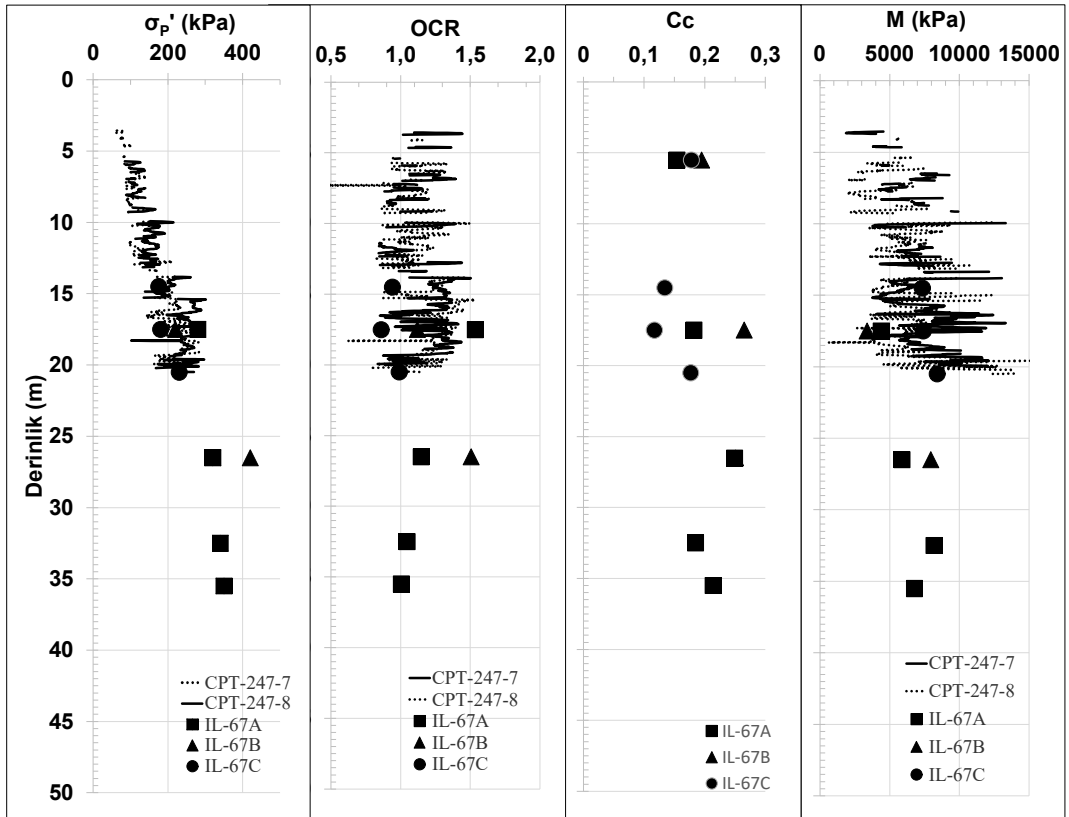
Şekil 3. KMO U48 Köprüsü SPT Sondaj Profilleri



Şekil 4. KMO U48 Köprüsü CPTu Profilleri ve Robertson (1990) Zemin Davranış Tipi (SBT) İndeksi (I_c) Sınıflandırması (CPT-247-7 Profili sürekli çizgi ve CPT-247-8 Profili kesikli çizgi olarak sunulmuştur)



Şekil 5. KMO U48 Köprüsü Drenajsız Kayma Mukavemeti (c_u) Profilleri (SPT (Sowers, 1979), PMT (Briaud, 1992), CPTu Korelasyonları ve Laboratuvar UU Deney Sonuçları)



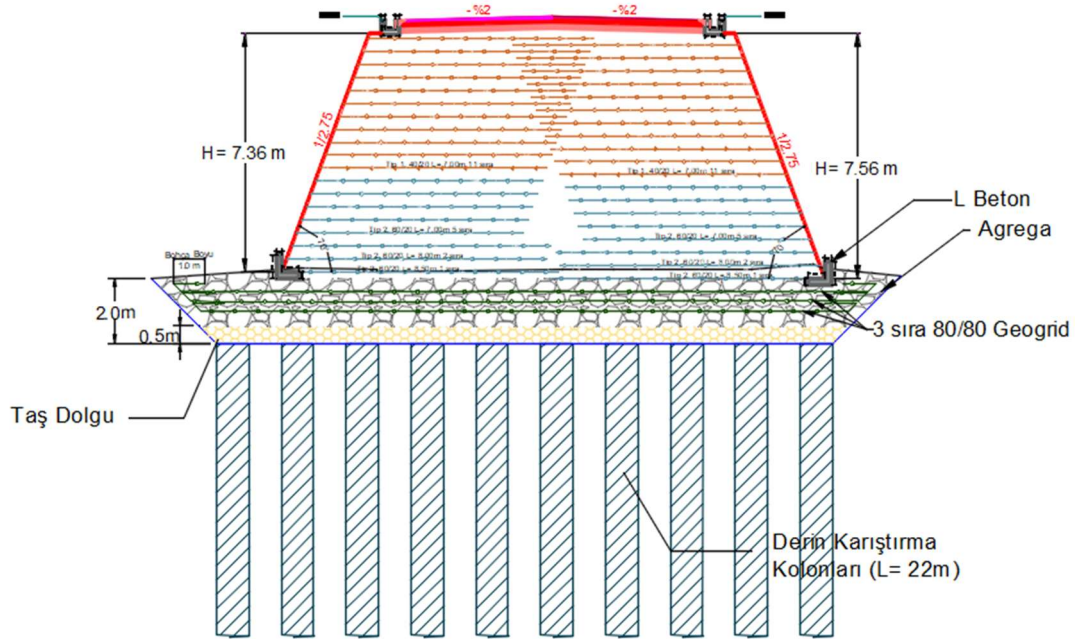
Şekil 6. KMO U48 Köprüsü Konsolidasyon Özellikleri (CPTu Pre-consolidation Stress (Agaib and Mayne, 2019) ve Konsolidasyon Modülü, M (Mayne, 2016) Korelasyonları ve Laboratuvar IL Deney Sonuçları)

3. GEOARME DUVAR

8.5 m yüksekliklere ulaşan yaklaşım dolgularının inşasında kamulaştırma sınırından dolayı istinat duvarı yapılması ihtiyacı olmuştur. Duvarın inşa edileceği yerel zemin koşullarının oturma potansiyeli yüksek, taşıma gücü düşük suya doygun killi silt, siltli kil ve kil olması (Şekiller 3, 4, 5 ve 6) nedeniyle güney yaklaşım dolgusunda 6 metreden yüksek olan duvarların, kuzey yaklaşım dolgusunda ise 5 metreden yüksek olan duvarların temelinde 2 m x 2 m kareajda, 1.0 m çapında ve 22 m uzunluğunda derin karıştırma kolonlardan oluşan zemin ıslahı uygulaması yapılmıştır. Derin karıştırma kolonlarının üzerine 3 sıra çift yönlü geogrid ile güçlendirilmiş 2 metre kalınlığında yük transfer platformu oluşturulmuştur (Şekil 7). Duvar hattı boyunca derin karıştırma kolonlarının imal edilmesinin ekonomik olmaması göz önüne alınarak belirtilen yüksekliklerden alçak duvarların tabanında derin karıştırma kolonları imal edilmemiştir (Şekiller 7 ve 8). Bu nedenle yaklaşım dolgularının inşasında istinat yapısı olarak esnek olması ve deformasyon toleransı göz önüne alınarak bohça ön yüzeyli geogrid donatılı toprak duvar (geoarme) tercih edilmiştir.

Geoarme tasarımları Amerikan Federal Yollar Dairesi tarafından hazırlanan FHWA-NHI-00-043 şartnamesine uygun olarak limit ve servis verebilirlik durumları göz önüne alınarak tasarlanmıştır. Yol üst yapı yükleri ve trafik yükleri 15 kPa ölü ve 15 kPa hareketli sürşarj yükü olarak tasarımda göz önüne alınmıştır.

Köprü trafiğe açıldıktan sonra yaklaşım dolgularındaki %8.4'e varan yüksek boyuna eğimden dolayı (Şekil 8) sürüş konforunda yaşanan sorunlar nedeni ile yaklaşım dolgularının eğimlerinin %5'e düşürülmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Yaklaşım dolgularının boyuna eğimlerinin %5'e düşürülmesi için mevcut geoarme sistem üzerine yer yer yaklaşık 3.5 m ilave dolgu yapılması gerekmiştir. Bu ilave dolguların geleneksel yöntemlerle inşa edilmesi durumunda ortaya çıkacak ilave servis yükleri, mevcut geoarmenin tasarımında ön görülen yüklerin çok üzerinde olması sebebiyle duvarların iç ve dış stabilitesi açısından sorun teşkil etmiştir. Bu nedenle gereken ilave dolguların imalatında mevcut geoarmeye ilave yük aktarmayacak bir mühendislik çözümüne ihtiyaç duyulmuştur.



Şekil 7. Geoarme ve Zemin İyileştirme Örnek Kesit Yerleşimi



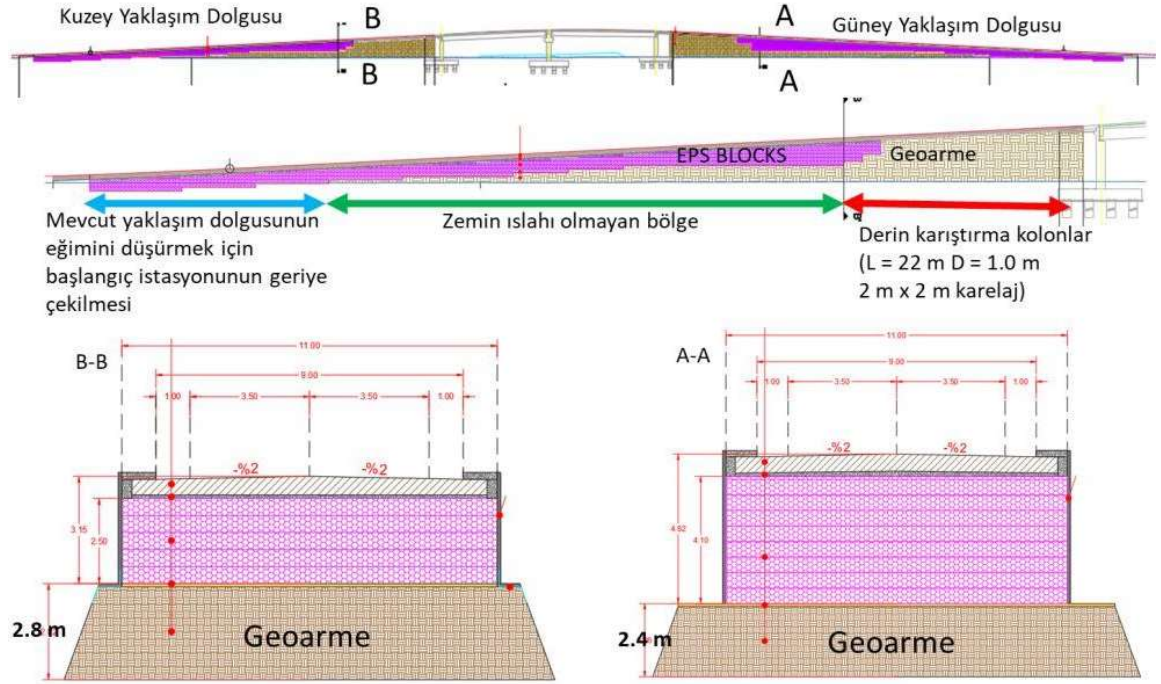
Şekil 8. KMO U48 Köprüsü, İnşaat Sonrası

4. PROJE TASARIMI VE MALZEME ÖZELLİKLERİ

Yaklaşım dolgularının boyuna eğimlerinin %5'e düşürülmesi için mevcut geoarme sistem üzerine yer yer yaklaşık 3.5 m ilave dolgu yapılması gerekmektedir. Bu dolguların imalatında bir önceki bölümde bahsi geçen stabilite kayıplarının yaşanmaması için geofoam blok teknolojisinden faydalanılmıştır. Geofoam blokların otoyol uygulamalarında kullanılmasına yönelik çeşitli tasarım şartnameleri mevcuttur (NRL, 1992; Stark vd., 2004a ve 2004b; EUMEPS, 2014).

Dünyada ilk defa 1972 yılından itibaren kullanılmaya başlanan geofoam blok teknolojisi, pek çok ülkede kullanılan, olgunlaşmış bir geoteknolojidir (Aabøe, 2019). Ülkemizdeki ilk geofoam blok yol dolgusu Nisan 2017'de trafiğe açılmıştır (Özer ve Akınay 2019). Bu uygulama ile geofoam teknolojisi ülkemiz koşullarına uyarlanarak tasarım mühendislerimizin çözüm yelpazesine yeni bir geoteknoloji tanıtılmıştır. Uygulama ve teknik altyapısının 2017'deki proje sayesinde oluşturulduğu geofoam teknolojisinin ülkemizdeki ilk otoyol dolgularında kullanımı ise Mayıs 2019'da KMO kapsamında İstanbul Havalimanı kavşağında inşa edilen dolgu ile hayata geçmiştir (Özer, 2021; 2020). Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) bünyesindeki ilk geofoam blok uygulaması ise Ekim 2019'da trafiğe açılmıştır (Özer, 2021; 2020).

Ülkemizdeki inşa edilen diğer geofoam blok yol ve otoyol dolgularında olduğu gibi, bu vaka analizinde de NCHRP (Stark vd., 2004a ve 2004b) şartnamesine göre tasarım yapılmıştır. Tasarımın ilk aşamasında hibrit yaklaşım dolgusunun dış stabilitesi ele alınmıştır. Dış stabilite analizlerine göre, zemin ıslahı yapılmayan bölgeler için (Şekil 8), izin verilebilir oturma kriterini sağlayacak bohça ön yüzü çift yönlü geogrid donatılı geoarme köprü yaklaşım dolgularının yükseklikleri her bir yaklaşım dolgusu için ayrı ayrı belirlenmiştir (Şekil 9). Eğimi %5'e düşürmek amacıyla gerekli olan hafif dolgu malzemesinin imalatı için mevcut geoarme yaklaşım dolgusunun dış stabilite kriteri uyarınca basamaklı şekilde kontrollü olarak kazılması planlanmıştır (Şekil 9). NCHRP (Stark vd., 2004a ve 2004b) tasarım şartnamesine göre yapılan iç stabilite analizleri neticesinde trafik yükleri ve ölü yükler altında sistemde kullanılacak olan geofoam blok yoğunluğu 24 kg/m^3 (ASTM D6817, 2021'e göre EPS22 olarak sınıflandırılmaktadır) olarak seçilmiştir.



Şekil 9. KMO U48 Köprüsü Hibrit Yaklaşım Dolgusu Tasarım Kesitleri

5. İMALAT AŞAMALARI

Hibrit köprü yaklaşım dolgularının imalatı için öncelikle kazı planında verildiği şekilde (Şekil 9) mevcut geoarme dolguda kontrollü kazı gerçekleştirilerek (Şekil 10a -10d) geofoam blok dizilimi için hazır hale getirilmiştir (Şekil 10e). Kazı yüzeyi istenilen kota eriştikten sonra, hibrit yaklaşım dolgusunun geofoam bloklardan teşkil edilecek kesimi için 10-15 cm kalınlığında temel tesviye kum (iyi derecelendirilmiş kum) tabakasının serilmesi ile imalata başlanmıştır (Şekil 11a). Temel tesviye kumunun serilmesinin ardından, 50 cm yüksekliğinde, 125 cm genişliğinde ve 250 cm uzunluğundaki geofoam bloklar kullanılarak blok yerleşimi yapılmıştır. Blok yerleşimi sırasında herhangi bir katmanda yer alan blokların uzunlamasına olan aksları komşu sıralarda yer alan blokların uzunlamasına olan akslarına dik olacak şekilde şaşırtılarak yerleştirilmiştir (Şekil 11c-d). Ayrıca herhangi bir sıradaki blokların düşey birleşim yerleri komşu sıradaki blokların düşey birleşim yerleri ile sürekli olmayacak şekilde şaşırtılmıştır (Şekil 11).

Son sıra geofoam blok imalatını takiben, betonarme yük yayma platformu imalatı için donatılar yerleştirilerek (Şekil 12a) betonarme yük yayma platformu imal edilmiştir (Şekil 12b). Betonarme yük yayma platformunu imalatını takiben Karayolları Teknik Şartnamesine (KTŞ) uygun plent-mix temel (PMT) malzemesi (Şekil 12c) serme-sıkıştırma prosedürü ile yerleştirilmiştir. PMT yük yayma platformunun üzerine önden yüklemeli keççeler vasıtası ile itilerek yerleştirilerek, imalat sırasında hiçbir şekilde araç ya da iş makinelerinin direkt olarak betonarme yük yayma platformunun üzerinden geçmemesi sağlanmıştır (Şekil 12c). Daha sonra, esnek üst yapının son katmanını oluşturan bitümlü sıcak karışım (BSK) uygulaması yapılmıştır (Şekil 12d). Geofoam blok dolgu şevlerinin doksan derece dik eğimli teşkil edildiği durumlarda geleneksel olarak blokları dış etkenlerden korumak adına prekast betonarme paneller kullanılmaktadır. U48 sahasındaki imalat koşulları göz önüne alındığında doksan derece dik eğimli kısımların dış etkenlerden korunması için püskürtmeli beton uygulaması tercih edilmiştir (Şekil 12e).



Şekil 10. KMO U48 Köprüsü Güney Geotarme Yaklaşım Dolgusunun Kontrollü Olarak Kazılması (a) Kazı Öncesi (b-d) Kontrollü Kazı İşlemi (e) Kazı İşleminin Tamamlanması



Şekil 11. KMO U48 Köprüsü Geofabric Blok Yerleşimi (a-d) Blokların Yerleşim Planına Göre Sahada Dizilimlerinin Yapılması



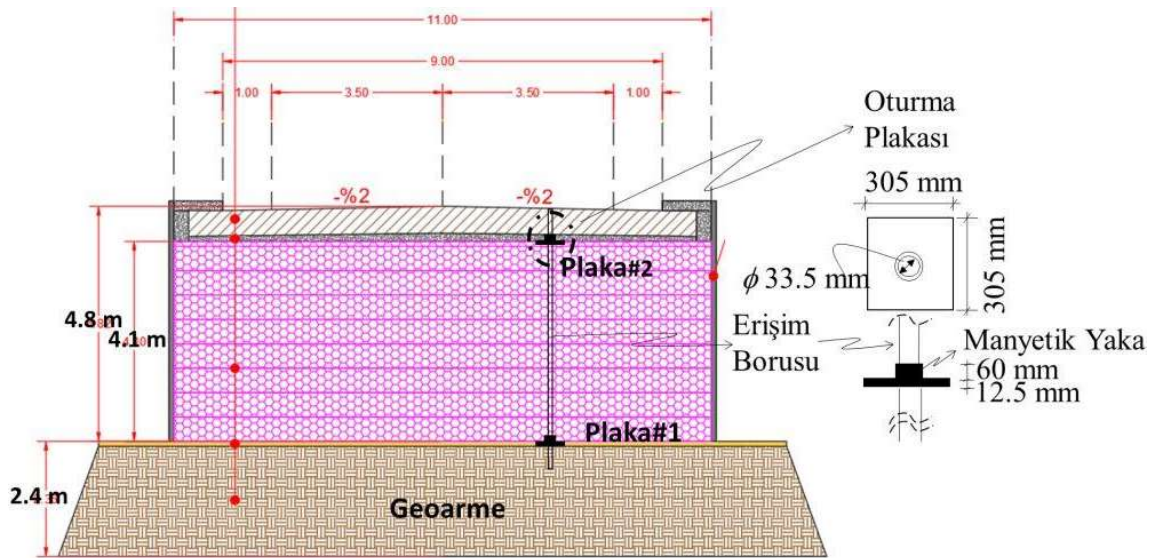
Şekil 12. KMO U48 Köprüsü Esnek Üstyapı İmalatı (a-b) Betonarme Yük Yayma Platformu (c) PMT Serme-Sıkıştırma (d) BSK ve (e) Püskürtme Beton İmalatları

6. KISA VADE ENSTRÜMANTASYON VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ülkemizde ve yurtdışında geofom blok yol-otayol dolgularının ve köprü yaklaşım dolgularının oturma performanslarının gözlemlenmesinde başarı ile kullanılan mıknatıslı oturma plakaları (Özer 2021; 2020; Özer ve Akınay, 2019; Farnsworth vd., 2008; Bartlett vd., 2000) bu projede de uzun vade performansını ölçmek amacıyla kullanılmışlardır. Bu amaçla, biri geofom dolgu üzerinde (temel tesviye kumu içerisinde, Plaka #1), diğeri ise geofom blok yerleşiminin son sırasının üzerinde (betonarme yük yayma platformunun altında, Plaka #2) olmak üzere toplam iki adet oturma plakasından oluşan bir enstrümantasyon istasyonu kurulmuştur (Şekil 13). Bu istasyon güney hibrit yaklaşım dolgusunda, en yüksek geofom dolguya sahip kesitinde, teşkil edilmiştir (Şekil 13).

Manyetik oturma plakaları 305 mm (en) x 305 mm (boy) x 12.5 mm (kalınlık) boyutlarında PVC'den imal edilmiş kare şeklinde bir plakadan ve bu plakaya monte edilmiş 33.5 mm iç çapında ve 60 mm dış çapında manyetik bir yakadan oluşmaktadır (Şekil 13).

Manyetik oturma plakalarının konumları okuma probu ile ölçülerek bir önceki okumalara göre rölatif deformasyonlar 3 mm hassasiyetinde belirlenebilmektedir (Şekil 13).



Şekil 13. KMO U48 Köprüsü Güney Yaklaşım Dolgusu Enstrümantasyon İstasyonu

Esnek üst yapı imalatından sonra, Plaka2'de deplasman 16 mm olarak ölçülmüştür. Plaka#1'de herhangi bir yer değiştirme tespit edilmemiştir. Dolayısı ile ölü yükler altında inşaatın tamamlanmasından sonra meydana gelen bu deformasyon hibrit dolgu sisteminin geofom blok imalatında olup, toplam geofom dolgu yüksekliğinin yaklaşık %0.4'ü kadardır. Bu değer, geofom bloklar için inşaat sonrası izin verilen elastik deformasyon limitinin (%1) altındadır.

Esnek üst yapı imalatının tamamlanmasından 25 Mayıs 2022 tarihinde alınan son okumalara kadar geçen yaklaşık 350 günlük bir süre boyunca veriler periyodik olarak toplanmıştır. Yolun trafiğe açılmasını takiben yaklaşık 350 gün sonra ölçülen deformasyon 22 mm mertebesinde olup, inşaat sonrasında (esnek üst yapının tamamlanmasından) günümüze kadar geçen süre zarfında yaklaşık %0.1 akma deformasyonu (creep) meydana gelmiştir. Bu kısa süre zarfında toplanan verilerden uzun vadede 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.

7.SONUÇLAR

Ülkemizde geoarme ve geofoam teknolojilerinin birlikte kullanıldığı bilinen ilk hibrit köprü yaklaşım dolgusu inşa edilmiştir. Geofoam bloklar kullanılarak sistemde herhangi bir iç ve dış duraylılık kaybına sebebiyet vermeyecek şekilde mevcut geoarme yaklaşım dolgularının eğimleri yol sürüş güvenliğini sağlamak amacıyla %5'e düşürülmüştür.

İnşaat sonrasında geofoam blokların deformasyonlarının izin verilebilir elastik limit deformasyonunun altında kaldığını göstermiştir. Trafiğe açıldıktan sonra geçen yaklaşık 350 gün boyunca toplanan veriler kullanılarak yapılan uzun vade projeksiyon, yapının ekonomik ömrü boyunca beklenen sünme deformasyonlarının izin verilebilir sınırlar içerisinde kalabileceğini göstermiştir.

Bu vaka analizinde geofoam blokların geoarme sistemler ile kullanılarak köprü yaklaşım dolgularında ve otoyol dolgularında hibrit geoteknoloji olarak tasarlanabileceğini göstermektedir. Bu çalışma sonuçları, sadece rehabilitasyon projelerinde değil aynı zamanda yerel zemin koşullarına göre iki farklı geosentetik teknolojisinin bir arada hibrit bir çözüm olarak tasarlanabilmelerine ışık tutmaktadır.

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., Bartlett S., Vaslestad J. (eds) Proceedings of 5th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications (EPS2018), Kyrenia, May 9-11, 2018, 3-38.
- Agaiby S.S. and Mayne P.W. (2019) "CPT Evaluation of Yield Stress Profiles in Soils" Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 145, No.12, pp.1-15.
- ASTM Standard D1621 (2016) "Standard Test Method for Compressive Properties Of Rigid Cellular Plastics". American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.
- ASTM Standard D6817 (2021) "Standard Specification for Rigid Cellular Polystyrene Geofoam". American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, USA.
- 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.
- Briaud J.L. (1992). "The Pressuremeter" A.A. Balkema, Rotterdam.
- European Manufacturers of Expanded Polystyrene (EUMEPS) (2014) "EPS White Book, EUMEPS Background Information on Standardisation of EPS" Version: 15/10/2014.
- 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.
- Mayne, P. (2006) "In-situ test calibrations for evaluating soil parameters" Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils, Volume 3., pp.1-57.
- 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. (2021) “Geofoam: The use of EPS Blocks in Civil Engineering Applications”, Austrotherm Turkey, Istanbul, Turkey. ISBN: 978-605-69266-1-7.
- Özer, A. T. (2020). “Geofoam: İnşaat Mühendisliğinde EPS Blok Uygulamaları”, Austrotherm Türkiye, İstanbul, Türkiye, ISBN: 978-605-69266-0-0
- Özer, A. T. ve Akınay, E. (2019) “First geofoam roadway embankment application of Turkey”, 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, 71-80.
- Özer, A. T., Akınay, E. Ve Türer, E. (2018) “Geofoam Blokların İstinat Duvarı Uygulamalarında Kullanılması”, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 17. Ulusal Konferansı, 26-28 Eylül 2018, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Özer, A. T. ve Akınay, E. (2017) “Geofoam Blok Yol Dolgusunun Kısa Vade Performansının Aletsel Gözlemler Işığında Değerlendirilmesi”, Uluslararası Katılımlı 7. Geoteknik Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Kasım 22-24, pp. 891-902.
- Özer, A. T., Danyıldız, E., Akınay, E., Laçın, L., Alioğlu, Ö. K., İnallı, D., Vanlı, S., Dönmez, Ç., Özyayın, İ. K., Çelik, A., İreç, U., Tuğral, M. A., Marangoz, D. ve Marangoz, K. (2017) “Geofoam Blokların Gömülü Boru Hatları Üzerine İnşa Edilecek Yol Dolgularının İnşasında Kullanılması: Bir Vaka Analizi”, Yedinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, G7 2017, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Mayıs 11-12, pp. 137-152.
- Robertson, P. K. (1990) “Soil Classification Using the Cone Penetration Test”, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 27, pp.151 – 158.
- Sowers, G. F. (1979). “Introductory Soil Mechanics and Foundations,” 4th edition, Macmillan, New York.
- Stark, T.D., Arellano, D., Horvath, J.S. ve 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. ve Leshchinsky, D. (2004b) “Guideline and Recommended Standard for Geofoam Applications in Highway Embankments”. NCHRP Report 529, Transportation Research Board, Washington, D.C.