

GROVAK BİRİMLERDE YAPILAN ANKRAJLI DERİN KAZILARDA OLUŞAN YATAY DEPLASMANLAR

LATERAL DISPLACEMENT OF ANCHORED EXCAVATION IN GREYWACKE

Arif ÇINAR¹

Aykut ŞENOL²

Osman PEKARUN³

ABSTRACT

This research has been carried out to determine the amount of lateral displacements at the deep excavations with anchorage was built at Thrace (Trakya) formation. In the scope of this research, the analyses of seven different deep excavation applications at greywacke formation and the twenty inclinometer test results are presented. The finite element method is used to model selected two of them, which have different excavation depths and soil profiles. The amounts of lateral displacements that are obtained from the finite element method and the inclinometer test results are compared. The deep excavations are recently common applications in Istanbul where the general soil profile is observed as Thrace Formation. Consequently,, the use of soil parameters of greywacke, which is a part of Thrace Formation is evaluated and emphasized for the finite element method.

Key words: Greywacke, deep excavation, lateral displacement, finite element

ÖZET

Bu bildiri, Trakya Formasyonunda yapılan öngermeli ankrajlı derin kazılarda oluşan yatay deplasmanların miktarını belirlemek için yapılmıştır. Yapılan araştırma ile grovak birimlerde yapılacak ankrajlı derin kazı projelerinde, çevre yapıları ve iksa güvenliğini tehdit edecek yatay deplasmanların önceden tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, tamamı grovak birimlerde yapılan 7 farklı derin kazı projesi ve bu projelere ait 20 inklinometre sonucu incelenmiştir. İncelenen projelerden, kazı yüksekliği ve zemin koşulları birbirinden çok farklı olan iki tanesi sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek çözülmüştür. Sonlu elemanlar analizinden ve inklinometrelerden elde edilen yatay deplasmanlar karşılaştırılarak sonlu elemanlar modelinde kullanılacak zemin parametreleri hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Ayrıca derin kazıların sıkça yapıldığı ve İstanbul'un genel jeolojisini oluşturan Trakya Formasyonunun jeolojik yapısı ve sonlu elemanlar analizinde kullanılan grovak parametreleri değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler; Grovak, derin kazı, yatay deplasman, sonlu elemanlar.

¹ İnş. Müh., Geobos Zemin Güçlendirme Sistemleri Ltd. Şti., arifcinar@geobos.com

² Yrd. Doç. Dr., İTÜ, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, senol@itu.edu.tr

³ İnş. Yük. Müh., Geobos Zemin Güçlendirme Sistemleri Ltd. Şti., pekarun@geobos.com

1. GİRİŞ

Artan nüfus ve büyük şehirlere başlayan göç, buralarda konut, işyeri, hizmet binası gibi ihtiyaçları arttırmıştır. Gelişen teknoloji ve azalan yaşam alanları, özellikle kent merkezindeki yeni yapıların çok katlı olmasının yanında yeraltına doğru da ilerlemesini sağlamıştır. Son yıllarda, özellikle İstanbul gibi büyük yerleşim merkezlerinde neredeyse tüm yapılar bir veya birkaç bodrumlu yapılmaktadır. Özellikle kent merkezlerinde arsa sınırlarının müsait olmaması ve yapılacak kazı derinliğinin fazla olması nedeniyle, klasik tarzda ağırlık veya konsol, rijit istinat yapılarının kullanılması zor ve gayri ekonomik olmaktadır. Bunun yerine çok sıra destekli esnek iksa yapıları tercih edilmektedir. İstanbul'un genel jeolojisi içinde yer alan grovak birimlerin mühendislik özelliklerinin de uygun olması sebebiyle kent merkezinde uygulanan derin kazı projelerinin sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

İksalı derin kazılarda, kazı sınırında genelde mevcut komşu yapılar, yollar veya altyapı nakil hatları yer alır. Kazı esnasında mevcut yapılara zarar vermemek ve kazı güvenliğini sağlamak için çeşitli gözlemler yapılmaktadır. Özellikle kazı aynasında oluşacak yatay deplasmanlar, kazı üst kotunda ve tabanında oluşacak düşey deplasmanlar ve iksa elemanlarında oluşacak yük değerleri, çeşitli deneysel aletler kullanılarak ölçülmekte ve olağandışı durumlarda yerinde tedbirler alınabilmektedir. Yapılan aletsel gözlemlerin diğer bir avantajı ise sonuçlarının geri analizlerde kullanılması ve benzer iksalı kazılarda seçilecek yöntemin netleştirilmesine yardımcı olmasıdır.

Bu çalışmada, ilk olarak İstanbul sınırlarında yer alan grovak birimlerde yapılmış 7 farklı öngermeli ankrajlı derin kazı projesi ve bu projelerde yer alan 20 adet inklinometre sonucu incelenmiştir. Daha sonra arazide ölçülen inklinometre sonuçlarına göre grovak birimlerde yapılan ankrajlı derin kazılarda, kazı derinliği ve yatay deplasman ilişkisi irdelenmiştir. Son kısımda ise farklı deplasman değerleri ve zemin koşullarına sahip 2 proje sonlu elemanlar yöntemi ile hesap yapan Plaxis bilgisayar programında modellenerek arazide gerçekleşen ve sonlu elemanlar ile elde edilen deplasmanlar karşılaştırılmıştır.

2. ARAZİ ÇALIŞMALARINDA ÖLÇÜLEN DEPLASMANLAR

Ankrajlı derin kazılar, öngermeli ve pasif ankrajlı olarak yapılabilmektedir. Yüksekliğin fazla olduğu ve arsa sınırından yer kaybının istenmediği durumlarda genelde öngermeli ankraj tercih edilmektedir. Derin kazı projelerinde, yatay yükler ankrajlarla taşınmaktadır. Kazı aynasında yer alan düşey iksa elemanları ise kazı esnasında oluşacak yüzeysel stabilite problemlerini önlemek ve ankrajların birlikte çalışmasını sağlamak için yapılmaktadır. Ankrajlı derin kazılarda, jeolojik yapı, seçilen iksa elemanları ve aletsel gözlemler büyük önem taşımaktadır.

Öngermeli ankrajlı derin kazılar, İstanbul'un genel jeolojik yapısını oluşturan grovak birimlerde çok sık uygulanmaktadır. Burada İstanbul grovağında yapılan öngermeli ankrajlı derin kazı projeleri ve projelerde yapılan inklinometre okumaları incelenmiştir.

2.1. Genel Jeolojik Yapı

Uygulamasý yapılan projelerin tamamý grovak birimlerde yer almaktadır. Grovak birimler, İstanbul'un batý yakasýnda yer alan Trakya Formasyonu içerisinde, kumtaşı, silttaşı, kiltası ve şeyl tabakaları ile birlikte görölmektedir. Bu formasyonu oluşturan birimler sedimenter kayaç olarak sınıflandırılmaktadır. Çok sayýdaki çatlak yüzeyleri ve kayma düzlemleri ile kırılmış, parçalanmış, dilim dilim olmuş formasyonda çok yönlü bir kırılma ve kayma sistemi mevcuttur. Yüzeydeki ayrılmış grovaklar, ayrışma derecesine bağı olarak kahve renkli ve sarımsı renktedir. Bu birimler çok kırıklı ve parçalanabilir yapıya sahiptir. Daha derindeki sağlam ve yoğun grovaklar koyu gri ve mavi-gri renktedirler. Bu birimlerde yer alan çatlaklar daha ziyade kılcal bir yapıya sahiptir (Özüer, 1975).

Grovak birimlerin, farklı çatlak takımı ve süreksizlikler barındırması, hesaplamalarda kullanılacak geoteknik parametrelerin belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Parsel bazında yapılan zemin etüd çalışmaları kapsamında yer alan arazi ve saha deneyleri ile bir çok parametre belirlenmektedir. Ancak laboratuvarında belirlenen parametreler, süreksizlik ve çatlak takımı içeren kaya kütesinin değil, bir bütün halinde bulunan kaya numunesinin mühendislik parametrelerini yansıtmaktadır. Arazide yapılan sismik deneylerden ise daha çok deprem anındaki davranışı sergileyen dinamik zemin parametreleri elde edilebilmektedir. Grovak birimlerde yapılan projelerde, hesaplamalarda kullanılacak parametrelerin seçilmesi için, etüd raporlarında yer alan değerlerin çeşitli korelasyonlar kullanılarak düzeltilmesi gerekmektedir.

2.2. Proje Özellikleri

İncelenen projeler, İstanbul sınırları içerisinde yer alan çeşitli yapıların kazı çukurlarının desteklenmesi için yapılmıştır. Desteklenen kazı yükseklikleri 11.00 ile 38.00 m arasında değişmektedir. Projelerin tamamı, yerleşimin yoğun olduğu kent merkezinde yer almakta ve çevresinde bina, yol veya altyapı hattı bulunmaktadır. Kazı çukurlarını desteklemek için yapılan iksa sistemleri, bina bodrumları yapıldıktan sonra işlevini kaybedecek şekilde geçici olarak tasarlanmıştır. Projelerde, yatay yükleri almak üzere öngermeli ankraj ve düşey iksa elemanı olarak da fore kazık ve mini kazık kullanılmıştır. Düşey iksa elemanlarının üzerinde, ankrajların birbiriyle bağlantısını ve yüklerini iksa aynasına aktarılmasını sağlamak üzere göğüsleme girişleri kullanılmıştır.

2.3. Yatay Deplasmanlar

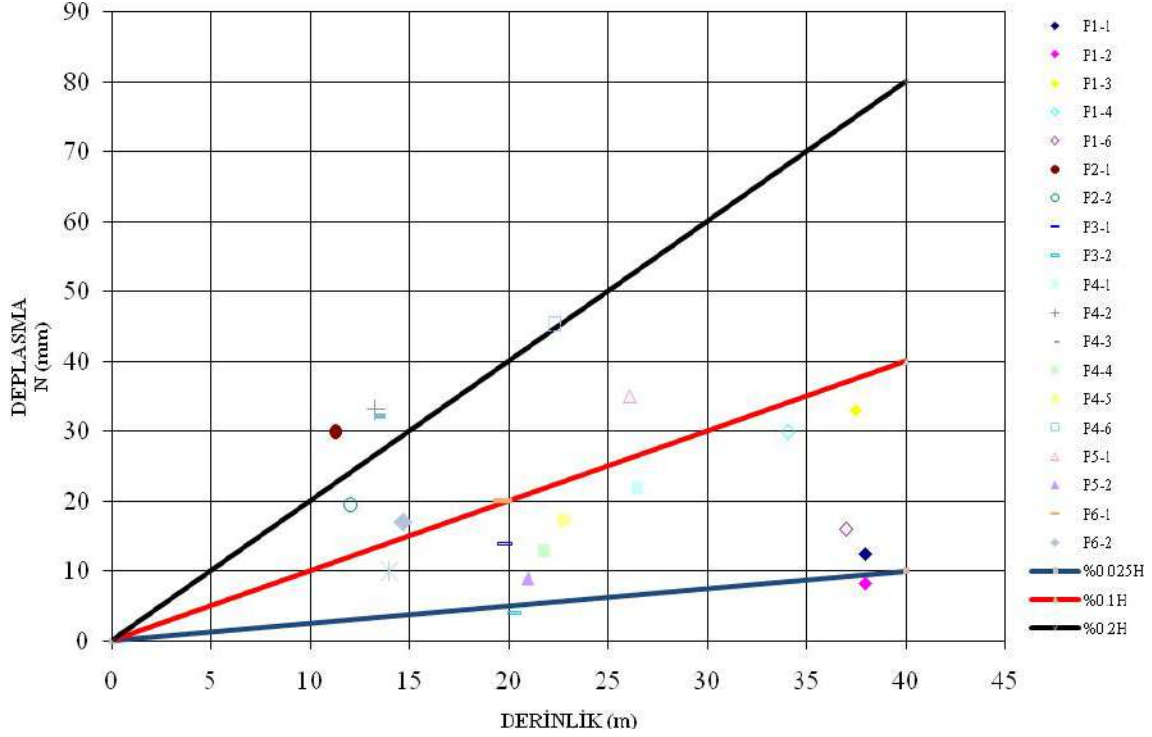
İksalı derin kazılarda, kazı süresince her kademede oluşacak yatay deplasmanların belirlenmesi için, geomatik yöntemler ve fiziksel yöntemler geliştirilmiştir. Geomatik yöntemler için, nivelman, alinyiman ve geomatik ağ yöntemi sıralanabilir. Fiziksel yöntemler ise, ekstansometreler, çatlak ölçerler, yük hücreleri, reflektörler ve inklinometrelerdir. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan ölçüm yöntemi inklinometredir. İnklinometre, içinden geçtiği borunun eksenine dik doğrultudaki hareketleri ölçen elektronik ünedir.

Uygulanan projelerde, kazı kademeleri sırasında ve sonrasında oluşacak yatay deplasmanların belirlenmesi için, düşey iksa elemanlarının arkasına inklinometreler yerleştirilmiş ve sürekli okumalar alınmıştır. İksa aynasında oluşacak yatay deplasman miktarı, zemin cinsine ve kazı derinliğine bağı olarak değişmektedir. Kazı derinliğiyle doğru orantılı olarak artan yatay deplasman değeri, yumuşak killi zeminlerde, kumlu zeminlerden daha fazla olmaktadır. İksa aynasında kazı derinliğine (H_e) bağı yatay deformasyon,

$$\delta_{yatay}(\%) = (0.2 \sim 0.5)H_e$$

(1)

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir (Ou, 2006). İncelenen projelerde, inklinometrelerden elde edilen yatay deplasman ve kazı derinliği değişimi Şekil 1’de görülmektedir.



Şekil 1. Öngermeli Ankrajlı Kazılarda Derinlik-Deplasman İlişkisi.

Şekil 1 incelendiğinde, grovak birimlerde yapılan öngermeli ankrajlı derin kazı projelerinde oluşan yatay deplasmanın, $\delta_{yatay}(\%) = (0.025 \sim 0.2)H_e$ aralığında ve ortalama $0.1H_e$ değerinde olduğu söylenebilir.

3. DERİN KAZILARIN SONLU ELEMANLAR İLE MODELLENMESİ

Son yıllarda teknolojinin gelişimine bağlı olarak, karmaşık problemlerin çözümünde bilgisayar programlarının kullanılması oldukça yaygınlaşmıştır. Sonlu elemanlar yöntemine dayalı bilgisayar programları, karmaşık matematik problemlerinin çözümünde, problemi küçük parçalara ayırarak yaklaşık hesaplamalar yapar. Mühendisliğin birçok alanında kullanılan sonlu elemanlar yöntemi, geoteknik mühendisliğinde zemin ve yapı elemanlarının deformasyon analizlerinde kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar analizi yapan Plaxis bilgisayar programı, taşıma kapasitesi, oturma, şev stabilitesi ve sızma gibi temel geoteknik problemlerinin çözümüne yönelik, elasto-plastik davranışa uygun olarak analizler yapmaktadır.

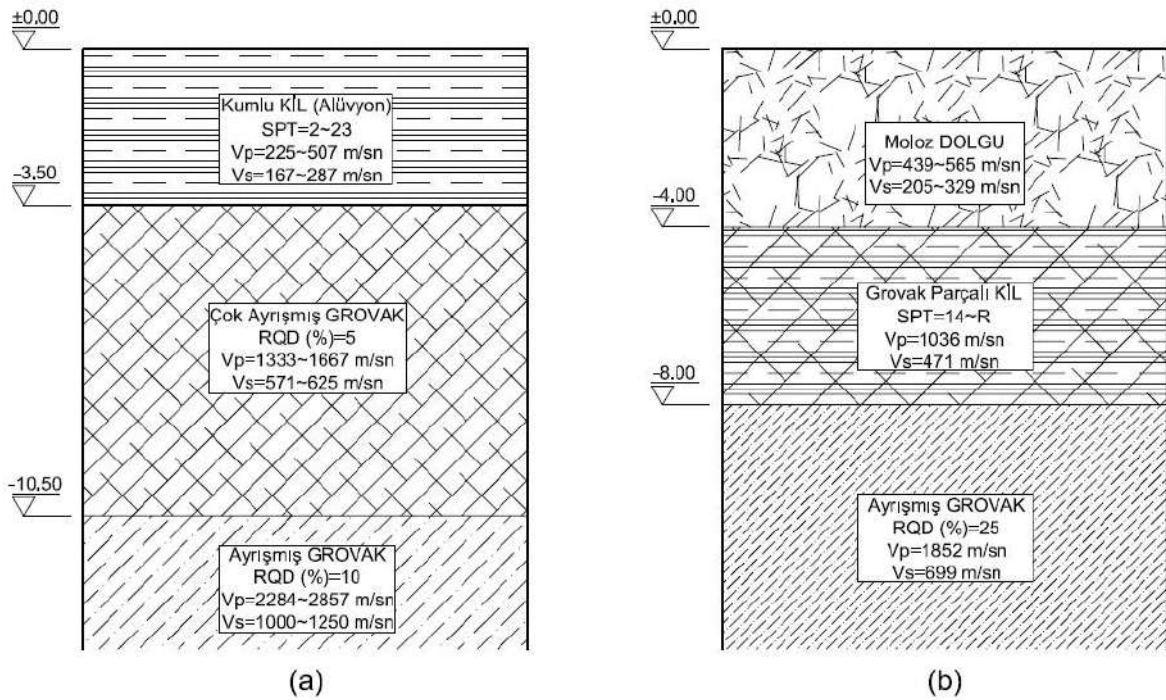
Öngermeli ankrajlı sistemlerin tasarımı, yük kabullerinin ve seçilen malzemelerin çok değişik olması bakımından kapsamlı geoteknik hesaplama ve analizler gerektirmektedir. İksa sisteminin uygulanacağı zeminlerin idealize edilmesi ve mühendislik parametrelerinin

belirlenmesi, iksa üzerinde etkili olacak yatay itkilerin zemin cinsine göre seçilmesi ve iksa elemanlarının boyutlandırılması uzmanlık gerektiren mühendislik konularıdır.

İksa yüksekliğinin ve zemin koşullarının yatay deplasman üzerindeki etkilerinin anlaşılması amacıyla, incelenen projelerden, iksa yüksekliği, yatay deplasmanı ve zemin koşulları birbirinden farklı olan 2 tanesi seçilerek sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiştir. Seçilen 1 ve 2 No'lu projelerde, arazide inklinometrelerin bulunduğu kesitler sonlu elemanlar yöntemi ile hesap yapan Plaxis bilgisayar programında modellenmiş ve analiz sonucunda, iksa aynasında oluşan yatay deplasmanlar, inklinometrelerden elde edilen yatay deplasmanlarla kıyaslanmıştır.

3.1. İnceleme Alanı ve Zemin Koşulları

Sonlu elemanlar ile modellenen iki proje de, İstanbul'un Avrupa yakasının genel zemin koşullarını yansıtan grovak birimlerde yer almaktadır. İnceleme alanlarına ait zemin etüd raporlarından elde edilen idealize zemin profili Şekil 2'deki gibidir. İncelenen projelerde net olarak yeraltı suyuna rastlanmamıştır.



Şekil 2. İncelenen Projelere Ait İdealize Zemin Profili.

İncelenen birinci proje, İstanbul Maslak bölgesinde yer almaktadır. Proje kapsamında yapılması düşünülen derin kazı yüksekliği, 11.00 ile 17.00 m arasında değişmektedir. İnceleme alanının genel jeolojisini, üst bölgelerde kil, altında ise derinlikle dayanımı artan ayırışmış grovak birimler oluşturmaktadır (Şekil 2.a). Bu projede, düşey iksa elemanları 25 cm çapında mini kazık olarak projelendirilmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile incelenecek ikinci proje, İstanbul Şişli bölgesinde yer almaktadır. Yüksek katlı konut ve işyeri inşaatı kapsamında, yüksekliği 17.00 ile 38.00 m arasında değişen derin kazıların yapıldığı proje alanı genel olarak, üst bölgelerde eski dolgu, altında ise derinlik boyunca dayanımı artan grovak birimlerden oluşmaktadır (Şekil 2.b).

İncelenen projede, iksa yüksekliğinin fazla olması nedeniyle, kazı aynası iki farklı kademede yapılmış ve düşey iksa elemanı olarak fore kazık kullanılmıştır.

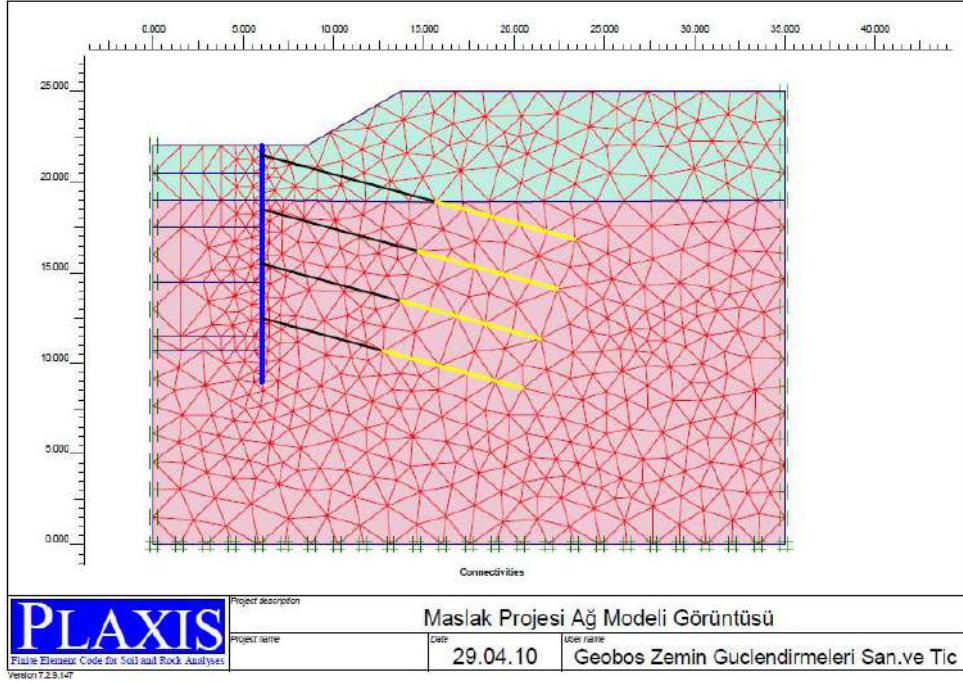
İncelenen projelere ait zemin koşullarının belirlenmesi için arazide araştırma sondajları, sismik ölçümler ve laboratuvarda çeşitli deneyler yapılmıştır. Birimlerin mukavemet parametrelerini doğrudan belirlemek için çeşitli derinliklerden alınan numuneler üzerinde nokta yükleme, serbest basınç, üç eksenli basınç deneyleri yapılmış ve ilgili derinlikteki birimi temsilen kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler, ilgili derinlikten alınan kayaç numunesi mukavemet parametrelerini temsil etmektedir. Kayaç numunesi, çatlak takımı ve süreksizlikler barındıran kaya kütlelerinin davranışını doğru temsil edemediğinden çok yüksek mukavemet parametrelerine sahip olmaktadır. Ancak bu parametrelerin doğrudan sonlu elemanlar veya diğer hesap yöntemlerinde kullanılması çok güvensiz durumlar doğurabilir. Sonlu elemanlar analizinde, kayaç numunesinin değil kaya kütlelerinin davranışını temsil eden parametreler kullanılmalıdır. Kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında kullanılan RQD (*rock quality designation*) ve RMR (*rock mass rating*) gibi değerler, sismik ölçüm sonuçları ve çeşitli korelasyonlar kullanılarak, grovak birimleri temsilen mühendislik parametreleri hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar modelinde, ayrılmış grovak birimleri ve diğer zeminleri temsilen aşağıdaki parametreler kullanılmıştır.

Çizelge 1. Sonlu Elemanlar Modelinde Kullanılan Hesap Parametreleri.

Parametre	1. Proje		2. Proje		
	Kumlu Kil	Çok Ayrılmış Grovak	Moloz Dolgu	Grovak Parçalı Kil	Az Ayrılmış Grovak
Ortalama Derinlik (m)	3,50	-	4,00	8,00	-
Drenajlı Kohezyon, c' (kPa)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
İçsel Sürtünme Açısı, ϕ' (°)	30	32	28	32	38
Elastisite Modülü, E_{50} (MPa)	25,0	135,0	25,0	35,0	400,0
Gevşeme Modülü, E_{ur} (MPa)	50,0	270,0	50,0	70,0	800,0
Poisson Oranı, μ	0,4	0,38	0,33	0,40	0,41
Birim Hacim Ağırlık, γ (kN/m ³)	16,9	20,3	16,9	19,3	20,7

3.2. Sonlu Elemanlar Modeli

Sonlu elemanlar programında incelenen geoteknik problemler, programa çözdürülmeden önce mutlaka değişik bakış açıları kullanılarak çözülmeli ve program kullanılarak çözümün doğruluğu kontrol edilmelidir. 1 ve 2 No'lu çalışmalar da, öngermeli ankraj hesap yöntemleri kullanılarak boyutlandırılmış ve kontrol amaçlı sonlu elemanlar programında modellenmiştir. Plaxis programına tanımlanan geometrik model, gerçek kesitlerin prototipinin 2 boyutlu olarak programın veri tabanına işlenmesi ile oluşturulmaktadır. Modelde, kazıklar giriş elemanı (*beam*), öngermeli ankrajların serbest boyları ankraj çubuğu (*node to node anchor*) ve kök boyları geotekstil (*geotextile*) olarak tanımlanır. Proje sınırlarında yer alan yapı ve toprak yükleri sürşaj yükü olarak tanımlanabilmektedir. İncelenen kesitlerde yer alan iksa elemanları, kazı kademeleri, komşu yapılar, yeraltı suyu ve sürşaj yükleri tanımlanarak geometrik model tamamlanır (Şekil 3).

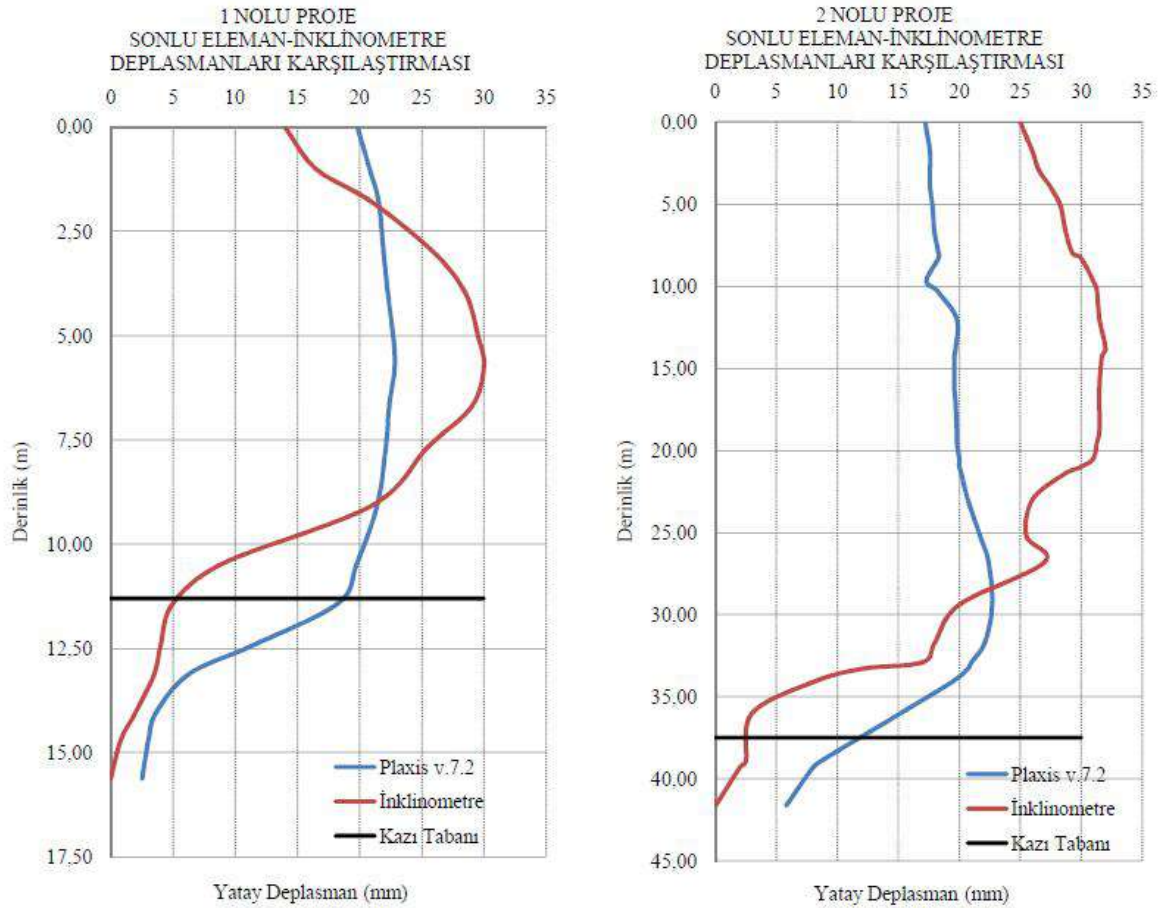


Şekil 3. 1 No'lu Projeye Ait Sonlu Elemanlar Modeli Görüntüsü.

3.3. Sonlu Elemanlar Analizi

Hesaplamalarda kullanılacak tüm elemanların tanıtılması, sistemin geometrik koşullarının belirlenmesi ve başlangıç koşullarının modellenmesi ile analizler için yapılması gereken her şey tamamlanmış olur. Analizler, proje kapsamında yapılacak imalatların yöntemine bağlı olarak sayfalar şeklinde yapılır. Öngermeli ankrajlı sistemlerde her kazı kademesi ayrı tanımlanarak kazı kademelerinde oluşacak deplasmanlar, gerilmeler ve kazık momentleri ayrı ayrı görülebilir.

Sonlu elemanlar analizi sonucunda, incelenen iksa kesitlerinde oluşan yatay deplasmanlar ve inklinometrelerden elde edilen yatay deplasmanlar Şekil 4'te görülmektedir. İncelenen 1 No'lu projede, sonlu elemanlar sonucunda oluşan maksimum yatay deplasman son kazı kademesinin yapılması ile oluşmakta ve iksa aynasının ortasında yer almaktadır. İksa üst kotundan yaklaşık 6.00 m aşağıda oluşan deplasmanın miktarı 23 mm mertebesindedir. İksa hareketlerinin gözlenmesi için arazide kullanılan ve incelenen kesit ile aynı yerde yer alan inklinometre sonucunda ise yatay deplasman aynı derinlikte ve 30 mm mertebesindedir. Sonlu elemanlar analizi ile incelenen 2 No'lu projede, maksimum yatay deplasman iksa üst kotundan yaklaşık 30,00 m aşağıda ve kazı tabanına yakın bölgede oluşmuştur. Oluşan deplasman 23 mm mertebesindedir. İnklinometre sonucunda ise aynı derinlikteki yatay deplasman 20 mm mertebesindedir. Ancak inklinometrede görünen gerçek deplasman kazı yüksekliğinin orta bölgesinde maksimum değerine ulaşmakta ve 32 mm mertebesine çıkmaktadır.



Şekil 4. 1 ve 2 No'lu Projelerin Yatay Deplasman Değerleri.

Sonlu elemanlar ile hesaplanan ve arazide gerçekleşen deplasmanlar, merteye olarak birbirlerine yakın olmasına rağmen maksimum değerlerinin yeri farklı noktalarda görünmektedir. Her iki çalışmada da, kazı tabanında kazık soket bölgesinde gerçekleşenden daha fazla yatay deplasman görünmektedir. Kazık soket bölgesinde oluşan deplasmanın, kazı tabanında oluşan kabarma ve sistemin bir bütün olarak ötelenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Arazide yapılan İnklinometre ölçümlerinde kazı tabanında yatay deplasmanların önemli ölçüde azaldığı görünmektedir. İnklinometre ölçümlerinde, kılavuz borunun tabanının hareketi İnklinometre okumalarına yansımamaktadır. İnklinometrelerde eğilme açıları ve düşey aralıklar kullanılarak deplasman hesapladığı için tabandaki ötelenme şeklindeki deplasmanlar tam anlamıyla ölçülememektedir. Dolayısıyla, Plaxis programı sonucuna benzer bir ötelenme arazide de gerçekleşmiş olabilir. Merteye olarak benzer sonuçlar bulunmasına rağmen arazide gerçekleşen deplasmanlar her iki projede de sonlu elemanlar ile hesaplanandan daha fazladır. Arazide gerçekleşen yatay deplasmanların fazla olmasının, sonlu elemanlar analizinde, kaya kütleinin süreksizlik ve çatlak özelliklerinin tam olarak temsil edilemediğinden kaynaklandığı düşünülebilir.

İncelenen projeler için ön hesaplamalarda seçilen yük dağılımları, sonlu elemanlar sonucunda hesaplanan yatay gerilmelere yaklaşık çıkmıştır. Her iki projede de, sonlu elemanlar analizinde öngerme yükünden dolayı ankraj kafa bölgelerinde gerilme birikmelerinin olduğu gözlenmiştir. Ankraj kafa bölgelerinde lokal gerilme artışlarının üniform olarak dağıtılması sonucunda elde edilen ortalama gerilmeler, ön hesaplamalarda çok ayrılmış grovak birimler için seçilen $\sigma_n=0.25\gamma H_e$ (Peck, 1969) yük dağılımına benzerlik göstermiştir.

5. SONUÇLAR

Bu araştırmada, iksalı derin kazıların sıkça uygulandığı İstanbul ilinin genel jeolojisini oluşturan grovak birimlerde yapılan öngermeli ankrajlı derin kazılarda oluşan yatay deplasmanlar incelenmiştir. İki farklı derin kazı projesi sonlu elemanlar yöntemi ile hesap yapan Plaxis bilgisayar programında modellenerek, sonlu elemanlarla hesaplanan sonuçların ve arazide yapılan ölçümlerin karşılaştırması yapılmıştır.

- Grovak birimlerde yapılan 7 farklı derin kazı projesi ve bunlarda kullanılan 20 farklı inklinometre sonucuna göre, kazı aynasında oluşan yatay deplasmanın, δ_{yatay} (%), $(0.025\sim 0.2)H_e$ aralığında ve ortalama $0.1H_e$ değerinde olduğu belirlenmiştir.
- Sonlu elemanlar analizinde, iksa topuğunda oluşan fazla deplasmanın, bu bölgedeki plastikleşen noktalardan ve tabanda hesaplanan kabarmadan kaynaklandığı düşünölmektedir. Daha çok yumuşak kil birimlerde oluşması beklenen taban kabarması, grovak birimler için gerçekçi olmamaktadır.
- Sonlu elemanlar analizinde, özellikle düşey gerilmelerin az olduğu üst sıra ankraj bölgelerinde arazide gözlenmeyen, kazı arkasına doğru deplasmanlar görünmektedir. Sonlu elemanlar analizindeki geri deplasmanın, ankrajlara uygulanan germe kuvveti sebebiyle oluştuğu ve arazide çok fazla görünmediği bilinmektedir.
- Sonlu elemanlar analiz yöntemi ile incelenen iki farklı projede, arazide gerçekteşen yatay deplasmanlara benzer deplasmanlar elde edilmiştir. Meritebe olarak benzer deplasmanlar elde edilmesine rağmen, maksimum deplasmanların yeri ve şekli farklılık göstermektedir. Bu farklılığın, inklinometrelerin çalışma prensibi ve çok ayrışmış kaya özelliğinde ve anizotrop yapıdaki grovak birimlerin, sonlu elemanlar programında üniform zemin olarak modellenmesinden kaynaklandığı düşünölmektedir.
- Sonlu elemanlar analizinde, zemin etüd raporlarında önerilen değerlerden farklı mühendislik parametreleri kullanılmıştır. Etüd raporlarında, arazideki sismik deneyler ve laboratuvardaki numune deneyleri sonuçları yer almaktadır. Ancak bu deneyler, kaya kütesini bir bütün olarak temsil etmemektedir. Sismik deneylerle elde edilen dinamik modüller ve laboratuvar deneyleri ile elde edilen çeşitli parametreler, kaya kütesini temsil eden RQD ve RMR değerleri kullanılarak kaya kütesinin tamamını temsil edecek ve tasarımlarda kullanılacak şekilde tekrar hesaplanmıştır.
- Sonlu elemanlar programında kullanılan parametrelerin seçilmesi, yapılacak analizin doğruluğu için son derece önemlidir. Sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan programların yanlış veriler altında da sonuç üreteceği ve çıkan sonucun yanlış olabileceği unutulmamalıdır. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler öncelikle değişik kabul ve yaklaşımlarla çözülmeli daha sonra bilgisayar programı yardımıyla kontrol edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Brinkgreve, R. B. J. and Vermeer P. A., (1998), "Plaxis v.7.2, Finite Element Code for Soil and Rock Analyses", Rotterdam, Brookfield.
- Moradian, Z. A., and Behnia, M., (2009). "Predicting the Unaxial Compressive Strength and Static Young's Modulus of Intact Sedimentary Rocks Using the Ultrasonic Test". International Journal of Geomechanics©ASCE, February.
- Ou, C. Y., (2006). "Deep Excavation, Theory and Practice", London, UK.
- Özüer, A. B., (1975). "Çatlaklı Grovak ve Killi Şistlerin Mühendislik Özellikleri", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Sabatini, P. J., Pass, D. G., Bachus, R. C., (1999). "Ground Anchorages And Anchored Systems", FHWA Technical Report, FHWA-IF-99-015, June.
- Yoo, C., (2001). "Behaviour of Braced and Anchored Walls in Soils Overlying Rock". Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering (ASCE), Vol. 127, no. 22326.
- Zhang, L., (2005). "Engineering Properties of Rock", Elsevier Geo-Engineering Book Series, Vol. 4, Massachusetts, USA.