

ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARIN FARKLI ZEMİN KOŞULLARINDA DAVRANIŞLARI

Serpil Yılmaz¹, H. Fatih Kulaç¹, ve H. Turan Durgunoğlu²

ÖZET

Sahadaki zeminlerin çeşitli tipte dayanımlı donatılar kullanılarak takviyesi eski bir kazı inşa yöntemidir. Zemin çivisi yöntemi, derin kazı iksa yöntemlerinden biri olup, projelere getirdiği ekonomi ve imalat hızı sayesinde, son 15 yıl içerisinde derin kazılarda sıkça başvurulan bir yöntem olmuştur. Zemin çivisi yönteminin, İstanbul bölgesinde mevcut Trakya formasyonu için oldukça başarılı bir kazı iksa yöntemi olduğu geçmişteki uygulamalardan gözlenmektedir. Bu makale kapsamında İstanbul bölgesinde derin kazılarda uygulanan iki adet vaka verilmektedir. Bu vakalarda, grovak anakaya formasyonu ile grovak dolgu zemin içerisinde inşa edilen zemin çivili iksa sistemleri incelenmiştir. Sözkonusu sistemler, sistemlerde kullanılan çivi miktarları ve meydana gelen yatay hareketler incelenerek mukayeseli olarak değerlendirilmektedir. Duvar deplasmanları kazı çevresine yerleştirilen inklinometreler ile aletsel olarak gözlenmiştir.

1. GİRİŞ

Zemin çivisi ile zemin takviyesi yöntemi ülkemizde son on yıl içinde başarı ile uygulanmaktadır. Bu makalede grovak anakayada Tekfen Tower projesi, daha sonra da grovak dolguda Şetât 2002 projesi incelenmiştir. Tekfen Tower'da gerçekleştirilen kazı derinlikleri 16.0m ile 25.0m arasındadır. Bu proje, bu denli derin geçici kazıların zemin çivili iksa yöntemi ile yapılması açısından büyük bir önem taşımaktadır. Sözkonusu yöntemin, İstanbul bölgesi Trakya formasyonu için oldukça başarılı bir kazı iksa yöntemi olduğu geçmişteki uygulamalardan gözlenmiş, ancak bu yöntemin grovak dolguda uygulamasına rastlanmamıştır. ŞETAT 2002 projesi, grovak dolguda gerçekleştirilen kazıların zemin çivisi yöntemi ile takviyesine bir ilk örnek teşkil etmesi bakımından önem taşımaktadır. Projelere ilişkin detaylı bilgiler vaka analizleri kısmında verilmektedir.

2. VAKA ANALİZLERİ

2.1. Tekfen Tower

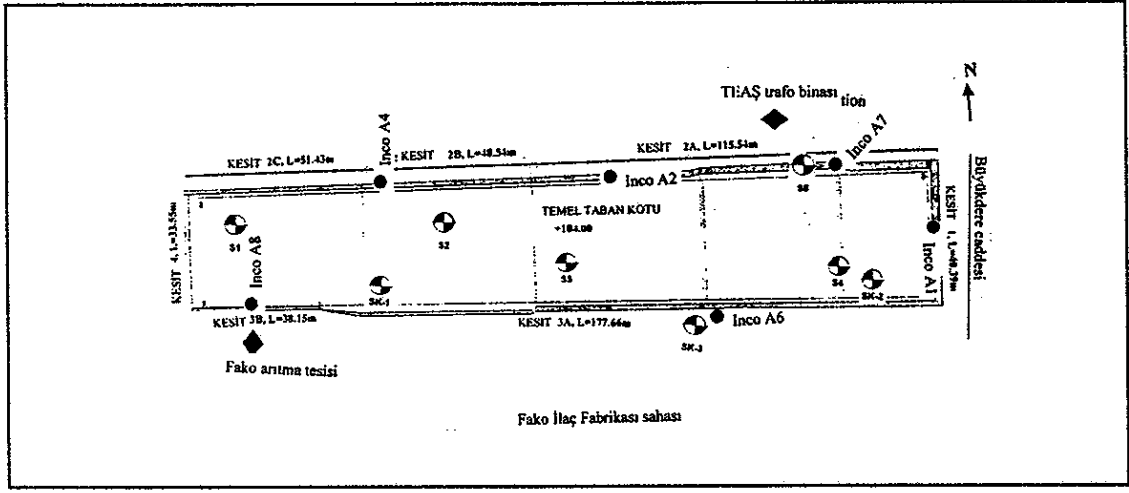
İlk vakada ele alınan "Tekfen Tower" inşaat sahası, Tekfen Holding'e ait eski ampül fabrikası sahası olup, Beşiktaş Belediyesi sınırları içerisinde, 4. Levent bölgesinde,

¹ İnş. Yük. Müh., ZETAŞ Zemin Teknolojisi AŞ, İstanbul, Türkiye

² Prof.Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Büyükdere Caddesi üzerinde yer almaktadır. Söz konusu bölge genel jeolojisi itibarıyla son zamanlarda yüksek yapılar için oldukça tercih edilen bir konuma sahiptir. Sahanın doğu cephesi Büyükdere caddesi'ne bakmakta olup, batısında ise ara bir yol mevcuttur. Sahanın kuzey tarafında TEAŞ trafo binası, güney tarafında ise Fako İlaç Fabrikası yer almaktadır. Ayrıca, İstanbul Metrosu'na ait yüksek voltajlı elektrik kabloları sahanın kuzey cephesinde mevcut zemin yüzeyinin takriben 1.5 m altından geçmektedir. İnşaat sahasına ait vaziyet planı Şekil 1'de verilmektedir.

Söz konusu proje kapsamında planlanan yapılar, Büyükdere cephesi tarafında bir giriş yapısı, bu binanın batısında çok katlı bir kule iş merkezi ile mağaza ve restoranların yeracağı arka yapılardan oluşmaktadır. Tüm binalar beş bodrumlu olarak tasarlanmaktadır.



Şekil 1. Tekfen Tower sahası vaziyet planı

2.1.1. Zemin koşulları

Söz konusu bölgede İstanbul Paleozoyik'in üst birimini oluşturan kumtaşı, kiltası ve siltaşı aralanmasından oluşan grovak anakaya formasyonunun yüzeylendiği görülmektedir. İstanbul'da gözlenen grovak, Trakya formasyonu olarak adlandırılmakta olup, taşıma gücü açısından bir problem teşkil etmezken, şev duraylılığı açısından gerek çok çatlaklı oluşu ve gerekse yer yer su akımına maruz kalabilmesi ve özellikle aşırı konsolidasyona uğramış formasyonun kazı sonucu gerilme boşalmasına maruz kalışı ile problemler doğurabilmektedir. Grovak formasyonunun bu özelliği, kazılar esnasında şev yüzeyinin uzun süre açık kalması durumunda ve yağışlı mevsimlerde özellikle önem kazanmaktadır. Sahadaki zemin koşullarını belirleyebilmek amacıyla projelendirme ve iksa uygulaması öncesi sekiz adet toplam takriben 200.0 m uzunluğunda rotari sondajdan oluşan bir zemin etüd programı gerçekleştirilmiştir. Sondaj konumları Şekil 1'de verilen vaziyet planı üzerinde gösterilmektedir. Sondajlarda belirlenen grovak kayalar genel olarak orta derecede ayrılmış, orta-sık çatlaklı, orta-zayıf dayanımlıdır. Kaya kalitesi tanımı (RQD) çok zayıftır.

2.1.2. İksa Sistemi

Zemin çivisi yöntemi, pasif bir sistem olup, kazı yüzeyinde deformasyonların oluşmasına bağlı olarak çivilerdeki çekme kuvvetlerinin etkin olması prensibine dayanmaktadır. Özellikle derin kazı iksa sistemlerinde kullanılan söz konusu yöntemin, bölgede mevcut Trakya formasyonu için oldukça başarılı bir kazı iksa yöntemi olduğu bugüne kadar

bölgede yapılan zemin çivisi uygulamalarından gözlenmektedir (Durgunoğlu ve diğerleri, 1997). Bu amaçla, Fako İlaç fabrikası sahasında yer alan arıtma ünitesi konumu dışında kalan tüm kazı cepheleri zemin çivili duvarlar olarak projelendirilmiştir. Arıtma tesisinin Tekfen Tower kazı sınırında yer alması, buna bağlı olarak da bu bölgede ancak çok küçük deformasyona izin verilmesi dolayısıyla, duvarın bu kesiminde mini kazıklı ve öngermeli ankrajlı bir iksa sistemi projelendirilmiştir. Söz konusu sahada mevcut zemin kotları, giriş yapısı ve kule iş yapısı konumlarında 129.0 m ile 130.0 m arasında değişmektedir. Arka yapılar konumunda ise, zemin kotları doğu-batı doğrultusunda azalarak sahanın batı sınırında 122.0m seviyelerine düşmektedir. Yapı temel kotları takriben 104.0 m olarak planlanmaktadır.

Sahanın mevcut topoğrafyası ile yapısal kotlar dikkate alındığında, yapı temelleri inşası için gereken kazı derinlikleri 16.0 m ile 25.0 m arasında değişmektedir. Söz konusu kazıların takriben ilk 5.0 m'lik kısmı tamamıyla ayrılmış ve rezidüel zemin niteliğinde olan grovak içerisinde, geriye kalan kısmı ise orta derecede ve az ayrılmış grovaklarda gerçekleştirilmektedir. Yukarıda verilen kazı derinlikleri için projelendirilen iksa sistemi toplam yüzey alanı 10,350 m² olarak saptanmıştır. Söz konusu iksa yüzey alanı metrajı dikkate alındığında, proje maliyetlerinin asgari düzeye indirgenebilmesi amacıyla, tasarlanacak iksa sisteminin en ekonomik mühendislik çözümü olması büyük önem arz etmektedir. Bu amaçla, projelere getirdiği ekonomi ve imalat hızı sebebiyle zemin çivili iksa sisteminin uygulanmasına karar verilmiştir. Ayrıca, zemin çivisi sistemi imalatı açısından da esnek bir sistem olup, gerektiğinde ilave zemin çivilerinin kullanılması vasıtası ile kazı deplasmanları kontrol altında tutulabilmekte ve iksa sisteminin yatay itkilere güvenli bir şekilde karşı koyabilmesi sağlanmaktadır. İksa sisteminin projelendirilmesinde kullanılan geoteknik parametreler Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Tasarımda kullanılan geoteknik parametreler

Zemin cinsi	γ (kN/m ³)	ϕ' (derece)	c' (kN/m ²)
Bütünüyle ayrılmış grovak	18.5	28°	0
Orta derecede ayrılmış grovak	19.5	30°	10
Az ayrılmış grovak	19.5	30°	20

İksa cephelerinde uygulanacak olan geometriyi belirleyebilmek amacıyla, bir seri bilgisayar analizleri gerçekleştirilerek, yedi farklı kesit belirlenmiştir. Bu kesit geometrilerine ilişkin bilgiler Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Kesit geometrileri

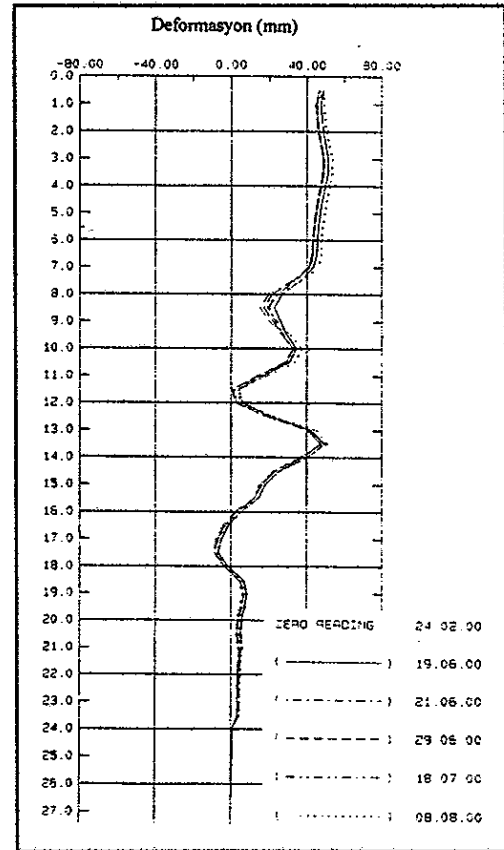
Geometri	Maksimum yükseklik (m)	Minimum yükseklik (m)	Uzunluk (m)	Alan (m ²)	
Kesit No.	1	25.0	25.0	40.4	1,010.0
	2A	25.0	22.0	115.6	2,717.0
	2B	22.0	19.0	48.6	996.0
	2C	19.0	16.0	51.4	900.0
	3A	19.5	19.5	177.7	3465.0
	3B	19.5	18.5	38.2	726.0
	4	16.0	16.0	33.6	538.0
Tüm saha	25.0	16.0	505.3	10,352.0	

Bu tabloda verilen tüm kesitlerde yatay çivi aralığı $Sh=2.0$ m, düşey çivi aralığı $Sv=1.5$ m olup, duvar yüzeyi düşey ile 5° 'lik bir açı yapmaktadır. Çivi boyları 4.0 m ile 12.0 m arasında değişmektedir. Çivi eğimleri ise 10° 'dir. Kesit "3B" olarak adlandırılan kısımda Fako İlaç Fabrikası arıtma ünitesi yer almakta olup, duvarın bu kısmında mini kazıklı ve öngermeli ankrajlı iksa sistemi uygulanmıştır.

2.1.3. Duvar deformasyonları

Zemin çivili iksa sistemlerinde meydana gelen yatay hareketlerin gözlemlenerek, mevcut iksa sisteminin kazı kotu ve zamana bağlı davranışının belirlenmesi önemli bir husustur. Bu sayede, gerekmesi durumunda kazı yüzeyine ilave çivilerin yerleştirilmesi suretiyle kazı şevlerinin duraylılığı sağlanabilmektedir. Bu amaçla, konu iksa sisteminin yatay hareketleri, yapım ve kazı sonrasında geçen sürede inklinometreler ile aletsel olarak gözlemlenmiştir. Bu gözlemlerin gerçekleştirilebilmesi için kazı cephelerine altı adet inklinometre cihazı yerleştirilmiştir. İnklinometre yerleşim noktaları Şekil 1'de verilen vaziyet planında görülmektedir. İnklinometre kuyu derinlikleri 19.5 m ile 24.0 m arasında değişmekte ve kazı taban kotu altına kadar devam etmektedir.

Doğu cephesinde kazı çukuru 113.0 m kotuna indiğinde bu cephedeki kazı derinliği 16.0 m mertebesindedir. Sözkonusu kota ulaşıldığında sahanın doğu kesiminde karşılaşılan grovak formasyon, sondajlardan elde edilen zemin verileri ile tutarlılık göstermeyip, öngörülenden daha zayıf zemin koşullarına sahip olduğu uygulama esnasında görülmüştür. Bu seviyelerde karşılaşılan grovakın orta derecede ayrışmış olması beklenirken sahanın bu kesimindeki grovaklar daha fazla bir ayrışma göstermekte ve dolayısıyla kayma direnci düşük olmaktadır. Karşılaşılan zayıf zemin koşullarından dolayı "1" ve "2A" numaralı kesitlerin uygulandığı doğu ve kuzey kazı cephelerinde deformasyonlar düzenli bir şekilde artmış, ulaşılan kazı yüksekliklerinin %0.3'üne kadar varmıştır. Kazıların temel kotuna kadar devam edeceği dikkate alınarak, zamanla oluşacak olası deformasyonların asgari düzeyde tutulabilmesi amacıyla kesit 1'in tümü ve kesit 2A'nın 2/3'ü uzunluğuna bir sıra ilave zemin çivisi yerleştirilmiştir. Yerleştirilen bu çiviler $\phi=40$ mm çapında ve $L=12.0$ m boyundadır. Çivi yatay aralıkları 1.5 m olarak seçilmiştir. Kuzey kazı cephesinde meydana gelecek deformasyonların daha hassas bir şekilde gözlemlenebilmesi için bu cephenin kesit "2A" kısmına "A7" olarak adlandırılan bir adet ilave inklinometre daha yerleştirilmiştir. Sahada gerçekleştirilen aletsel gözlemlere bir örnek olarak doğu kazı cephesine yerleştirilen "A1" no'lu inklinometre ile kaydedilen yatay deplasmanlar Şekil 2'de verilmiştir. Bu ölçümlerden görüldüğü üzere, zemin çivili duvarın yatay deplasmanı zemin yüzeyinden derinlere inildikçe azalmaktadır. Kazı



Şekil 2. Doğu kazı cephesi yatay deplasmanlarının derinlik ile değişimi

çevresine yerleştirilen inklinometreler vasıtası ile herbir inklinometre cihazı ile zemin çivili iksa duvarlarında gözlemlenen maksimum deplasmanlar Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Zemin çivili duvarlarda ölçülen maksimum deplasmanlar

İnklinometre numarası	Cihazın yerleştirildiği kesit no	Bu noktadaki duvar yüksekliği (m)	Maksimum deplasman (mm)	Duvar yüksekliğinin yüzdesi olarak
A1	“1”	25.0	45	0.18
A2	“2A”	24.0	15	0.06
A4	“2B”	20.0	10	0.05
A6	“3A”	19.5	10	0.05
A7	“2A”	24.0	20	0.08

Bu tablodan da görülebileceği üzere, maksimum yatay deplasman doğu kazı cephesine yerleştirilen “A1” numaralı inklinometre konumunda ölçülmüş olup, takriben duvar yüksekliğinin % 0.2’sine tekabül etmektedir. Minimum yatay deplasman ise kuzey ve güney kazı cephelerine yerleştirilen “A4” ve “A6” numaralı inklinometre konumlarında ölçülmüş olup, takriben duvar yüksekliklerinin %0.05’ine tekabül etmektedir. Tablo 3’de verilen deformasyonlarda dikkat çeken önemli bir nokta ise, duvar deformasyonlarının genel olarak duvar yüksekliklerinin %0.05’i ile sınırlı kalırken, “A1” numaralı inklinometre konumunda sözkonusu deformasyonların %0.2’ler mertebesine çıkmasıdır. Bu durum, sahanın bu kesiminde karşılaşılan zayıf zemin koşullarından kaynaklanmaktadır. Yukarıdaki tablodan da görülebileceği üzere, bölgesel zemin koşullarının duvarlarda meydana gelebilecek deformasyonlar üzerinde çok önemli bir rol oynadığı söylenebilir. Elde edilen bu deformasyonlar literatürde verilen deformasyon değerleri ile (Juran, 1987) uyum içerisinde olup, deformasyon değerleri iksa sisteminin halihazırda emniyetli olarak servis vermeye devam ettiğini göstermektedir.

2.2. Şetat 2002

Şetat 2002 inşaat sahası, Ortaköy vadisinin Levent (Beltaş’a) birleşen bölümünde yer almaktadır. Sahanın doğal topoğrafyası grovak kayacının oluşturduğu bir yan vadidir. Saha uzun yıllar boyunca döküm alanı olarak kullanıldığından vadi düzensiz ve eratik malzeme ile doldurulmuştur. Dolgu malzemesi özellikle 1. Boğaziçi köprüsü temel ve ankraj kazılarından çıkan grovak dolgu özelliğindedir. Böylece, vadi tabanında 30.0 m kalınlığa varan ve sahanın batı cephesine doğru kalınlığı 10.0 m’ye kadar azalan düzensiz grovak dolgu ile sahanın mevcut topoğrafyası oluşmuştur. Saha, doğu ve batı cephelerinde asfalt yollar, kuzeyinde ise yerleşim alanlarıyla çevrelenmiştir. Güneyinde ise bir konut projesi devam etmektedir. İnşaat sahasına ait vaziyet planı Şekil 3’de verilmektedir.

2.2.1. Zemin koşulları

Sözkonusu proje için zemin etüdüleri iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada sahadaki zemin koşullarını belirleyebilmek amacıyla toplam on adet, ikinci aşamada ise toplam 31 adet rotari sondaj yapılmıştır. Sondaj konumları Şekil 3’de verilen vaziyet planı üzerinde gösterilmektedir. Saha gözlemleri ile ve sondajlardan elde edilen verilere göre inceleme alanındaki zemin iki birime ayrılmıştır. İlk birim olan hafriyat malzemesi dolgu grovaktan oluşmaktadır. Bu birim içerisinde gerçekleştirilen Standart Penetrasyon deneylerinden elde edilen N/SPT değerleri N=10 ila N≥50 arasında değişmekte olup,

İksa cephelerinde uygulanacak olan geometriyi belirleyebilmek amacıyla, bir seri bilgisayar analizleri gerçekleştirilerek, dört farklı kesit belirlenmiştir. Bu kesit geometrilerine ilişkin bilgiler Tablo 5’de verilmektedir. Tüm kesitlerde yatay çivi aralığı 2.0 m, düşey çivi aralığı 1.5 m, duvar eğimi 14°’dir. Çivi boyları 4.0 m ile 12.0 m arasında değişmektedir. Çivi eğimleri ise 15°’dir.

Tablo 5. Kesit geometrileri

	K1	K2A	K2B	K3
Ortalama kazı yüksekliği (m)	23.5	20.0	20.0	17.5
Çivi sıra sayısı	8	7	7	5
Minimum çivi boyu (m)	4.0 m	4.0 m	4.0 m	5.0 m
Maximum çivi boyu (m)	12.0 m	12.0 m	12.0 m	6.0 m

2.2.3. Duvar deformasyonları

Proje kapsamında kazı çukuru çevresine üçü batı kazı cephesine, diğeri ise doğu kazı cephesine olmak üzere dört adet inklinometre yerleştirilmiştir. İnklinometre yerleşim noktaları Şekil 3’de verilen vaziyet planında görülmektedir. İnklinometre kuyu derinlikleri 12.0 m ile 28.0 m arasında değişmektedir. Kazı çevresine yerleştirilen inklinometreler vasıtası ile herbir inklinometre cihazı ile iksa duvarlarında gözlemlenen maksimum deplasmanlar Tablo 6’da verilmiştir. Batı cephesindeki aletler zemin çivili duvar üst kotundan itibaren, doğu cephesindeki alet ise kuşak kirişi üst kotundan itibaren yerleştirilmiştir. Dolayısıyla batı cephesindeki aletsel gözlemlerden zemin çivili duvarların yatay deplasmanlarına ilişkin veriler elde edilirken, doğu cephesindeki inklinometre öngermeli ankrajlı kısımda oluşan deplasmanlara ilişkin bilgi vermektedir. Bu uygulamada bir defa daha deformasyon okumalarına ait yeterli sayıda alet tesisi önemi ortaya çıkmıştır.

Tablo 6. Zemin çivili duvarlarda ölçülen maksimum deplasmanlar

İnklinometre numarası	Cihazın yerleştirildiği Kesit no	Bu noktadaki zemin çivili duvar yüksekliği (m)	Maksimum deplasman (mm)	Duvar yüksekliğinin yüzdesi olarak (%)
1	“K3”	9.5*	8*	0.08*
S1	“2B”	10.5	10	0.10
ST2	“2A”	10.5	10	0.10
ST5	“K1”	13.0	22	0.17

* Doğu kazı cephesine yerleştirilen 1 nolu inklinometrenin bulunduğu öngermeli ankrajlı kısma ilişkin değerlerdir. 1 nolu inklinometre ile 17 Ağustos 1999’da (Kocaeli depremi’nin olduğu gün, deprem öncesi) ve deprem sonrasında (13 Eylül 1999) okumalar alınmış olup, bu sayede sistemin deprem esnasında davranışı da gözlemlenebilmiştir. Deprem öncesi maksimum deplasmanı 6 mm mertebesinde olan öngermeli ankrajlı duvar kısmında 2 mm’lik bir ötelenme söz konusudur. Takriben 10 ay sürede okunan bu sınırlı yatay hareketler (depremin varlığı da dikkate alınırsa) esasen iksa sisteminin zemin itkisini beklenen deformasyonlar dahilinde karşılamakta olduğunu göstermektedir. Deprem etkisi ile iksa sistemine gelen ilave yatay yükler 2 mm mertebesinde oldukça düşük bir yatay ötelenme ile karşılanmış ve sistem stabilitesi bozulmamıştır. Toplam 8 mm mertebesinde olan duvar deformasyonları öngermeli ankrajlı sistemde duvar yüksekliğinin % 0.08’sine tekabül etmektedir.

3. SONUÇLAR

Bu makalede analiz edilen iki vaka aşağıdaki tabloda karşılaştırılmalı olarak özetlenmektedir.

Tablo 7. İki vakanın zemin çivisi olarak karşılaştırılması

	"Tekfen Tower"	"Şetat 2002"
İksa sistemi	Zemin çivisi	Zemin çivisi + Öngermeli ankrajlar
Zemin koşulları	Orta derecede ayrılmış grovak	Heterojen dolgu + Bütünüyle ayrılmış grovak
Yeraltı suyu durumu	Çatlak suyu şeklinde	Çatlak suyu şeklinde
Duvar eğimi	5°	14°
Zemin çivili duvar yüksekliği	16 – 25 m	8 – 13 m
Kullanılan çivi çapı (mm)	φ32 mm ve φ40 mm	φ32 mm
Sh x Sv	2.0 m x 1.5 m	2.0 m x 1.5 m
Kullanılan çivi adedi	3046	965
Kullanılan çivi boyu (km)	~27.5	~7.0
Çivi yoğunluğu (adet/m ²)	0.3	0.3
(m/m ²)	2.85	2.40
Deformasyonlar (%H)	% 0.05 - % 0.18	% 0.10 - %0.17

Duvarlarda metrekare başına kullanılan çivi sayısı her iki vaka için de takriben 0.3 çivi/m² olarak belirlenmiştir. Birim alana düşen çivi sayısı yatay ve düşey çivi aralığının bir fonksiyonudur. Nitekim, her iki vakada da genel olarak yatay çivi aralığı Sh=2.0 m ve düşey çivi aralığı Sv=1.5 m kullanılmıştır. Diğer taraftan, sözkonusu vakalarda birim alana düşen çivi boyları karşılaştırıldığında, birinci vakadaki değer 2.9 m/m² olarak bulunurken, ikinci vakada bu değer 2.4 m/m² olmaktadır. Birinci vakada zemin koşulları daha iyi olduğu halde birim alana düşen çivi boyunun daha yüksek olması her iki vakada yer alan zemin çivili duvar yükseklikleri arasındaki fark ile açıklanabilir. Birinci vakada yer alan duvarlar, diğer vakadaki duvarların yaklaşık olarak iki katı yüksekliğindedir. Zemin çivisi boyu ile duvar yüksekliği arasında lineer bir bağıntı olduğu ve duvar yüksekliği arttıkça kayma kamasının şev yüzeyinden geriye doğru kaydığı dikkate alındığında birinci vakada seçilecek çivi boylarının daha uzun olması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca duvar yüzey eğimleri arasındaki farklar da dikkat çekicidir. Birinci vakada duvar eğimi 5° iken, ikinci vakada duvar eğimleri 14° olarak seçilerek duvarlar kazı geometrisinin müsaade etmesi sonucu daha optimum bir eğimde inşa edilmiştir. Duvar eğimi arttıkça efektif çivi uzunluğu artacağından kaymayı oluşturuvcu kuvvetler azalmaktadır. Dolayısıyla, dike yakın duvarlarda şev duraylılığını sağlamak için daha uzun çivi boylarının seçilmesi gerekmektedir.

Diğer taraftan, Tekfen Tower'da yükseklikleri 25.0m'lere varan zemin çivili duvarların imalatı için kullanılan zemin çivisi boyu 2.85 m/m² iken, ŞETAT 2002'de inşa edilen zemin çivili duvar yüksekliklerinin 10.0 m'ler mertebesinde olduğu ve birim alana düşen 2.4 m çivi boyunun bu yükseklikteki duvarların imalatı için geçerli olduğu dikkate alınması gereken önemli bir husustur. ŞETAT 2002 projesinde imal edilen duvar yüksekliklerinin Tekfen Tower'daki duvar yükseklikleri ile aynı olması durumunda, birim alana düşen zemin çivisi boyunun 2.4 m/m² değerinden 4.8m/m²'ler mertebesine çıkması beklenmelidir. Dolayısıyla, heterojen dolgu içerisinde gerçekleştirilecek kazı şevleri

ixsasında kullanılacak zemin çivisi miktarlarının grovak formasyon içerisinde gerçekleştirilecek kazı şevleri iksasında kullanılacak zemin çivisi miktarlarına göre $4.8/2.85 \approx 1.70$, %70 oranında daha fazla olması beklenmelidir. Tekfen Tower projesinde grovak anakaya formasyonda yatay deplasmanlar yüksekliğin %0.05-0.08'i arasında değişmiştir. Nitekim, Juran (1987) benzer rezidüel killer ve kiltası ve kumtaşları için %0.05 değerini önermektedir. Buna mukabil grovak dolgudaki deplasmanlar Şetat 2002'de %0.10-0.17 olarak ölçülmüştür. Diğer bir deyişle, grovak dolgudaki zemin çivili duvarlar grovak anakyadaki zemin çivili duvarlara göre (2) misli daha fazla deplasman göstermiştir. Diğer önemli bir husus ise Tekfen Tower'daki lokal olarak gözlenen son derecede ayrışmış killeşmiş zayıf kesimin de diğer kesimlere göre (2) misli fazla yatay deplasman göstermiş olmasıdır. Tekfen Tower ve ŞETAT 2002 için duvar deplasmanları incelendiğinde; sözkonusu değerlerin literatürde verilen değerlerle uyum içerisinde olduğu gözlenmektedir. Bu deformasyon değerleri iksa sistemlerinin halihazırda emniyetli olarak servis vermeye devam ettiğini göstermekte olup, kazı derinlikleri dikkate alındığında, deformasyon ölçümleri beklenen limitler içerisinde yer almaktadır.

Bunun yanında, "Tekfen Tower" vakası duvar geometrilerinin yanısıra bölgesel zemin koşullarının da kazı duvarlarında meydana gelen yatay deformasyonlarda ne denli önemli olduğunu gösteren bir örnektir. Ayrıca, zemin çivili duvar sistemleri esnek istinat yapıları olmaları sayesinde, farklı ve toplam hareketleri daha iyi tolere edebilmekte, buna bağlı olarak da sismik olarak aktif bölgelerde daha iyi bir performans göstermektedirler. Nitekim, "Şetat 2002" vakasında 17 Ağustos depremi etkisi ile iksa sistemine gelen ilave yatay yükler öngermeli sistemde 2 mm mertebesinde oldukça düşük bir yatay ötelenme ile karşılanmış ve zemin çivili üst duvar kesimi dahil sistem stabilitesi bozulmamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu projelere katkısı bulunan başta ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş. personeli olmak üzere, Tekfen Holding ve Şetat 2002 grubu ve, kazı batı cephesi uygulamasını gerçekleştiren Geoteknik Etüd Müşavirlik ve Mühendislik A.Ş. personelini kapsamaktadır. Saha çalışmalarındaki katkılarından ötürü ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş. mühendisleri Taşkın Tari, Barış Arkun ve Barış Bayraktar'a özellikle teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Cartier G. and J. P. Gigan, 1983, "Experiments and Observations on Soil Nailing Structures", *Proceedings of the Eighth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Helsinki, 1983, pp. 473-477.
- Durgunoğlu, H. T., T. Karadayılar, H. F. Kulaç, S. İkiz, C. E. Öge, 1995, "Esnek İstinat Yapıları Üzerine Vaka Analizleri", *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Beşinci Ulusal Kongresi*, ODTÜ Ankara, Cilt II, pp. 328-339.
- Durgunoğlu, H. T., H. F. Kulaç, A. T. Durgunoğlu, İ. Ekşioğlu, Ö. Kasımoğulları, C. G. Olgun, 1996, "Göçen Bir İstinat Yapısının Onarımı Üzerine Vaka Analizi", *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Altıncı Ulusal Kongresi*, Dokuz Eylül Üniversitesi İzmir, Cilt II, pp. 325-334.

Durgunoğlu, H. T., H. F. Kulaç, C. G. Olgun, 1997, "Flexible Earth Retaining Structures-Soil Nailing," Engineering and Education, *Symposium Honoring Vedat A. Yerlici*, pp. 287-296, 22 May 1997, İstanbul, Turkey.

Gassler, G. and G. Gudehus, 1981, "Soil Nailing: Some Aspects of A New Technique", *Proceedings of the Tenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Stockholm, Vol.3, pp. 665-670, Rotterdam, A.A. Balkema.

Geoteknik A.Ş. (Mart, 1995) "Levent Sondajları Geoteknik Raporu"

Juran, I., and V. Elias, (1987), "Soil Nailed Retaining Structures: Analysis of Case Histories," *ASCE Geotechnical Special Publication*, No. 12, pp. 232-245.

Olgun, C. G., Durgunoğlu, H. T., (1996), "Soil Nailing Practice in İstanbul", 10th European Young Geotechnical Engineers' Conference, October 1996, pp. 274-283, İzmir, Türkiye.

Yılmaz, S., 2000, "Behavior of Soil Nailed Walls in Different Soil Conditions", Boğaziçi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.

Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş. (24/04/2000) "Tekfen Tower Zemin Etüdü ve Temel Mühendisliği Değerlendirme Raporu"

*Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi
26-27 Ekim 2000, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul*

BEHAVIOR OF SOIL NAILED WALLS IN DIFFERENT SOIL CONDITIONS

Serpil Yılmaz¹, H. Fatih Kulaç¹ and, H. Turan Durgunođlu²

ABSTRACT

In-situ reinforcement of geotechnical materials by resistant inclusions is a very old process of construction. Among these methods, soil nailing has gained a firm and distinct identity in the practice due to its economy and construction speed. Being mainly applied for retaining slopes in deep excavations in the city, it has been observed from recent nailing applications that soil nailing performs well for the greywacke formation in İstanbul. In this paper, two cases related with the application of soil nailing in retaining deep excavation slopes are presented. These case studies are analysing soil nailed walls constructed in cuts of greywacke and fills made of greywacke. Subject designs are studied in terms of the amount of nailing used and consequent lateral displacements. Wall displacements were monitored via inclinometers located around the projects.

¹ İnş. Yük. Müh., ZETAŞ Zemin Teknolojisi AŞ, İstanbul, Türkiye

² Prof.Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye