

## TOPRAKARME DUVAR TABAN ZEMİNLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ VE HAREKETLERİN GÖZLENMESİ

### GROUND IMPROVEMENT TECHNIQUES AND MONITORING OF MECHANICALLY STABILIZED EARTH WALL

Mustafa Serdar NALÇAKAN<sup>1</sup>

#### ÖZET

Istanbul'da yapımı tamamlanan 30m. yüksekliğinde bir toprakarme duvarın taban zeminleri kalınlığı 6.00-13.5m. arasında değişen kontrolsüz dolgu zeminler ile düşük mukavemetli alüvyonal zeminlerden oluşmaktadır. Toprakarme duvar taban zeminleri detaylı zemin etüd çalışmaları yapılarak incelenmiş ve duvarın 10m. yükseklikte 3 kademe ve kademeler arası 5m. palyeli olacak şekilde yapılmasına karar verilmiştir. Toprakarme duvarların taban zeminlerinin alüvyon ve dolgu olan kesimlerinin iyileştirilmesine, grovak taban kayaçlarında olan kesimlerinin ise doğrudan inşa edilmesine karar verilmiştir. Zemin iyileştirmesi olarak dolgu ve yumuşak alüvyonal kesimlerin grovak kayaçlarına kadar olan seviyelerinin kaldırılabilceği derinliklerde kaldırılarak yerine gro-beton geri dolgu yapılmasına, kaldırılamayacak kalınlıkta dolgu ve alüvyonların olduğu kesimlerin ise alüvyonal zeminlerde jet enjeksiyonu ile iyileştirilmesine, dolgu olan kesimlerin ise fore kazıklı temeller ile iyileştirilmesi karar verilmiştir. Toprakarme duvarların zemin iyileştirmesi yöntemlerine bağlı olarak davranışının gözlenmesi amacıyla toprakarme duvar alt panellerine topografik röperler yerleştirilmiş ve duvar taban panellerinin yatay ötelenmeleri ve düşey deplasmanları ölçülmüştür. Ölçümler yaklaşık 16 aylık bir süreç boyunca özellikle üç farklı kesimde alınmıştır. Bu kesimler doğrudan taban grovak kayaçlarına oturan duvarlar ile dolgu-alüvyon zeminler kaldırılıp yerine gro-beton doldurulan duvarlar, jet enjeksiyonu ile iyileştirilmiş duvarlar ve temelleri kazıklı temeller ile yapılmış toprakarme duvarlar olmak üzere üç farklı bölge olarak gözlenmiştir. Makalede yapılan iyileştirmeler ve alınan topoğrafik ölçümlerin zaman ve duvar yüksekliğine bağlı olarak performansı değerlendirilecektir.

*Anahtar Kelimeler: Zemin iyileştirmesi, Toprakarme Duvarlar, Aletsel Gözlem*

<sup>1</sup> Dr. İnş. Yük. Müh., KILCI MUHENDISLIK Ltd. Şti. Ankara - TÜRKİYE, msn@kilci.com.tr

## ABSTRACT

30m. high Mechanically Stabilized Earth wall was constructed in Istanbul-Turkiye. Site investigation programs were carried out using boreholes, field and laboratory tests and deep test pit excavations in details. Ground conditions consist of 6.00 to 13.5m. thick of fill materials and soft alluvial deposits. Reinforced earth wall was constructed by 3x10m. in heights with 5m. berm intermediate levels. It was decided to improve ground conditions under 30m. high reinforced earth wall by three different methods. These methods are; Replacement of fill material and alluvial deposits by lean concrete where depth of the problematic soils are limited to 3-6m, Jet grouting method of ground improvement where depth of soft alluvial deposits are too deep to replace and finally piled foundations where depth of fill material is too thick. In order to monitor behavior of reinforced earth walls depending on the foundation soil improvement methods, topographical landmarks were placed on the lower panels of the Mechanically Stabilized Earth wall and the horizontal and vertical displacements were measured. Measurements were taken in three different zones over a period of approximately 16 months. These sections are; walls resting directly on the base rock or replacement was done with lean concrete, walls where foundation soils are improved with jet grouting and walls where foundations are resting on piles. In this paper, the improvements and the performance of the walls according to topographic measurements will be evaluated.

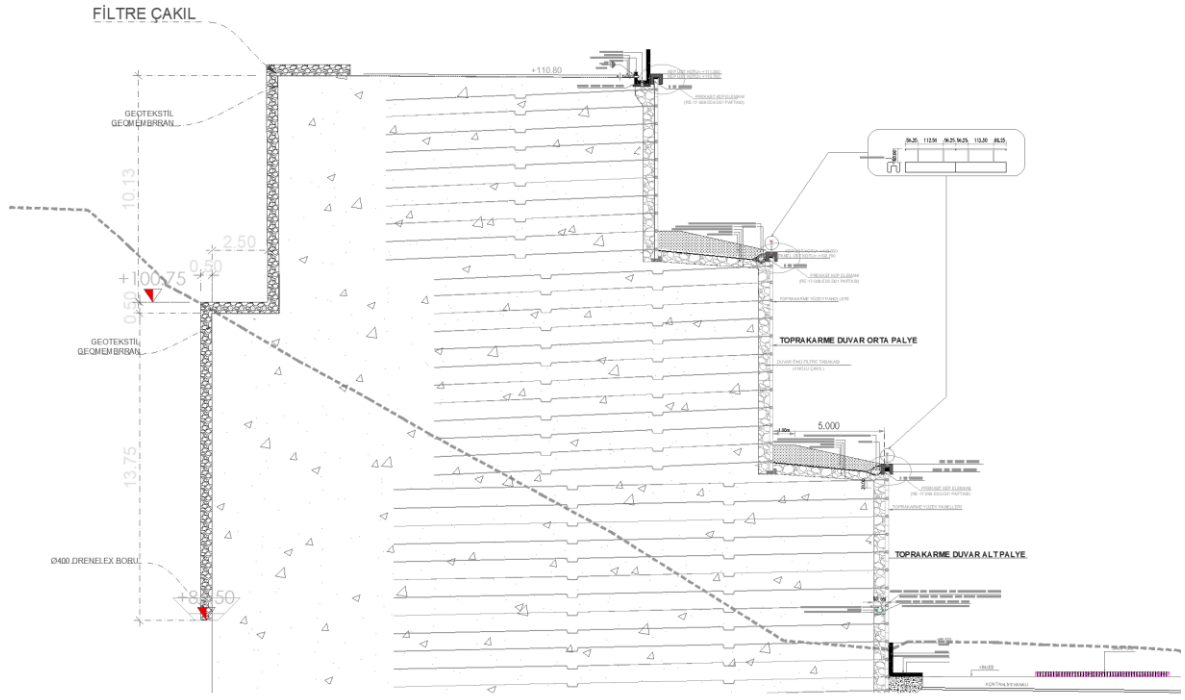
*Keywords: Ground Improvement, Mechanically Stabilized Earth Wall, Instrumentation*

## 1. GİRİŞ VE ZEMİN DURUMU

Istanbul Başakşehir Çam ve Sakura Hastanesi projesi kapsamında eğimli arazi yapısından dolayı yüksekliği 30m'ye ulaşan istinat duvarı imalatları yapılması gerekmiştir. Yüksek duvarın Toprakarme duvar olarak inşa edilmesine karar verilmiştir. Toprakarme duvarların her 10m. yükseklikte 5.0m. genişliğinde palyeler teşkil edilerek yapılması uygun görülmüştür. Şekil.1. Şerit boylarının tabanda 21-23-25m. mertebesinde olacağı duvarlarda taban oturum alanları oldukça kapsamlı bir zemin etüd sondaj ve derin Araştırma çukurları ile araştırılmıştır (Mayıs 2017-Ekim 2017). Şekil.2.

Sondajlarda zemin yapısı üst seviyelerde değişik kalınlıklarda kontrolsüz yapılmış dolgu zeminler, altında dere yatağı yumuşak alüvyonları ve en derinde ise Grovak-Kumtaşı kayalarından oluşmaktadır. Kontrolsüz Dolgu zeminlerin kalınlığı 3.00m'den başlayıp en derinde 13.5m'ye kadar ulaşmaktadır. Dolgu zeminler sarı – kahverenkli, çoğunlukla killi kumlu çakıllı ve yer yer kireçtaşı bloklu olup içerisinde atık malzemeler içermektedir.

Sondajlarda dere yatağı kotları ile uyumlu bir şekilde alüvyonlar içerisinde yeraltı su seviyelerine rastlanmıştır. Alüvyonal zeminler büyük oranda killi çakıllı Kum (GW-GC) ve Siltli KUM (SM) özelliğinde olup içerisinde nadiren CL özelliği gösteren kil ara seviyelerine rastlanmıştır. Alüvyonal zeminlerde SPT N değeri 10-30 arasında değişmekte olup, çakıl seviyelerin arttığı derinliklerde ise refü değeri (N=50<sup>+</sup>) elde edilmiştir. Arazinin duvar imalatları öncesi derin araştırma çukuru aşamasındaki fotoğrafları Şekil.3'te verilmektedir.

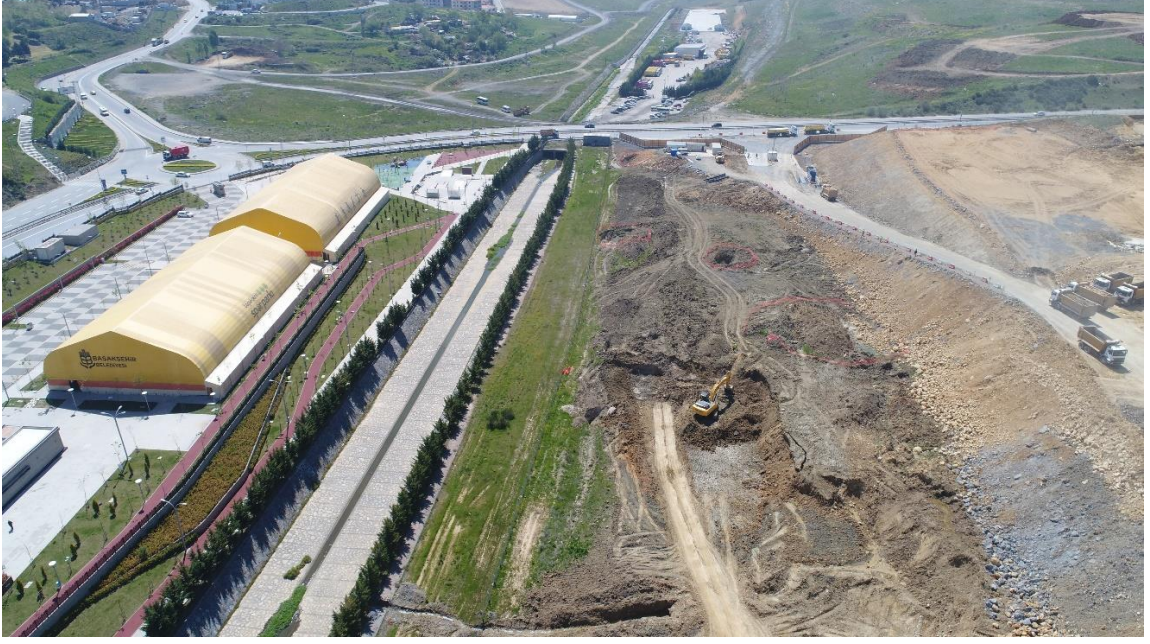


Şekil.1. Toprakarme Duvar Tip Kesiti



Şekil.2. Sondaj ve AÇ Lokasyonları Genel Vaziyet Planı

Sondajlardaki dolgu zemin kalınlığını tam anlamıyla kontrol etmek için derin araştırma çukurları açılarak taban kayaç derinliği teyit edilmiştir. Şekil.3.



Şekil.3. Duvar İmalatı Öncesi Sahanın Durumu ve Derin Araştırma Çukur Sondaj Çalışmaları

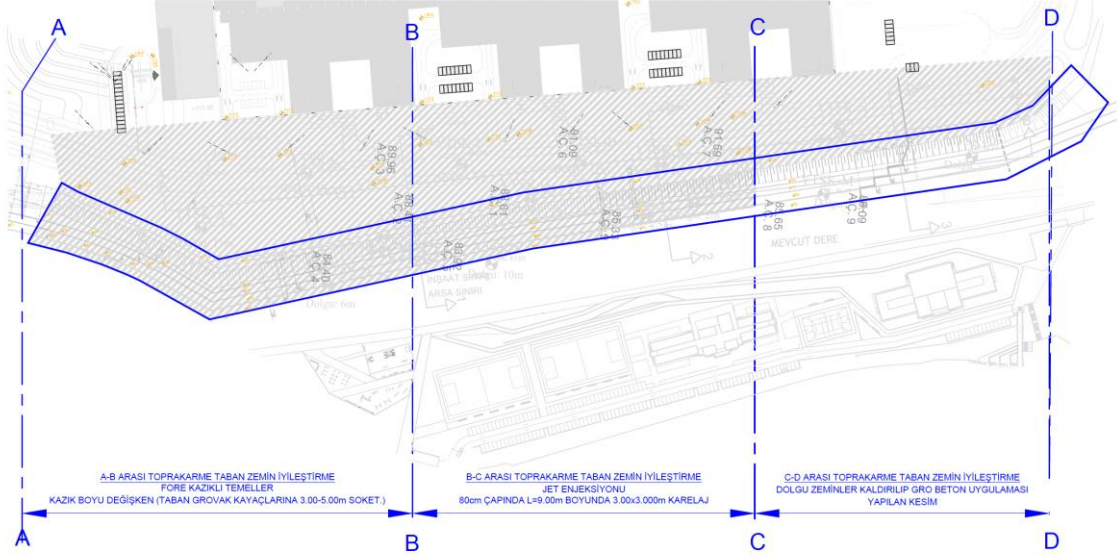
## 2. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Toprakarme duvarların taban zeminlerinin 30m. yüksekliğindeki duvar yükleri altında oturma ve taşıma kapasitesi problemleri olacağı aşikardır. Hiçbir mühendislik yapısı önlem alınmadan kontrolsüz dolgu zeminler üzerine oturtulamayacaktır. Toprakarme duvar temel oturma alanlarının alüvyon ve dolgu zemin olan kesimlerinin iyileştirilmesine, grovak taban kayaçlarında olan kesimlerinin ise doğrudan inşa edilmesine karar verilmiştir. Zemin iyileştirmesi olarak dolgu ve yumuşak alüvyonal kesimlerin grovak kayaçlarına kadar olan seviyelerinin kaldırılabilceği derinliklerde bu seviyelerin kazılarak kaldırılması ve yerine gro-beton geri dolgu yapılmasına, kaldırılamayacak kalınlıkta dolgu ve alüvyonların olduğu kesimlerin ise yoğunlukla alüvyonal zemin olan ve kalınlıkları 8.0m'yi geçmeyen kesimlerinin jet enjeksiyonu ile iyileştirilmesine, dolgu zeminlerin kalınlığının 10.0-13.5m olduğu kesimlerin ise fore kazıklı temeller ile iyileştirilmesine karar verilmiştir.

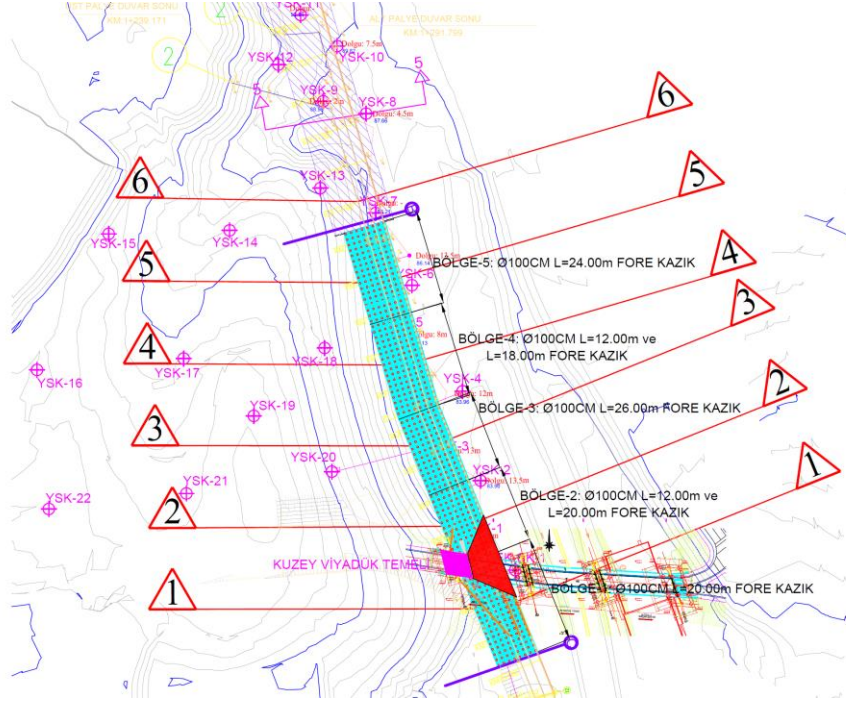
Şekil.4'de gösterilen vaziyet planında Toprakarme duvarın A-B arası olan kesimleri Fore Kazıklı temeller ile, B-C arası olan kesimleri Jet Enjeksiyonu ile C-D arası olan kesimleri ise doğrudan Grovak kayaçlarına yada kazılabilecek seviyelerde dolgu kalınlığı olan seviyeler kaldırılarak yerine geri gro-beton dolgu yapılarak iyileştirilmiştir.

Fore kazıklar ile zemin iyileştirmesi yapılacak A-B arası kesimde kazıkların 100cm. çapında olmasına ve taban grovak kayaçlarına 3.0-5.0m. soketlenmesine karar verilmiştir. Kazıkların 3.0x3.0m. karelaj ile uygulaması yapılmıştır. Kazık boyları kayaç derinlikleri değişik olduğu için farklı boylarda uygulanmıştır. Şekil.5. ve Şekil.6.



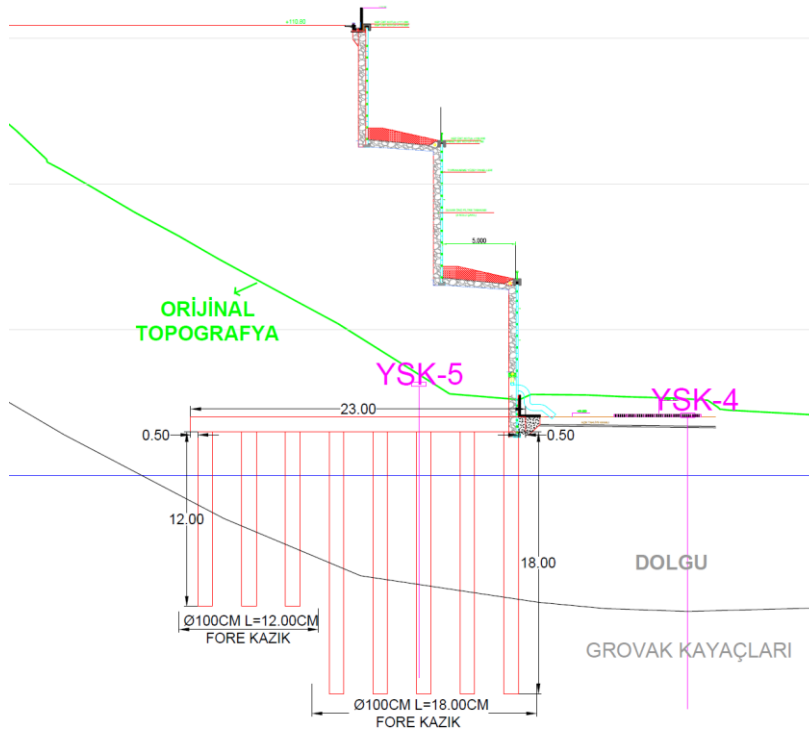


Şekil.4. Toprakarme Taban Zeminleri iyileştirme Projesi Uygulama Vaziyet Planı



Şekil.5. Fore Kazıklarla Toprakarme Taban Zemin iyileştirilmesi Detay Vaziyet Planı

Kazık boyları L=12.0m ile L=26.0m. arasında değişmekte olup Tip bir kesit Şekil.6'da verilmiştir.



Şekil.6. Fore Kazıklı Zemin İyileştirme Uygulaması Tip Kesiti

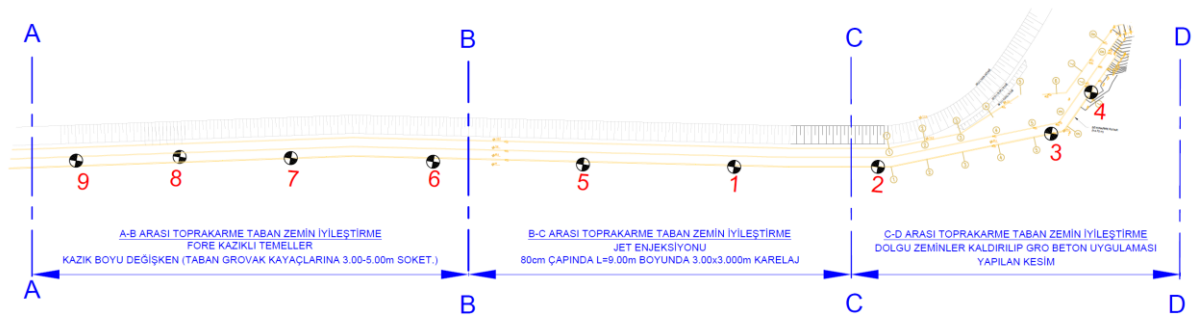
Toprakarme Duvar projesinin inşaat son aşamaları fotoğrafı Şekil.7’de verilmiştir.



Şekil.7. Toprakarme Duvar Genel Görünümü-İnşaat Aşaması

### 3. ALETSEL GÖZLEM

Toprakarme duvarların zemin iyileştirme yöntemlerine bağlı olarak davranışının gözlenmesi amacıyla toprakarme duvar alt panellerine topografik röperler yerleştirilmiş ve duvar tabanlarının yatay ötelenme ve düşey deplasmanları ölçülmüştür. Ölçümler yaklaşık 16 aylık bir süreç boyunca özellikle üç farklı kesimde alınmıştır. Bu kesimler doğrudan taban grovak kayaçlarına oturan duvarlar ile dolgu-alüvyon zeminler kaldırılıp yerine gro-beton doldurulan duvarlar (C-D Arası), jet enjeksiyonu ile iyileştirilmiş duvarlar (B-C Arası) ve temelleri fore kazıklı temeller ile yapılmış toprakarme duvarlar (A-B Arası) olmak üzere üç farklı bölge olarak gözlenmiştir. Şekil.8



Şekil.8. Toprakarme Duvar Gözlem Noktaları

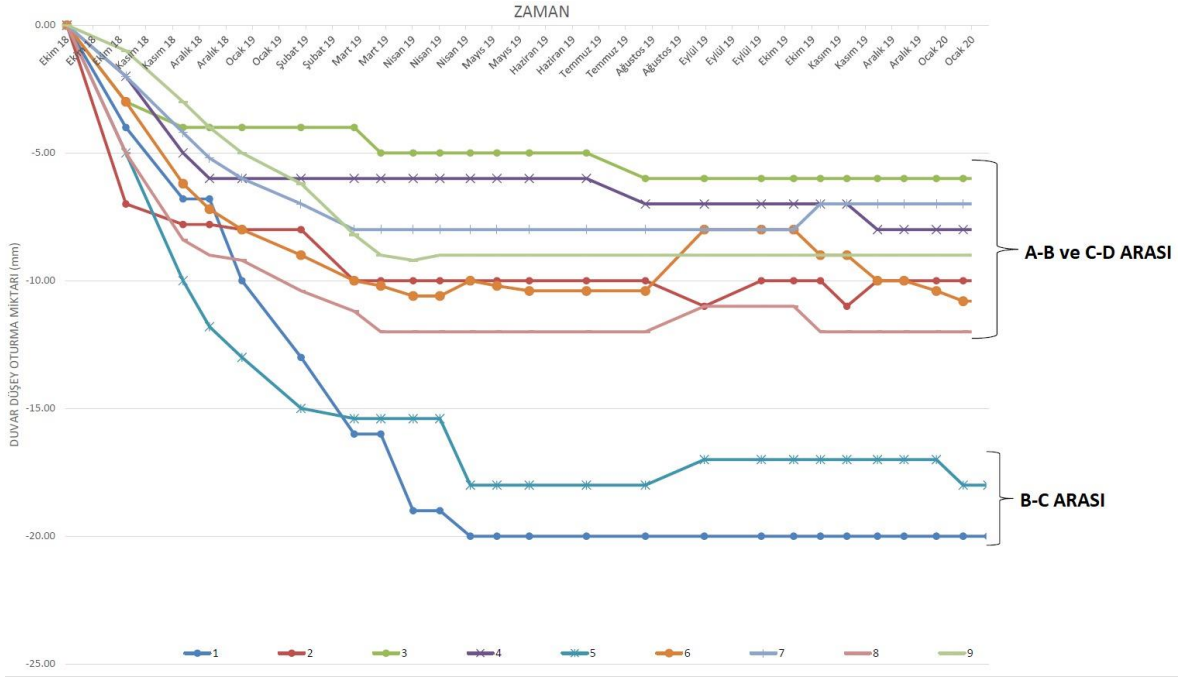
İkitelli Hastane projesi toprakarme duvarlarındaki topoğrafik gözlemler aşağıda özetlenen reflektör okumaları ile gözlemlenmiştir. Aletsel gözlemler Ekim 2018 ve Ocak 2020 tarihleri arasında yapılmıştır.

A-B Arası : Kazıklı Zemin iyileştirme Bölgesi : Reflektör No : 6 – 7 – 8 ve 9  
B-C Arası : Jet Enjeksiyonu ile Zemin iyileştirme Bölgesi : Reflektör No : 1 ve 5  
C-D Arası : Kazı Geri Gro-beton ile Zemin iyileştirme Bölgesi : Reflektör No : 2 – 3 ve 4

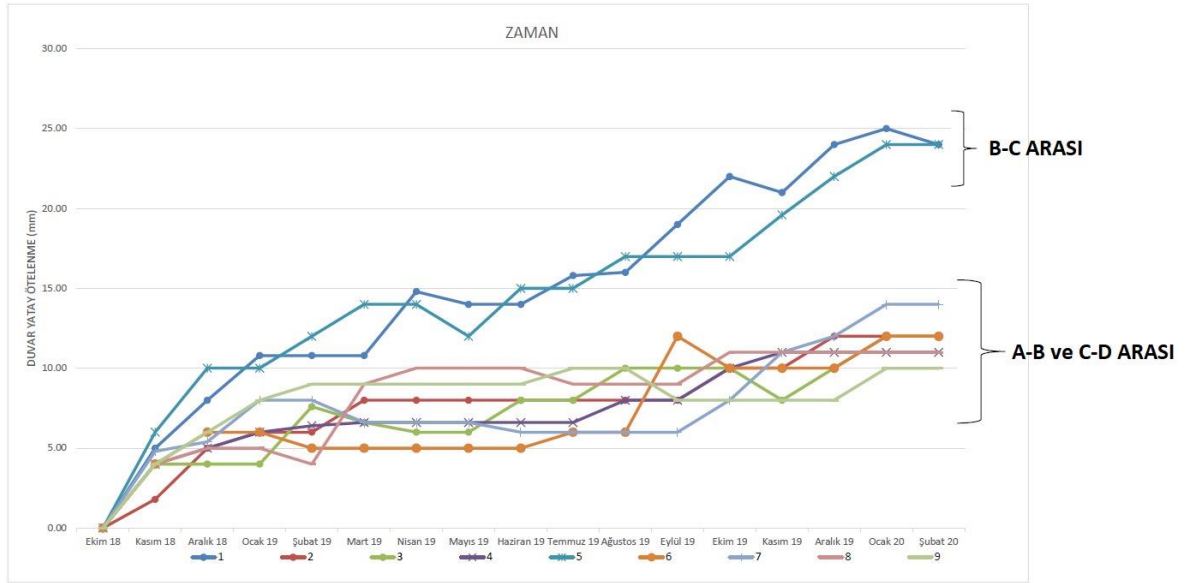
Gözlemler en alt panellerde düşey oturma ve yatay ötelenme şeklinde yapılmıştır. Düşey oturmaların zamana bağlı davranışı Şekil.9'da, yatay ötelenmeleri ise Şekil.10'da verilmiştir.

Şekil.9'dan da görüleceği üzere düşey oturmalar Kazıklı Temeller ile Zemin iyileştirme yapılan A-B arası bölge ile doğrudan kayaçlara oturan veya dolgu zeminlerin kaldırılıp yerine gro-beton yapılan C-D arası kesimlerde 6-12mm. mertebesinde olup, jet enjeksiyonu ile zemin iyileştirme yapılan kesimlerde ise 17-20mm. mertebesinde gerçekleşmiş olup AASHTO 2020 standartlarında önerilen limit değerinin (50.0mm) altında kalmıştır.

Toprakarme Duvar Taban Zeminlerinin iyileştirilmesi ve Hareketlerin Gözlenmesi



Şekil.9. Toprakarme Duvar Düsey Oturma Miktarları (mm)



Şekil.10. Toprakarme Duvar En Alt Panel Yatay Ötelenme Miktarları (mm)



#### 4. SONUÇLAR

Bu makale’de İstanbul Başakşehir Çam ve Sakura Hastanesi projesi kapsamında yapılan 30m. yüksekliğindeki toprakarme duvarların taban zeminleri iyileştirme yöntemleri tarif edilmiş ve duvar imalatlarının tamamlanması sonrası duvar düşey oturmaları ve yatay ötelenmelerin değerlendirmeleri yapılmıştır.

Toprakarme duvar temel oturum alanlarının alüvyon ve dolgu zemin olan kesimlerinin iyileştirilmesine, grovak taban kayaçlarında olan kesimlerinin ise doğrudan inşa edilmesine karar verilmiştir. Zemin iyileştirmesi olarak dolgu ve yumuşak alüvyonal kesimlerin grovak kayaçlarına kadar olan seviyelerinin kaldırılabilceği derinliklerde bu seviyelerin kaldırılması ve yerine gro-beton geri dolgu yapılmasına, kaldırılamayacak kalınlıkta dolgu ve alüvyonların olduğu kesimlerin ise alüvyonal zemin olan bölgelerde jet enjeksiyonu ile iyileştirilmesine, dolgu zeminlerin kalınlığının 10.0-13.5m olduğu bölgelerin ise fore kazıklı temeller ile iyileştirilmesine karar verilmiştir.

Duvar imalatı tamamlanması sonrası yapılan ölçümlerde duvar düşey oturma ve yatay ötelenmelerin en alt panellerde 10.0-25.0mm. mertebesinde olduğu, kazıklı temel ve doğrudan kayaç zeminlere oturan kesimlerde oturma ve ötelenmelerin jet enjeksiyonu ile zemin iyileştirmesi yapılan kesimlerden çok az miktarda (10.0mm’den az) düşük gerçekleştiği gözlenmiştir. 30m. yüksekliğindeki toprakarme duvar temel zeminlerinde hiçbir taşıma kapasitesi veya oturma problemi yaşanmamıştır.

#### TEŞEKKÜR

*Bu Çalışmaların Yapılmasını Sağlayan, Projelerinde Her Türlü Desteği Esirgemeyen RONESANS Holding Yönetim Kuruluna, Teknik Yöneticilerine ve Saha Personeline Teşekkür ederim.*

#### KAYNAKLAR

KILCI MUHENDISLIK Ltd. Şti. (2017) “İkitelli Entegre Sağlık Kampüsü Projesi, Toprakarme Duvar Bölgesi Zemin Etüd Çalışmaları Veri Raporu” Ankara

REINFORCED EARTH Ltd. Şti. (2017) “Toprakarme Duvar Uygulama Projeleri ve Hesap Raporları”, İstanbul

AASHTO (2020) “LRFD Bridge Design Specifications” 9th Edition