

GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARLARININ JET-GROUTING VE FORE KAZIK SİSTEMLERİYLE BERABER UYGULANMASI

**A CASE STUDY IN WHICH JET-GROUTING AND PILING SYSTEMS
HAVE BEEN USED TO SUPPORT A GEOSYNTHETICALLY
REINFORCED RETAINING WALL**

Bora BERK¹ Osman PEKARUN² Arif ÇINAR³ Kaan DOĞANIŞIK⁴

ABSTRACT

The expansion of big cities towards isolated places such as old/uncontrolled fill sites has created the need of soil replacement or soil improvement. Due to high costs of excavation in populated big cities, soil improvement has become increasingly cost effective. A case study has been presented where flexible (Jet-grouted fill zone) and inflexible (3 Dimensional Pile Zone) soil improvement systems have been used to support a Geosynthetically Reinforced Earth Wall (GRW), for a construction site in Maslak, Istanbul. The advantages jet-grouting system to improve the vertical deformation and slope stability characteristics of the uncontrolled fill similar to VERT System (Vertical Earth Reinforcement System utilizing cemented soil columns) has been presented. In the same site, a 3 Dimensional Piled Retaining Wall has been used to support a 15 m earth load of which the upper 8.5 m portion is a GRW. The uncontrolled fill in the back side of the 3D Piled Wall has been improved by jet-grout columns. The combined use of a “Stress-Strain” analysis using FEM Software (such as SAP2000 and PLAXIS) and “Limit Equilibrium” slope stability analysis (such as STABLE6) is important to design such complex flexible/inflexible systems.

ÖZET

Artan nüfus ve genişleyen yerleşim yerleri, eski ve kontrolsüz sıkıştırılmış dolgu sahalarının “yer değiştirme” veya “zemin ıslahı” metodlarıyla iyileştirilmesini gerekli kılmaktadır. Şehir merkezlerinde yapılacak hafriyat ve döküm işlerinin büyük maliyet oluşturması, zemin güçlendirme işlerinin daha cazip hale gelmesini sağlamıştır. Bu çalışmada, İstanbul Maslak bölgesinde yapılan, Geosentetik Donatılı İstinat duvarı (GDİ) ve bu yapıyı destekleyen Jet-Grouting ve Fore Kazık sistemi ile oluşturulan zemin

¹ İnş. Yük. Müh. ,BERK, B., Geobos Zemin Güçlendirme Sistemleri Ltd. Şti., berk@geobos.com

² İnş. Yük. Müh. ,PEKARUN, O., Geobos Zemin Güçlendirme Sistemleri Ltd. Şti., pekarun@geobos.com

³ İnş. Müh. ,ÇINAR, A., Geobos Zemin Güçlendirme Sistemleri Ltd. Şti., arifcinar@geobos.com

⁴ İnş. Müh. , DOĞANIŞIK, K., Geobos Zemin Güçlendirme Sistemleri Ltd. Şti., kdoganisik@geobos.com

güçlendirme projesi bir vaka analizi olarak sunulmuştur. Jet-Grouting sistemiyle VERT sistemine benzer şekilde, dolgu birimin düşey deformasyon ve şev stabilitesi parametreleri iyileştirilirken, 3 boyutlu Fore Kazık iksa sistemi ile de 15 m yüksekliğindeki toprak yükleri her hangi bir yatay iksa elemanı kullanmadan karşılanmıştır. 3 boyutlu Fore Kazık sistemi içerisinde yer alan kontrolsüz dolgular, Jet-Grouting yöntemi ile iyileştirilerek sistemin rijitliği arttırılmıştır. Fore Kazık, Jet-Grouting ve GDİ Duvar uygulamalarının aynı sistem içerisinde kombine davranışı, ilgili bilgisayar programları kullanılarak “Gerilme - Deformasyon (Plaxis, Sap2000)” ve “Limit Denge (Stable v.6)” metodlarıyla analiz edilmiştir.

1. GİRİŞ

Geosentetik donatılı istinat (GDİ) duvarların özellikle yol yaklaşım yapıları, köprüler, derin temel sistemleri ve istinat yapıları gibi rijit yapı elemanları ile birlikte kullanılması son yıllarda sıkça rastlanır hale gelmiştir. Esnek yapıya sahip donatıların, statik ve deprem koşullarında deformasyon toleransının ve eksenel mukavemetlerinin yüksek olması, ekonomik ve süratli imalatlara olanak tanınması en büyük tercih sebeplerindendir.

İstanbul Maslak bölgesinde yapılmakta olan Mashattan Vadi Konutları İnşaatı kapsamında, yüksekliği 15 m’ye varan vasıfsız, şevli dolgular üzerine çevre duvarı ve bağlantı yolları yapılması planlanmaktadır. Gelişigüzel istiflenmiş ve serbest düşme sonucu oluşturulmuş yüksek şevlerin ıslah edilmesi ve üzerine istinat yapısının yapılması için birimlerin kaldırılması veya ıslah edilmesi gerekmektedir. Vasıfsız dolguların hafredilmesi, işverene yansıyacak yüksek maliyet ve şev stabilitesini tehlikeye atacak hareketlerin oluşması açısından tercih edilmemektedir. İnşaat sahasında aynı birimler üzerinde yapılan ve yüksekliği 8 m olan betonarme istinat duvarları kısa süre içinde farklı oturma ve dönmeye maruz kalmış ve stabilitesinin bozulması ile taşıyıcılık vasfını kaybetmiştir.

Bahsi geçen sebeplerden dolayı yapımı durdurulan betonarme istinat yapılarının yerine, sahadan çıkan hafriyatın değerlendirilebileceği, emniyetli, ekonomik ve estetik yapıya sahip donatılı istinat duvarı çeşidi olan GDİ duvarların yapılmasına karar verilmiştir.

Yatay toprak itkilerini karşılamak amacıyla yapılan GDİ duvarları, bir “Mekanik Olarak Stabilize Edilmiş Zemin” (*Mechanically Stabilized Earth-MSE*) uygulamasıdır. Bu uygulamada sıkıştırılmış dolgu zemine kademeli olarak konan mekanik elemanlar ile bir çeşit zemin güçlendirmesi yapılır. Bu sayede, zeminlerin yatay yüklere karşı kendi kendilerini taşıması sağlanır. Daha geniş anlamda MSE, bir çeşit “Donatılı Zemin” uygulamasıdır.

Bu projede yüksek dolgu birimlerin bulunduğu bölgelerde donatılı duvar yapılması için vasıfsız birimlerin Jet-Grouting yöntemiyle iyileştirilmesi ve duvar altında kalan birimlerin yatay toprak itkisini karşılaması amacıyla “kaset tarzı” Fore Kazık yapılması planlanmıştır. Böylece vasıfsız dolguların tamamının kaldırılması sonucu oluşacak yüksek maliyet ve şev yüzeylerinde oluşacak kaymalar önlenecektir. Bu kapsamda, gerçekleştirilen imalatlara ait projelendirme, uygulama ve gözlem detayları yer almaktadır.

2. UYGULAMA SAHASI VE ZEMİN PROFİLİ

İstanbul Şişli ilçesi Ayazağa mevkiinde yer alan Vadi Konutları Projesi kapsamında yüksek çevre duvarları ve bunların üzerinde yer alacak bağlantı yollarının yapımı planlanmıştır. Toplam uzunluğu 250 m olan yol güzergahı gelişigüzel yerleştirilmiş, yüksekliği 15 m olan, bloklu dolgu ve açık şev yüzeylerine rastlamaktadır. Şevlerin topuk bölgesi doğal zemin yüzeyini oluşturmaktadır. Doğal zemin kotundan itibaren 2-5 m arasında eski dolgu ve altında ayrılmış Kıltaşı-Kumtaşı (grovak) birimler yer almaktadır. Grovak birim eğimli sahanın bazı bölgelerinde yüzeyde görülebilmektedir. Sahada yer altı suyuna rastlanmamıştır.

3. GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVAR TASARIMI

Yüksekliği 4 m'den büyük duvarlarda yanal toprak itkilerinin betonarme ve taş istinat yapılarıyla karşılanması, değişik alternatiflere kıyasla daha zor ve gayri ekonomik olmaktadır. Bunun için özellikle son 20 yılda "esnek duvar" kavramını doğuran geosentetik donatılı istinat duvarları sıkça kullanılır hale gelmiştir. Bu projede emniyet, ekonomi ve estetik bakımından çokça tercih edilen GDİ duvar yapılması uygun görülmüştür.

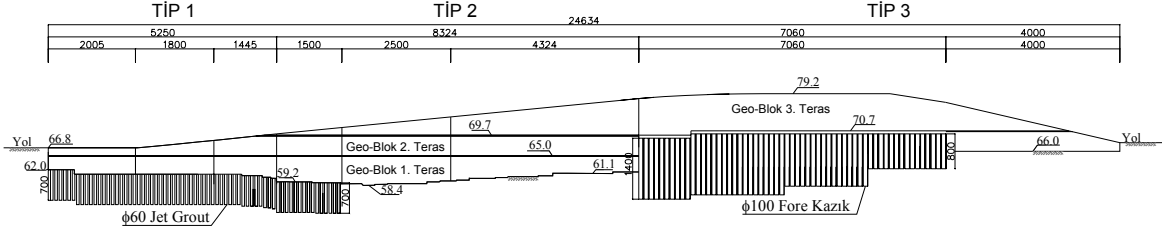
MSE İstinat Duvarlarının tasarımı, "Limit Equilibrium" olarak da bilinen "Dış" ve "İç" Göçme Mekanizmalarına göre geometrik boyutların ve donatı ihtiyaçlarının belirlenmesine dayanır.

Donatı uzunluğunu genelde Dış Stabilite hesapları belirlediği için, Dış Stabilite hesaplarını İçsel Stabilite hesaplarından önce yapmak daha doğrudur. Dış Stabilite hesapları klasik rijit istinat duvarlarında da (betonarme ve taş duvar) geçerli olan göçme mekanizmalarına göre yapılır. Bunlar;

- Kayma
- Zemin Emniyet Gerilmesi
- Dönme
- Global Şev Stabilitesi

İçsel stabilite hesaplamalarında donatının kopması, donatının zeminden sıyrılması ve donatının uzaması gibi kriterler değerlendirilir. Duvar imalatında kullanılacak donatı tipi, yoğunluğu ve dolgu malzemesinin mühendislik parametreleri içsel stabilite bakımından en önemli kriterlerdendir.

İnşaat sahasında yapılması planlanan yol güzergahı boyunca yer alan dolgu birimler üzerinde, duvar yükünden kaynaklanan ortalama 150 kPa gerilme oluşacağı hesaplanmıştır. Kontrolsüz dolgu ve şevlerin üzerine duvar yapılması taşıma kapasitesi, kayma ve global şev stabilitesi problemi oluşturacaktır. Bu problemlerin çözümü için vasıfsız dolgu birimlerin Jet-Grouting yöntemiyle iyileştirilmesi ve şevlerin Fore Kazık ile tutulması amaçlanmıştır. Yol güzergahı boyunca değişik kesitlerde karşılaşılan problemlere göre 3 tip tasarım kesiti oluşturulmuş ve hesaplamalar bu kesitler üzerinde yapılmıştır. Yol güzergahı boyunca yapılması planlanan imalatlara ait boykesit Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 1. Yol Güzergahı Boyunca Yapılacak İmalatlara Ait Boykesit

Değişik bilgisayar yazılımları kullanılarak yapılan stabilite hesaplarında mevcut ve iyileştirilmiş zeminleri temsilen kullanılan zemin parametreleri Tablo 1’de görülmektedir.

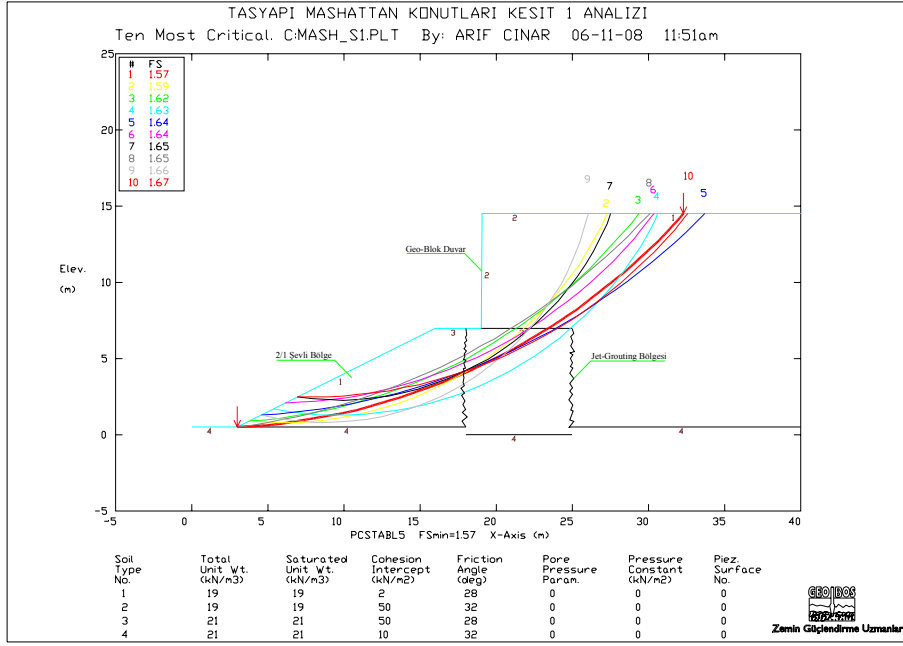
Tablo 1. Zemin Çeşitlerine Ait Parametreler

Zemin Cinsi	Hesap Modeli ⁽⁴⁾	γ (kN/m ³)	E (MPa) ⁽⁴⁾	c (kN/m ²)	ϕ (°)
Dolgu	Hardening Soil	19	30	2	28
Geotekstil Bölgesi	Hardening Soil	19	50	50	32
Jet-Grouting Bölgesi	Hardening Soil	21	150	50	28
Ayrıışmış Grovak	Hardening Soil	21	15	10	32

⁽⁴⁾ Sonlu Elemanlar Metodunu kullanarak “Gerilme – Deformasyon” davranışını modelleyen Plaxis programında kullanılan değerler.

3.1. Jet-Grouting ve GDİ Duvar Kesiti

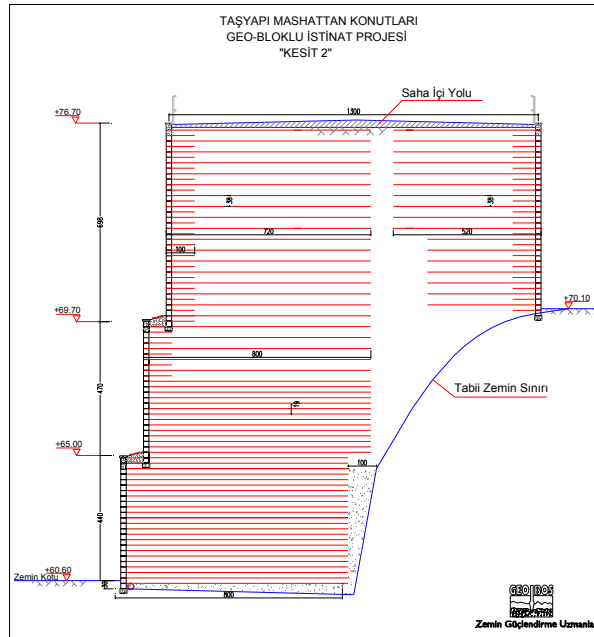
Bu kesit, dolgu yüksekliğinin 5 m’ye ulaştığı ve dere yatağının bulunduğu bölgede kullanılmıştır. Bu kısımda GDİ duvar yüksekliği 5 m ile 7 m arasında değişmektedir. Planlanan yükseklikteki duvarlardan kaynaklanan düşey gerilmelerin ve şev yüzeyinde oluşacak kayma gerilmelerinin karşılanması amacıyla, bu bölgedeki vasıfsız dolguların değişik karelajlarda yapılacak, $\phi 60$ cm çapında Jet-Grouting kolonları ile iyileştirilmesi planlanmıştır. Jet-Grouting imalatı ile vasıfsız dolgu birimlerin düşey yöndeki rijitliği arttırılacak ve yatay yönde oluşacak kesme kuvvetleri Jet-Grouting kolonları ile karşılanacaktır. Bu kesitte yapılacak Jet-Grout GDİ duvarın global stabiliteye etkisi STABLE v.6 bilgisayar programı kullanılarak irdelenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Kesit-1 İçin Global Şev Stabilitesi Analiz Sonucu

3.2. Çok Teraslı GDİ Duvar Kesiti

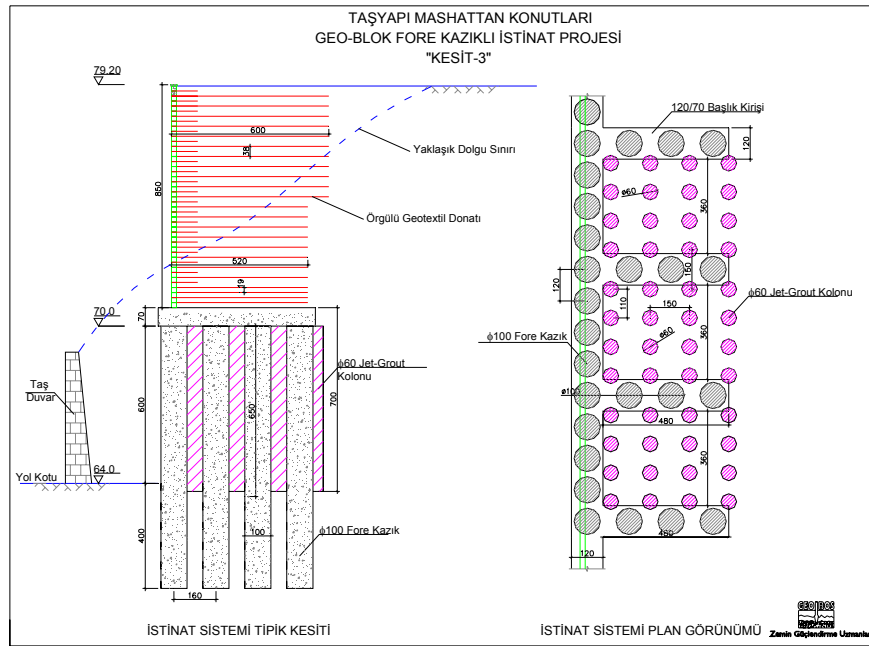
GDİ duvar tabanının grovak birime oturduğu bölgedir. Bu kesitte duvar yüksekliği 15 m'ye varmaktadır. Yüksek duvar kesitlerinde duvar ön cephe elemanı olan bloklar üzerine birikecek gerilmelerin ve global stabiliteye katkı sağlayacak donatı boyunun azaltılması için, belirli yüksekliklerde duvar aksının geri çekilmesi suretiyle teraslar yapılması uygulamada sıkça rastlanılan tasarım alternatiflerindedir. İncelenen kesitte duvar her kademede 80 cm geri çekilerek 3 teras oluşturulmuş, iç stabilite, dış stabilite ve dinamik analizler yapılmıştır (Şekil 3). Her geotekstil kademesi için yapılan bu analizler sonucunda, kesitte kullanılacak donatı çeşidi, yoğunluğu ve uzunluğu belirlenmiştir.



Şekil 3. Çok Teraslı GDİ Duvar kesiti

3.3. Fore Kazık, Jet-Grouting ve GDİ Duvar Kombine Kesiti

Bu kesitte fazla kazı yapılmaması ve sükunette olan şevlerin stabilitesini bozmamak amacıyla donatılı duvar taban kotu vasıfsız ve yer yer bloklu dolgu birimlere gelecek şekilde tasarlanmıştır. Saha dışına daha sonra yapılacak olan imar yolu nedeniyle, mevcut taş duvar yıkılarak GDİ duvar taban kotundan itibaren 6 m daha kazı yapılacaktır. Duvar atındaki birimlerin iyileştirilmesi ve daha sonra yapılacak kazıdan dolayı oluşacak toprak itkilerinin karşılanması için bu kesitte 3 boyutlu “kaset tarzı” $\phi 100$ cm çapındaki Fore Kazıklı sistem ve aralarında Jet-Grouting Kolonlarının yapılması uygun görülmüştür. Fore kazıkların arasına Jet-Grout kolonları yapılarak VERT (Vertical Earth Reinforcement System) sistemine benzer şekilde yatay toprak itkilerinin karşılanması ve kazıkların etrafındaki vasıfsız dolguların güçlendirilmesi hedeflenmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Kombine Kesit Ve Yerleşim Planı

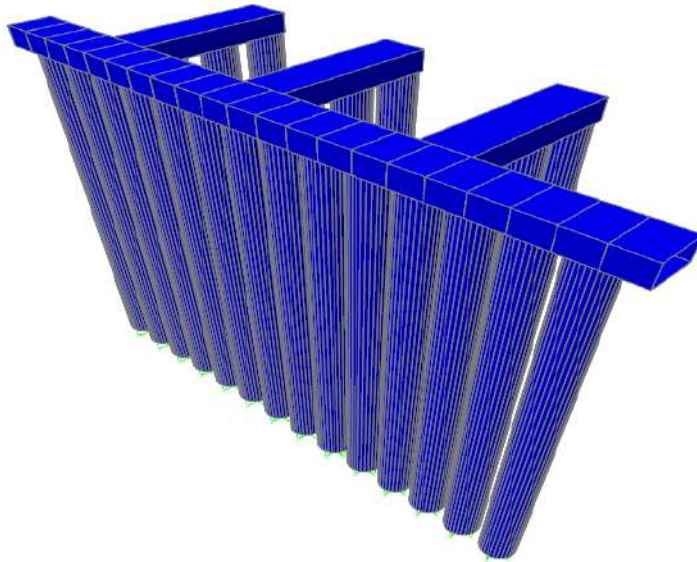
Fore kazıklı sistemin 3 boyutlu davranışını temsilen SAP2000 bilgisayar programına betonarme kazık ve başlık elemanları, donatılı duvar ve zeminden kaynaklı yatay ve düşey yükler ve zemini temsilen yaylar tanımlanmıştır (Şekil 5). Dolgu zemini temsilen tanımlanan yaylar, bu birimin yatay yatak katsayısına eşit kabul edilmiştir. Mevcut dolgunun yatay yatak katsayısını ve dolayısıyla kazıklara atanacak yay katsayılarını arttırmak amacıyla dolgu zeminin, değişik kareyaj ve boylarda yapılacak Jet-Grouting kolonları ile ıslah edilmesi planlanmıştır. Yapılacak imalatlarla;

1. Dolgu birimlerde uygulanması sakıncalı olan öngermeli ankraj ve pasif ankraj gibi yatay iksa sistemleri yerine, 15 m yüksekliğindeki toprak yükü 3 boyutlu kazıklı perde ile tutulacak.
2. GDİ duvar aksına dik yönde imal edilecek kazıklar yatay iksa görevi üstlenecek.
3. Kazıklar üzerine yapılacak GDİ duvar ile 3 boyutlu sistem daha rijit bir yapı kazanacak.

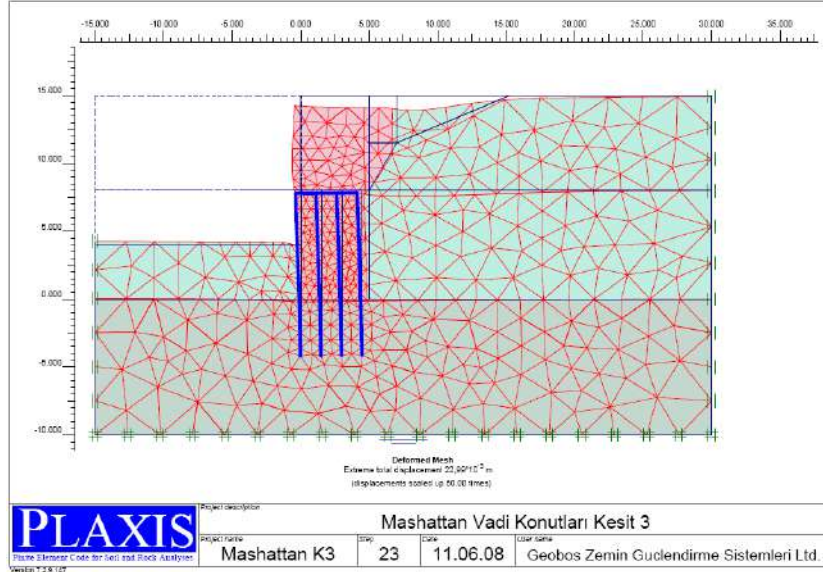
4. Kazıklar arasına yapılacak Jet-Grouting kolonları ile düşey yönde rijitlik yaratılacak böylece düşey yüklerden kaynaklanan oturmalar azaltılacak.

5. İmal edilecek Jet-Grouting kolonları ile yatay yönde hareketi sınırlayan daha yüksek deformasyon niteliklerine sahip (yüksek yay sabitleri) birimler oluşturulacaktır.

Kombine sistemin “Gerilme – Deformasyon” davranışı, SAP2000 yazılımına ek olarak, zemin ve betonarme elemanları birlikte modelleyebilen Plaxis v.7.2 yazılımı ile 2 boyutta “Düzlem Deformasyon” (*2D – Plane Strain*) modellenmiştir. Bu analizde Jet-Grouting yöntemi ile iyileştirilen zemini ve geosentetik donatılı zemini temsilen fiktif kohezyona sahip tabakalar tanımlanmıştır. Hesaplamalarda 8 m’lik GDİ duvar, Fore Kazıklar ve Jet-Grouting kolonları gerçekte uyumlu şekilde yapım sırasına “*staged construction*” göre tanımlanmıştır. Tüm zemin tabakalarının davranışı “Pekleşen Zemin” (*Hardening Soil*) modeli ile temsil edilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen deforme olmuş (*Deformed Mesh*) kesit ve yatay deplasman değeri Şekil 6’te sunulmuştur. Sonlu Elemanlar, “*Limit Equilibrium*” prensiplerine dayanan hesap teknikleri ile yapılan tasarımın kontrol edilmesi açısından çok değerli bir araç olup, özellikle duvar deformasyonları, lokal gerilme birikimleri ve global sistem davranışı açısından önemli bilgiler vermektedir.



Şekil 5. SAP2000 Programında Sistemin 3 Boyutlu Görünüşü



Şekil 6. Plaxis v.7.2 Programında Sistem Kesitinin Görünüşü

4. İMALAT VE KALİTE KONTROL DENEYLERİ

Projelendirme sonrasında yapımı kararlaştırılan tüm imalatlar Jet-Grouting ve GDİ Duvar Kesitinden (Kesit-1) başlamak üzere eşzamanlı olarak imal edilmiştir (Şekil 7-8-9-10).



Şekil 7. Jet-Grouting İmalat Görüntüsü



Şekil 8. GDİ Duvar İmalat Görüntüsü



Şekil 9. Fore Kazık İmalat Görüntüsü



Şekil 10. Genel İmalat Görüntüsü

Yapılan çalışmalarda imalatların projesinde hedeflenen kriterlere uygunluğunu test etmek için saha ve laboratuvarında çeşitli deney ve gözlemler yapılmıştır.

Jet-Grouting imalatına başlamadan önce saha içerisinde 5 adet farklı parametrelere sahip deneme kolonu imal edilmiştir. Prizini alması için beklenen kolonlar, bir hafta sonrasında açılarak çap kontrolü yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde kolon çaplarının 60-75 cm arasında değiştiği dolayısıyla hedeflenen çapın tüm kolonlarda oluşturulduğu görülmüştür.

Geotekstil donatılı duvar inşaatı sırasında dikkat edilmesi gereken hususlardan en önemlisi kullanılan dolgu malzemesinin granülometrisi, kıvamı ve sıkıştırma yüzdesidir. Uygulama sahasında kullanılan dolgu malzemesi üzerinde yapılan Kum Konisi ve Standart Proktor deneyi sonucunda ortalama değerler, malzeme Kuru Birim Hacim Ağırlığı, $\gamma_k = 1,7 \text{ g/cm}^3$, Optimum Su İçeriği, $\omega_{opt} = \%11$ ve Sıkıştırma Yüzdesi, $R = \%96$ olarak bulunmuştur.

Dolgu malzemesinden alınan numuneler üzerinde zemin laboratuvarında yapılan Atterberg Limitleri Deneyi sonucunda Likit Limit, $LL = \%29$ ve Plastisite Indisi, $PI = \%11$ bulunmuştur. Aynı numuneler üzerinde yapılan Elek Analizi sonucunda 200 Nolu elekten geçen malzeme oranı, $-No200 = \%35$ bulunmuştur.

Uygulama sahası ve laboratuvarında yapılan deneyler sonucunda kullanılan dolgu malzemesinin şartnamelerde önerilen sınırlar (Güler E., 2006) içerisinde kaldığı belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, yüksek dolgu birimlerin yer aldığı bölgelerde yapılması planlanan istinat yapıları için geliştirilen kombine bir sistemin tasarım yöntemi ve uygulamasına yer verilmiştir. Yatay yönde zemin güçlendirme mantığına dayalı Donatılı Duvar ile düşey yönde zemin güçlendirme mantığına dayalı Fore Kazık ve Jet-Grouting uygulamaları birlikte kullanılarak;

- Farklı oturma ve dönme problemleri nedeniyle yapımına son verilen rijit betonarme istinat duvarlarının yerine, iyileştirilmiş zeminlere oturan, esnek geotekstilli donatılı duvar yapılarak vasıfsız dolgu ve şevler güvenli hale getirilmiştir.
- Dolgu birimlerde yapılamayan öngermeli ve pasif ankraj yerine 15 m yüksekliğindeki toprak yükü yatay iksasız Fore Kazıklı sistemle karşılanmıştır.
- Vasıfsız dolguların hafredilerek inşaat sahasından uzaklaştırılması yerine, yerinde iyileştirilmesi ve duvar arka dolgusu olarak kullanılması sonucu proje maliyetinde % 30 oranında ekonomi sağlanmıştır.
- İnşaat sahasında 3 farklı imalat eş zamanlı yürütülerek zamandan tasarruf sağlanmıştır.
- GDİ duvar cephe elemanları kullanılarak, estetik bir görüntü elde edilmiştir.
- Değişik rijitlikte olan, çekme, basınç ve kesme gerilmeleri altında farklı davranan sistemlerin tasarımında birkaç değişik analiz metoduyla sistemin irdelenmesi önemlidir. Bu amaçla “Deformasyon – Gerilme” ve “Limit Denge” analizleri yapıp kıyaslamalar yapılmalıdır.
- Farklı yüklemeler altında, yatay ve düşey yönde kombine olarak çalışan elemanların davranışı doğru tasarlanıp, yetkin firmalar tarafından uygulanmalıdır.

KAYNAKLAR

Briaud J. L., Nicholson P., (2000) "Behavior of Full Scale VERT Wall in Sand", Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering, Vol.126.

Güler E., (2006) "Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı Bir Şartname Taslağı", İkinci Ulusal Geosentetikçiler Konferansı, İstanbul.

Ingold, T.S. (1982), Reinforced Earth, Thomas Telford, London.

Mitchell, J.K. and Christopher, B.R., (1990) "North American Practice in Reinforced Soil Systems" Proceedings of a Conference, Design and Performance of Earth Retaining Structures,, ASCE Geotech. Pub. No. 25, pp 322-346.

Seed, H.B. and Whitman, R.V.,(1970) "Design of Earth Retaining Structures for Dynamic Loads", Proc. ASCE Speciality Conference on Lateral Stresses and Earth Retaining Structures, Cornell University, Ithaca, NY, 103-147.

Segrestin, P. And Bastick, M.J. (1988) "Seismic Design of Reinforced Earth Retaining Walls: The Contribution of Finite Element Analysis", Proc. Int.Symposium on Theory and Practice of Earth Reinforcement, Kyushu, Japan, 577-582.