

AKÜ FEMÜBİD 18 (2018) 015601 (616-628)

AKU J. Sci.Eng.18 (2018) 015601 (616-628)

DOI: 10.5578/fmbd.66938

Konsol Diyafram Duvarların Yatay Deplasmanı için Parametrik Bir Çalışma

Vedat Aslan¹, Banu Yağcı²¹Kepsut Belediyesi, Balıkesir.²Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir.e-posta: byagci@balikesir.edu.tr

Geliş Tarihi:13.04.2017

; Kabul Tarihi:15.08.2018

Özet

Anahtar kelimeler
Geo5;Plaxis;konsol diyafram duvar; Zemin yatak katsayısı; Yatay deplasman

Bu çalışmada, Geo5 programı ile farklı kazı derinliklerindeki konsol diyafram duvarlar için; geoteknik modelde arazi deneylerine dayalı farklı ampirik ilişkilerin ve program kapsamında seçilen farklı zemin yatak katsayısı ilişkilerinin etkisini değerlendiren parametrik bir çalışma yapılmıştır. Sonuçlar doğrultusunda tasarlanan sistemlerin bir bölümü için Plaxis programı ile deformasyon analizleri yapılmış ve maksimum yatay deplasman cinsinden sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizler, sonlu elemanlar yöntemi dışındaki daha basit analiz yöntemlerinde, özellikle seçilen zemin yatak katsayısı yönteminin, sonuçları önemli oranda etkilediğini göstermektedir.

A Parametric Study for Lateral Displacement of Cantilever Diaphragm Walls

Abstract

Keywords
Geo5;
Plaxis; Cantilever diaphragm walls; Subgrade modulus; Lateral displacement

In this study, a parametric study has been carried out for cantilever diaphragm walls at different excavation depths. The effect of different empirical relations based on field experiments in geotechnical model and different subgrade modulus relationship was assessed. In the direction of the results, deformation analyses were carried out with the Plaxis program for a part of the designed systems and the results in terms of the maximum horizontal displacement were compared. Analysis shows that especially the selected subgrade modulus method significantly affects the results, in simpler analysis methods other than the finite element method.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Geoteknik mühendisliği uygulamalarında deformasyon analizleri sonlu elemanlar yöntemlerini kullanan programlar ile yapılmaktadır. Bu yöntemler ile zemin-yapı etkileşimini daha gerçekçi modelleyerek destek sistemlerinin yapım aşamalarını da dikkate almak mümkün olmaktadır. Ancak sistemin öncelikle "Limit Denge" ya da "Elastik Zemine Oturan Kiriş" gibi daha basit analiz yöntemlerine dayalı olarak tasarlanması veya sonuçların basit yöntemler ile de kontrol edilmesi önerilmektedir.

Derin kazı problemleri ile ilgili sonlu elemanlar yöntemlerinin kullanıldığı literatürdeki çalışmaların

büyük bir çoğunluğunu vaka analizleri oluşturmaktadır. Bu çalışmalar çoğunlukla mevcut bir projenin tasarımını sonlu elemanlar yazılımları ile analiz etmek ve sonuçların sahadaki inklonometrik ölçümler ile kıyaslanması şeklindedir (Ük 2009, Akbaş 2010, Bozkurt 2010, Çınar 2010, Erdiker 2012). Bu türdeki çalışmaların bir kısmında, çoğunlukla hesapla bulunan ve ölçülen sonuçların uyumsuz olması gibi nedenlerle, referans çözümler dışında parametrik analizler de yapılmaktadır (Cengiz 2008, Bahar 2009, Ermanlar 2009, Özberk 2009, Sevensan 2009, Aktan 2014). Parametrik çalışmalarda ise destek sistemi ve/veya zemin modeli farklılıkları incelenmektedir (Demirkoç 2007, Tunca 2010, Çetin 2012, Engin 2012).

Geoteknik problemlerin sayısal analizinde; “zemin-yapı etkileşimini göz önüne alan farklı analiz yöntemlerinin ve yazılımların olması”, “yetersiz veri ile modelleme yapma zorunluluğunun bir sonucu olarak zemin parametrelerinin doğru bir şekilde temsil edilememesinin söz konusu olması” ve “farklı geoteknik uygulamalarda farklı parametrelerin önem kazanmasının beklenmesi” gibi nedenlerle parametrik çalışmalar yapılmaktadır.

Literatürdeki zemin-duvar etkileşimi için sonlu elemanlar yazılımlarına dayalı parametrik çalışmalarda, Plaxis programının yaygın olarak kullanıldığı söylenebilir (Sert vd. 2010, Sert ve Önalp 2011, Bildik vd. 2012, Phien-wej et al. 2012, Sert et al. 2016, HsiungandYang 2017). Diğer yandan bu amaçla farklı sonlu eleman yazılımlarının kullanıldığı parametrik çalışmalar da literatürde mevcuttur (Gazetas et al. 2004, Çakır 2013, Çakır 2014a, Çakır 2014b, Çakır ve Dağ 2015). Literatürdeki çalışmaların bir diğer bölümünde, derin kazılar için sonlu eleman analizleri daha basit analiz yöntemleri ile karşılaştırılmaktadır (Skrabl 2006, Malinin et al. 2008, Ilies et al. 2014, Aissa et al. 2017, NishaandMuttharam 2017).

Bu çalışmada, Balıkesir’deki bir inceleme alanı için geoteknik modelleme ve destek sistemi tasarımı sürecine ait Geo5 ve Plaxis yazılımlarını kullanan parametrik analizler yapılmıştır. Geoteknik model, zemin koşulları ve yetersiz veri doğrultusunda, arazi deneylerine dayalı olarak “drenajsız zemin parametreleri” ile oluşturulmuştur. Seçilen inceleme alanının derin kazı projesi amaçlı olmaması nedeniyle, yetersiz veriye rağmen geoteknik modelin nasıl idealize edilebileceği konusunda çalışmalar oluşturulmuştur.

Bir sonlu elemanlar yazılımı olan Plaxis ile zemin-yapı etkileşiminin gerçeğe en yakın şekilde modellenmesi ve inşaat aşamalarının dikkate alınması mümkün olabilmektedir. Geo5 programında ise derin kazı problemleri için Limit Denge Yöntemlerine dayalı olarak ön tasarım yapılmakta ve deformasyonlar, zeminin yaylar ile modellendiği daha basit yaklaşımlar ile aşamalı inşaat koşulları da gözönüne alınarak belirlenebilmektedir. Bu çalışmada öncelikle,

zemin-yapı etkileşimi için daha basit bir analiz yöntemini kullanan Geo5 programı ile parametrik analizler yapılmıştır. Çalışmanın bir kısmı için analizler Plaxis programı ile çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. Geoteknik Model

İnceleme alanı alüvyon tanımlı bölgede yer almakta olup neojen tortullarla çevrilidir. Zemin etüd çalışmalarının ilki 7 m derinliğinde 19 sondaj, ikincisi 30 m derinliğinde 3 sondaj ve SPT deneylerini içermektedir. Zeminlerin kayma dayanımı ve sıkışabilirlik parametrelerine yönelik laboratuvar deneyleri bulunmamaktadır. Sondajlarda 13 m derinliğe kadar kuvaterner yaşlı alüvyonel birimler ve bu seviyeden sonra ise neojen yaşlı sedimanter ve volkanosedimanter birimler tanımlanmıştır (Şekil 1). Derin sondajlarda, SPT-N sayılarının değişimi incelendiğinde 3 sondajın da uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 1). Ortalama SPT-N değerlerine göre 3 ayrı tabakanın varlığı ile idealize profil sınırlarının uyumlu olduğu söylenebilir. Bölgede yeraltı suyu 3.5 m seviyesindedir.

İnceleme alanında sayısal analizler için göz önüne alınan zeminlerin nitelikleri gereği SPT-N sayıları için yalnızca enerji düzeltme faktörü, $CE=45/60=\%75$ uygulanmıştır (Erol ve Çekinmez 2014).

Rijitlik ve dayanım parametreleri için literatürdeki kohezyonlu zeminlere ait ampirik ilişkiler ile, SPT-N sayılarına dayalı olarak drenajsız dayanımlar (c_u) belirlenebilmektedir. Terzaghi ve Peck (1967) tarafından kohezyonlu zeminler için önerilen ve Sowers (1979) tarafından kilin plastiklik özelliklerini de dikkate alan SPT-N- c_u korelasyonu,

$$c_u \left(\frac{kN}{m^2} \right) = \begin{cases} \text{Yüksek plastisiteli kil:} & 12.5N \\ \text{Orta plastisiteli kil:} & 7.5N \\ \text{Düşük plastisiteli kil:} & 3.75N \end{cases} \quad (1)$$

bağıntısı ile önerilmiştir. Stroud (1974), SPT-N60 değeri ile c_u arasındaki korelasyonu,

$$c_u \left(\frac{kN}{m^2} \right) = f_1 * N_{60} \quad (2)$$

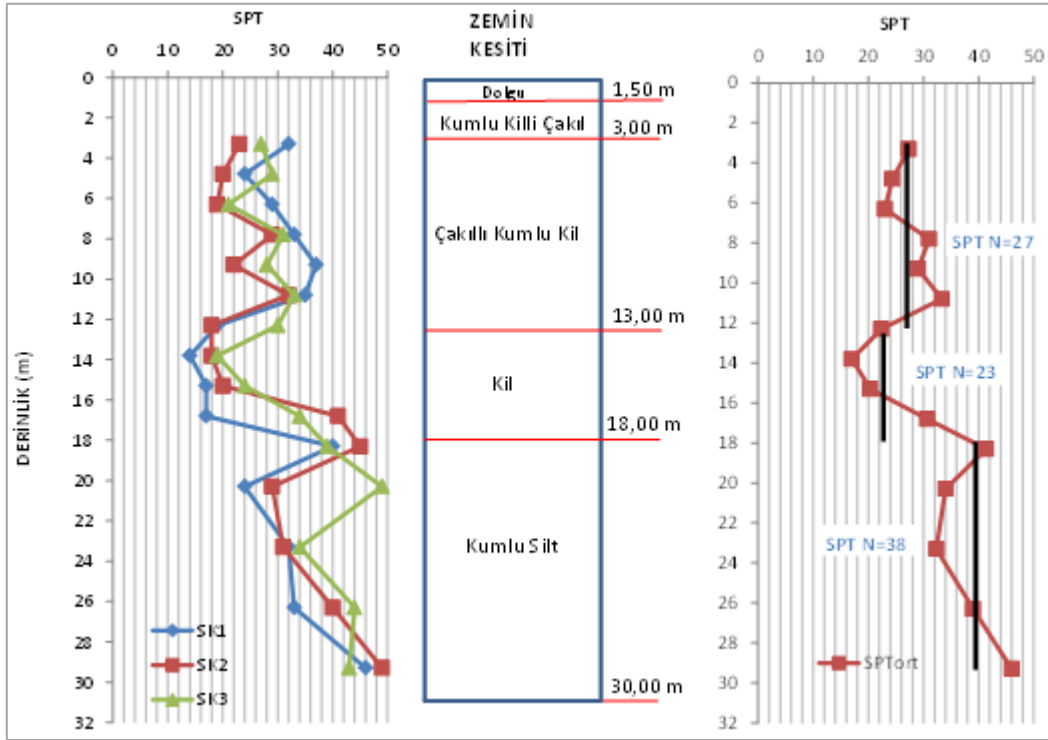
ilişkisi ile vermektedir. f_1 faktörü, kilin plastisite indisine bağlı olarak değişmekte ve artan PI değeri ile azalmaktadır (yüksek plastisiteli zeminlerde 4, orta-düşük plastisiteli zeminlerde 6). StroudandButler (1975), birçok vaka analizinden elde ettiği sonuçlar doğrultusunda, drenajsız deformasyon modülü, E_u ile SPT-N arasındaki ilişkinin,

$$E_u/N_{60} = (1 - 1.2) MN/m^2(3)$$

oranı ile ifade edilebileceğini belirtmiştir.

Bu bağıntılar doğrultusunda inceleme alanı için hesaplanan zemin parametreleri Çizelge 1’ de gösterilmiştir. Şekil 1’ deki “Kumlu killi çakıl”

tabakasına ait SPT-N değeri, 7 m derinliğindeki sondajlar ile belirlenmiş olan ortalamadır. Bu tabaka için yapılmış çok sayıdaki sınıflandırma deney sonuçlarına göre; ince malzeme oranları GC zeminde % 21-% 47 arasında, SC zeminde %40-%45 arasındadır. İnce malzemenin plastisite indisi $PI=14$ dır. Tabakaya ait sınıflandırma deney sonuçlarının çok büyük bir çoğunluğunda, kil oranının % 30-35 in üstünde gözlenmiş olması nedeniyle, Çizelge 1’ de oluşturulan geoteknik modelde, inceleme sahası için alt tabaka gibi “Kumlu Kil” varsayımı yapılmıştır.



Şekil 1. İdealize zemin profili ve SPT-N sayılarının derinlik ile değişimi

3. Geo 5 Programı ile Tasarım ve Analiz

GEO5 geoteknik problemler için çözüm sağlayan bir yazılım paketidir. Kazılar, yüzeysel temeller, derin temeller, tüneller, oturma analizleri ve stabilite analizleri gibi farklı geoteknik problemler için farklı bireysel programlardan oluşmaktadır. Bireysel programlar aynı kullanıcı arabirimine sahiptir ve her program belirli bir tür tahkiki yaparken diğerleriyle

de iletişim kurarlar. GEO5 çözümlerinde, derin kazı destek sistemlerinde kullanılmak üzere tasarım ve tahkik için iki ayrı program mevcuttur; “Perde Tasarımı” ve “Perde Kontrolü”. “Perde Tasarımı” programı, ankrajsız ve ankrajlı sistemlerin ön tasarımı amacıyla kullanılabilir. Programın çıktıları, gerekli gömülme derinliği, duvardaki iç kuvvetler ve ankraj kuvvetleridir. Son tasarım “Perde Kontrolü” programı ile sağlanır. Bu programda, elasto-plastik

doğrusal olmayan analiz metotları ile inşaat yapıdaki iç kuvvetler ve deformasyonlar hesaplanır. süresince yapının gerçek davranışı modellenerek

Çizelge 1. Geoteknik Model

z	Zemin	Terzaghi ve Peck (1967), Sowers (1979)	Stroud (1974)	StroudandButler (1975)
		[$c_u=3,75 N$]	[$c_u=6 N_{60}$]	[$E_u=1,1 N_{60}$]
0-1.50 m	Dolgu			
1.50-3.00 m	Kumlu Kil	SPT-N=33 $c_u=123 \text{ kN/m}^2$	SPT-N ₆₀ =25 $c_u=150 \text{ kN/m}^2$	SPT-N ₆₀ =25 $E_u=27500 \text{ kN/m}^2$
3.00-13.00 m	Kumlu Kil	SPT-N=27 $c_u=101 \text{ kN/m}^2$	SPT-N ₆₀ =20 $c_u=120 \text{ kN/m}^2$	SPT-N ₆₀ =20 $E_u=22000 \text{ kN/m}^2$
13.00-18.00 m	Kil	SPT-N=23 $c_u=86 \text{ kN/m}^2$	SPT-N ₆₀ =17 $c_u=102 \text{ kN/m}^2$	SPT-N ₆₀ =17 $E_u=19000 \text{ kN/m}^2$
18.00-30.00 m	Kumlu Silt	SPT-N=38 $c_u=146 \text{ kN/m}^2$	SPT-N ₆₀ =29 $c_u=174 \text{ kN/m}^2$	SPT-N ₆₀ =29 $E_u=32000 \text{ kN/m}^2$

Programın girdisi zemin parametreleri Çizelge 2' de gösterilmiştir. Varsayılan geoteknik modelde, drenajsız dayanım ve rijitlik parametreleri, SPT-N sayılarına dayalı ampirik ilişkiler ile belirlenmiş değerlerdir. Bu değerler aynı zamanda, Geo5 programı veri tabanında var olan zemin tiplerine ait parametre değerleri ile de kıyaslanmış ve SPT deneylerinin göstergesi olan katı-çok katı kıvamlar için kullanılan değerlerin uygun olabileceği belirlenmiştir.

Analizler, kalınlığı $d=0.4 \text{ m}$ ile $d= 1.2 \text{ m}$ arasında değişen diyafram duvarlar için yapılmıştır. "Perde Tasarımı" programı ile diyafram duvar gömülme derinlikleri hesaplanmış ve bu boyutlar için "Perde Kontrolü" programı ile deplasmanlar belirlenmiştir. Duvar gömülme derinliklerinin hesaplanmasında iki ayrı yaklaşım kullanılmıştır; Güvenlik sayısı (ASD) tahkik yöntemi ve Eurocode EN 1997-DA2 tahkik yöntemi. Deplasmanların hesaplanmasında, zemin

yatak katsayısı (k_h) için programda mevcut olan seçeneklerden; Schmitt, Chadeisson ve Otomatik İterasyon yaklaşımları kullanılmıştır.

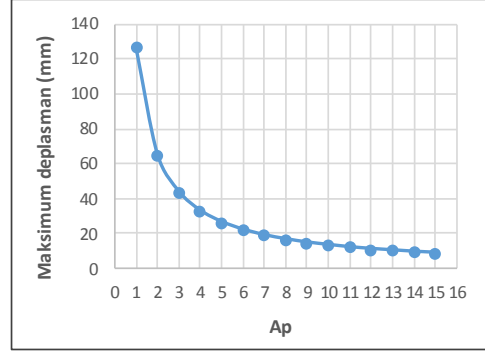
Çizelge 2. Geo5 programı zemin parametreleri

z m	Zemin	c_u	E_u	γ_n	ν	a	
		kN/m^2	kN/m^2	kN/m^3		kN/m^2	
Derinlik		Terzaghi ve Peck, 1967-Sowers, Stroud, 1974	StroudandButler, 1975	Birim Hacim Ağırlık	Poisson Oranı	Adhezyon	
0-3	Kumlu Kil	123	150	27500	18.5	0.35	50
3-13	Kumlu Kil	101	120	22000	19.5	0.35	50
13-18	Kil	86	102	19000	21	0.4	43

4 m, 6 m ve 8 m kazı derinliklerine sahip konsol diyafram duvarların her biri için 4 grup analiz yapılmıştır. ASD Tahkik Yönteminin uygulandığı 1. grup analizlerde, drenajsız dayanım (c_u) için "Terzaghi ve Peck, 1967-Sowers, 1979" ilişkisine dayalı model, 2. grup analizlerde ise "Stroud, 1974" ilişkisine dayalı model kullanılmıştır. EN 1997-DA2 Tahkik Yönteminin uygulandığı 3. ve 4. grup analizler, benzer şekilde drenajsız dayanımın (c_u) sırasıyla "Terzaghi ve Peck, 1967-Sowers, 1979" ve "Stroud, 1974" ilişkilerine dayalı olduğu geoteknik model çözümleridir.

"Perde Kontrolü" programında seçilen zemin yatak katsayısı yaklaşımına göre bazı ek zemin parametreleri gerekmektedir. "Chadeisson" yaklaşımı için ek parametre kohezyon etki katsayısıdır (A_p). Kohezyon etki katsayısı, $A_p=1-15$ arasında bir değer olarak tanımlanmaktadır. Bu değer duvarın maksimum deplasmanı üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla 1. grup analizlerde her zemin tabakası için aynı A_p değeri kullanılarak bir grafik oluşturulmuştur (Şekil 2). Bu grafiğe göre kohezyon etki katsayısının sonuçlar üzerinde 10 kata kadar değişim etkisinin olabildiği görülmektedir. Bu çalışmada tüm zemin tabakaları için $A_p=7$ varsayılmıştır.

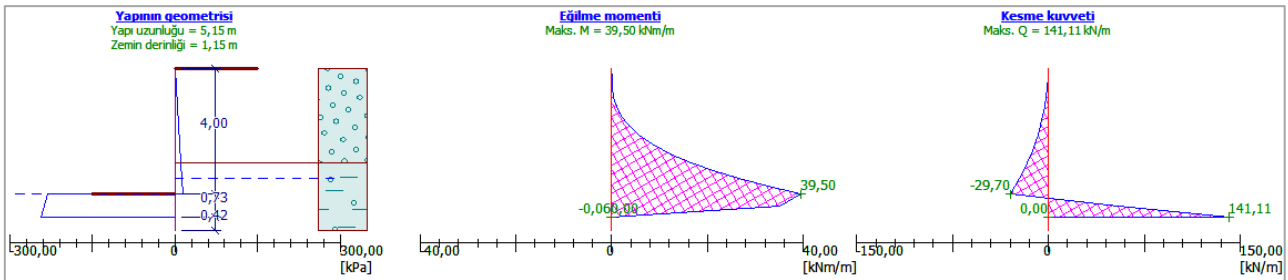
Otomatik İterasyon yönteminde ek parametre "yapısal dayanım katsayısı (m)" dır. Bu katsayı zemin tipine ve yeraltı su seviyesine göre 0.1 ile 0.4 arasında değişmektedir. Analizlerde, Geo5 programındaki veri tabanı doğrultusunda zemin tipine göre $m=0.2$ değeri kullanılmıştır.



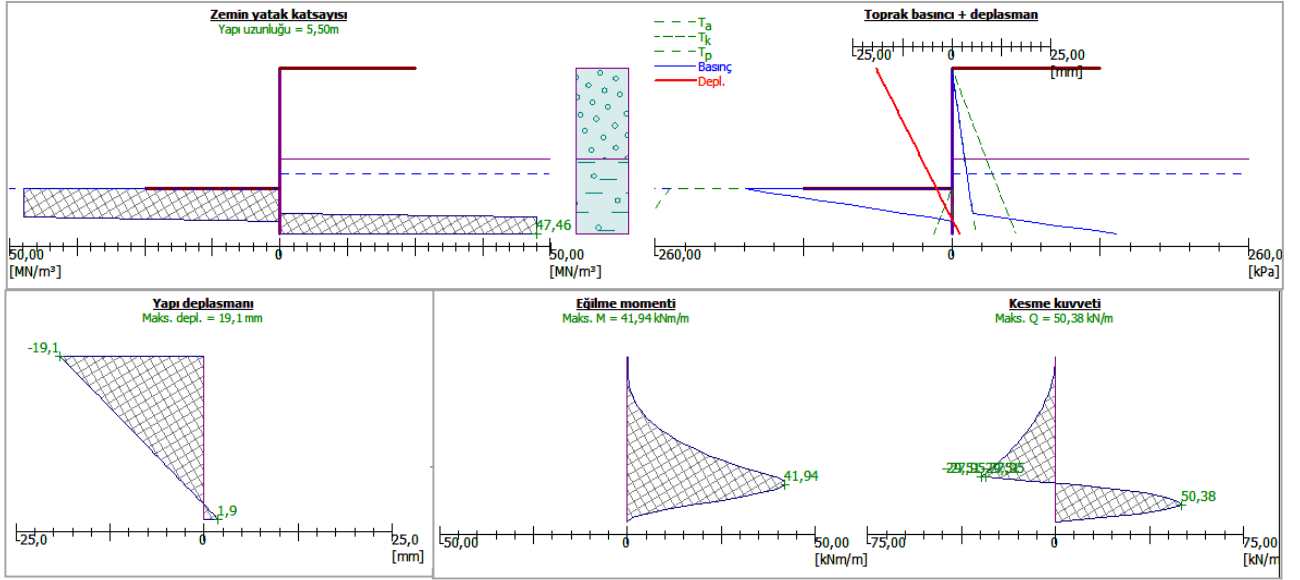
Şekil 2. Kohezyon etki katsayısının duvarın maksimum yatay deplasmanı üzerindeki etkisi

Geo5 "Perde Tasarımı" programı için H=4 m kazı derinliğine ait güvenlik katsayısı tahkik yönteminin kullanıldığı ve drenajsız dayanımın Terzaghi ve Peck, 1967-Sowers, 1979 yaklaşımı ile belirlendiği uygulama örneği Şekil 3' de; "Perde Kontrolü" programı için diyafram duvar kalınlığının $d=1,20$ m olduğu ve zemin yatak katsayısı için Chadeisson yaklaşımının kullanıldığı uygulama örneği Şekil 4' de gösterilmiştir.

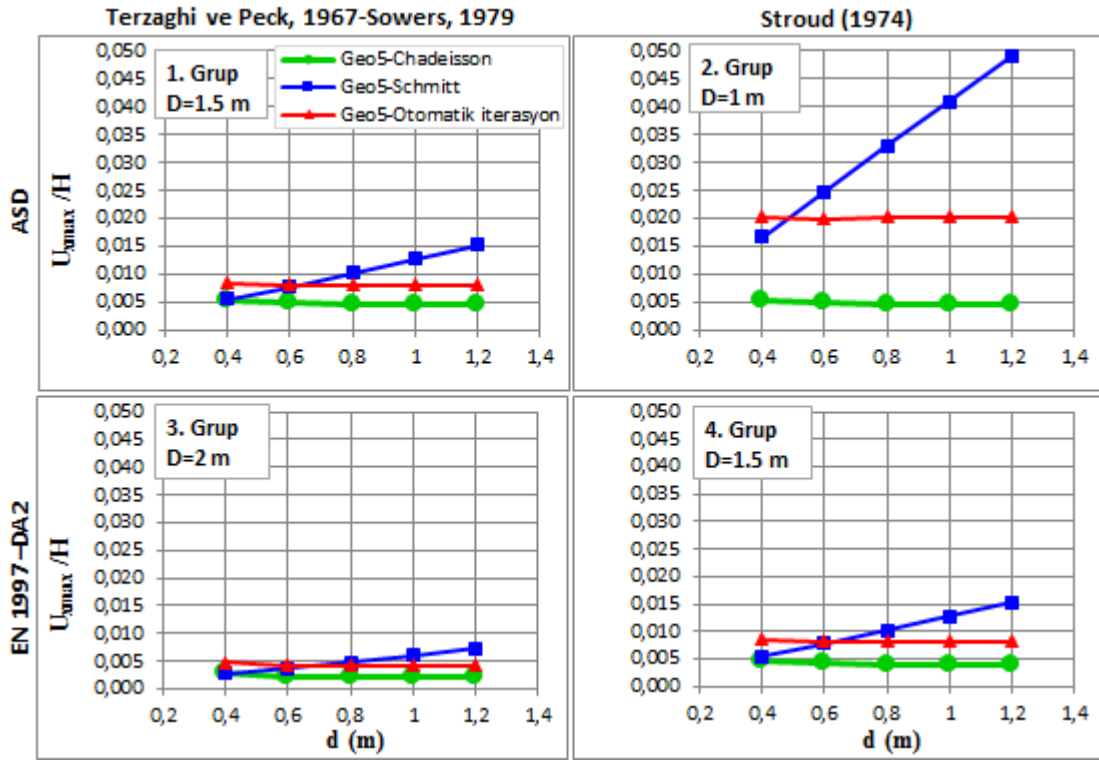
Analizler, seçilen zemin yatak katsayısı yönteminin sonuçları önemli oranda değiştirdiğini göstermiştir (Şekil 5-6-7). Sonuçlar duvarın maksimum deplasmanının kazı derinliğine oranı (U_{xmax}/H) cinsinden sunulmuştur. Chadeisson ve Otomatik İterasyon yaklaşımlarına ait maksimum deplasman değerlerinin, tüm analizler ve tüm duvar kalınlıkları için birbiriyle uyumlu ve yaklaşık 2 kat orantılı olarak değiştiği söylenebilir. Analizlerde en düşük U_{xmax} değerleri Chadeisson yaklaşımı ile elde edilmiştir.



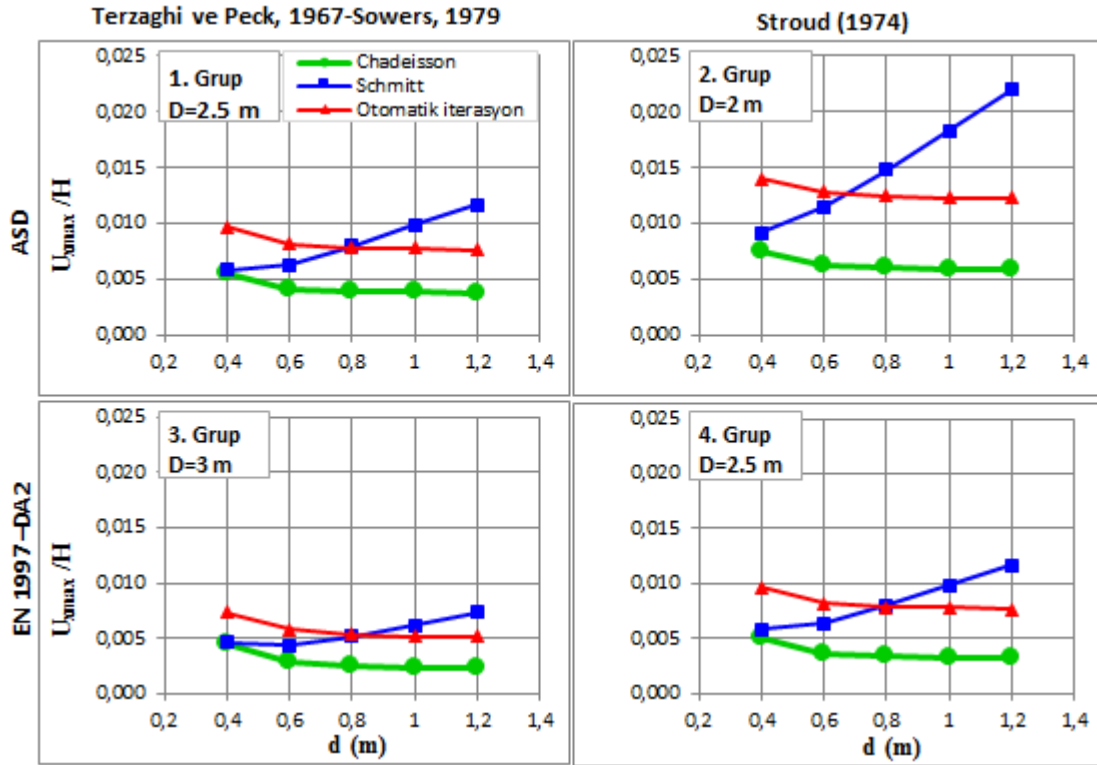
Şekil 3. Geo5 "Perde Tasarımı" programı analiz sonucu



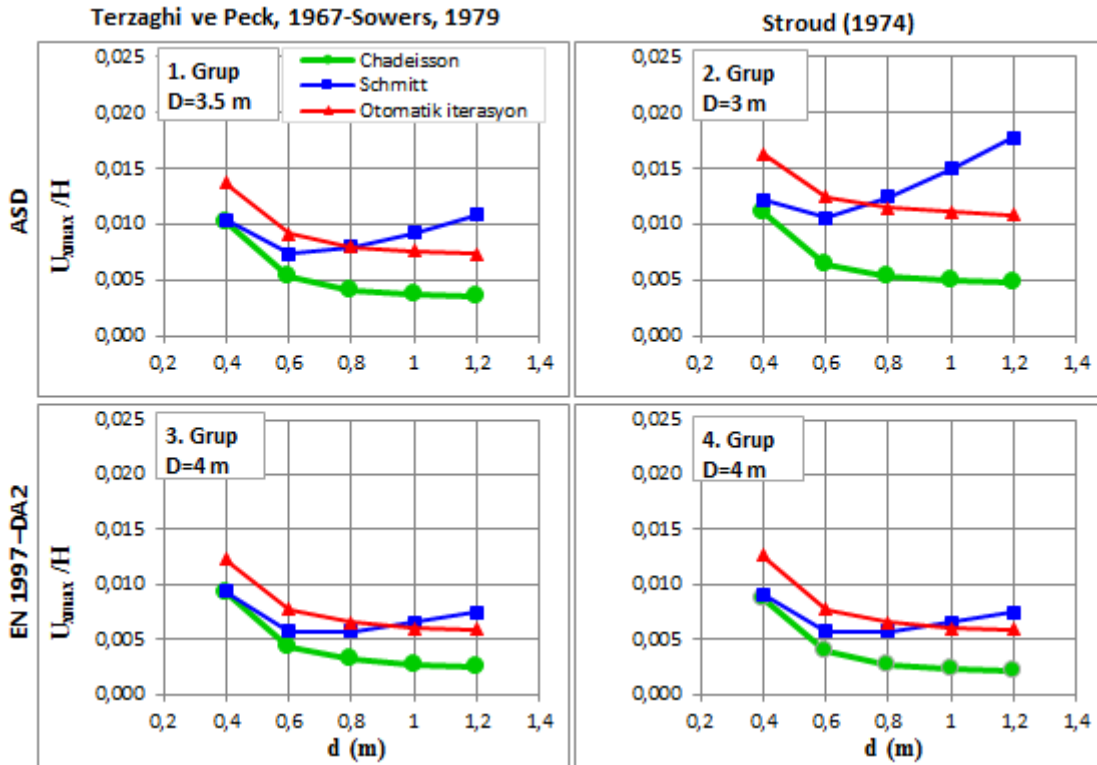
Şekil 4. Geo5 "Perde Kontrolü" programı analiz sonucu



Şekil 5. H=4 m kazı derinliği için duvardaki U_{xmax}/H oranları (Dgömülme derinliği)



Şekil 6. H=6 m kazı derinliği için duvardaki U_{xmax}/H oranları (Dgömülme derinliği)



Şekil 7. H=8 m kazı derinliği için duvardaki U_{xmax}/H oranları (Dgömülme derinliği)

Chadeisson ve Otomatik İterasyon yöntemlerinde, beklenildiği gibi duvar kalınlığındaki artışa bağlı olarak yatay deplasmanlar azalmıştır. Ancak Schmitt yaklaşımında, çoğunlukla $H=8$ m' lik kazılardaki bazı düşük duvar kalınlığı değerleri hariç, duvar kalınlığındaki artış ile deplasmanların arttığı gözlenmiştir. Bu durum literatürde yaygın olarak bilinen “duvar kalınlığı-yatay deplasman” ilişkisi ile uyumlu değildir. Bu açıdan, zemin yatak katsayısı ilişkilerini, kullandıkları ek zemin parametreleri cinsinden karşılaştırdığımızda Schmitt ve Otomatik İterasyon yöntemlerinin daha benzer oldukları söylenebilir. Bu ilişkilerin her ikisinde de zeminin elastisite modülü (E_{def}) kullanılmakta ancak Otomatik İterasyon yönteminde farklı olarak “yapısal dayanım katsayısı (m)” göz önüne alınmaktadır. Schmitt ve Otomatik İterasyon yaklaşımlarının sonuçlarını bu açıdan kıyasladığımızda; her bir kazı derinliğinde farklı tek bir duvar kalınlığı için sonuçların çıktığı ya da birbirine çok yaklaştığı analizlerin tamamında görülebilir. Diğer yandan Chadeisson ilişkisi, sonuçlar üzerinde 10 kat kadar farklılığa neden olabilen “kohezyon etki katsayısı (A_p)” tanımlı bir değer kullanılmaktadır ve bu açıdan diğer iki ilişkiye göre farklı olduğu düşünülebilir. Bu açıdan, kohezyon etki katsayısının örneğin $A_p=3$ alınması durumunda Chadeisson ve Otomatik İterasyon yaklaşımları ile elde edilen deplasmanların tüm analizler için tamamen aynı olacağını görmek mümkündür. Aynı zamanda Chadeisson ilişkisinin kullanılması durumunda, yalnızca $d=0.4$ m kalınlığındaki duvar için sonuçların Schmitt ilişkisinin kullanıldığı sonuçlar ile tüm analizler için aynı olduğu görülmektedir.

Dört grup analizin sonuçları her bir kazı derinliği için ayrı ayrı incelendiğinde; 4 m kazı derinliği için Chadeisson ve Otomatik İterasyon yaklaşımlarının kullanıldığı analizlerde özellikle $d \geq 0.6$ m' den daha büyük duvar kalınlıklarında, maksimum deplasman değerlerinin değişmediği ve yine sadece $d=0.6$ m için Otomatik İterasyon ve Schmitt yaklaşımlarına ait sonuçların yakınlığı görülmektedir. 6 m kazı derinliği için benzer şekilde, Chadeisson ve Otomatik İterasyon yaklaşımlarının kullanıldığı analizlerde çoğunlukla $d \geq 0.8$ m' den daha

dahabüyük duvar kalınlıklarında, maksimum deplasman değerleri değişmemekte ve Otomatik İterasyon ve Schmitt yaklaşımlarına ait sonuçlar çoğunlukla $d=0.8$ m için örtüşmektedir. 8 m kazı derinliği için aynı eğilimlerin $d=1$ m duvar kalınlığı sonrası gözlendiği söylenebilir. Bu sonuçların her bir kazı derinliği için en uygun duvar kalınlığını gösterdiği düşünülebilir

Perde Tasarımı programında kullanılan farklı tahkik yöntemlerinin (ASD ve EN1997-DA2) sonuçlar üzerindeki etkisi değerlendirildiğinde; bu yöntemlerin gömülme derinlikleri üzerinde bir etkisi olduğunu ve bu sebeple örneğin EN1997-DA2 tahkiki ile elde edilen daha büyük gömülme derinliklerinin, maksimum deplasmanları azalttığı söylenebilir. Güvenlik sayısı (ASD) tahkikinin kullanıldığı analizlerde deplasmanlar, U_{xmax}/H cinsinden çoğunlukla 0.005 sınır değerinde ve üstünde iken; EN1997-DA2 tahkiki ile genel olarak 0.005 sınır değerinin altında kalmıştır.

Drenajsız dayanım (c_u) için seçilen ampirik ilişkinin sonuçlar üzerindeki etkisi göz önüne alındığında; “Stroud, 1974” ilişkisi ile “Terzaghi ve Peck, 1967-Sowers, 1979” ilişkisine nazaran daha yüksek c_u değerleri hesaplandığından “Perde Tasarımı” programında daha düşük gömülme derinlikleri elde edilmiştir ve bu doğrultuda “Perde Kontrolü” programında yüksek c_u değerlerine rağmen çoğunlukla daha yüksek deplasmanlar gözlenmiştir.

4. Plaxis Programı ile Analiz

Plaxis 2D 2016, geoteknik mühendisliği problemlerinin sayısal analizi için geliştirilmiş bir sonlu elamanlar programıdır. Program geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımda ihtiyaç duyulan şekil değiştirme ve stabilite analizlerini gerçekleştirebilecek şekilde geliştirilmiştir. Plaxis programı ile Geo5 programında tasarlanmış olan 1. Grup koşullarında analizler yapılmıştır (ASD Tahkik Yöntemi ve c_u için “Terzaghi ve Peck, 1967-Sowers, 1979” ilişkisine dayalı model). Tüm zeminler için Mohr-Coulomb modeli kullanılmış ve drenajsız rijitlik (E_u) ve dayanım (c_u) parametrelerine dayalı drenajsız analizler (C) oluşturulmuştur (Çizelge 3-4).

Çizelge 3.Plaxis programı zemin parametreleri

z m		c_u kN/m ²	E_u kN/m ²	γ_n kN/m ³	ν	R_{int}
Derinlik	Zemin	Kohezyon	Deformasyon Modülü	Birim Hacim Ağırlık	Poisson Oranı	Arayüzey Rijitlik Azalım Katsayısı
1.5-3	Kumlu Kil	123	27500	18.5	0.50	0.70
3-13	Kumlu Kil	101	22000	19.5	0.50	0.70
13-18	Kil	86	19000	21	0.50	0.70
18-30	Kumlu Silt	146	32000	18	0.50	0.70

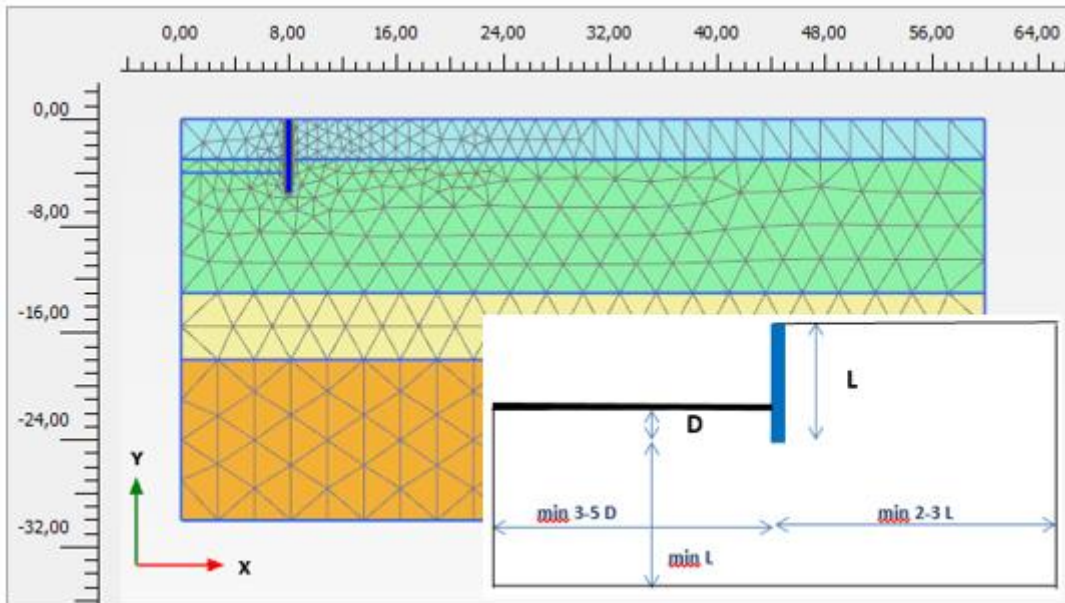
Model geometrisi ve uygulanan sınır şartları (Berilgen, 2011), H=4 m kazı derinliği için Şekil 8’ de örneklenmiştir. Modellerde 15 düğüm noktalı orta büyüklükte üçgen elemanlar kullanılmış ve duvar etrafında bölgesel küçültme uygulanmıştır. Hesaplar, başlangıç aşaması, duvar inşası ve kazı aşaması olmak üzere 3 adımda gerçekleştirilmiştir. Kazı aşaması sonrası zemin ortamındaki ve

duvardaki yatay deplasmanlar H=4 m kazı derinliği için Şekil 9 ve Şekil 10’ da gösterilmiştir.

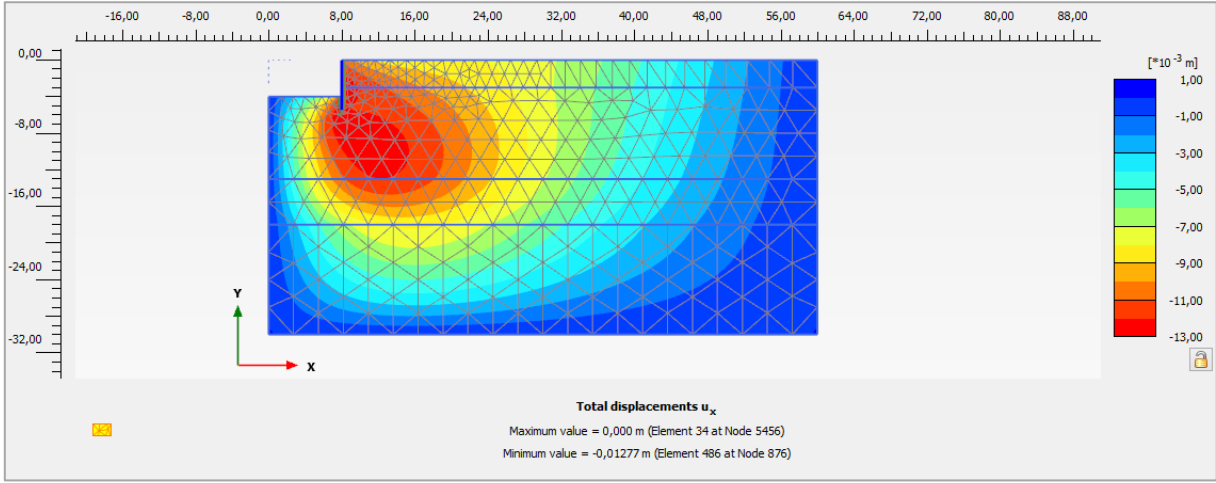
Çizelge 4.Plaxis programı duvar parametreleri

d m	EA kN	EI kNm ²	ν	w kN/m/m
Duvar Kalınlığı	Eksenel Rijitlik	Eğilme Rijitliği	Poisson oranı	Plaxis için Duvar Ağırlığı
1.20	37 200 000	4 464 000	0.15	15.00
1.00	31 000 000	2 583 333	0.15	12.50
0.80	24 800 000	1 322 667	0.15	10.00
0.60	18 600 000	555 000	0.15	7.50
0.40	12 400 000	165 333	0.15	5.00

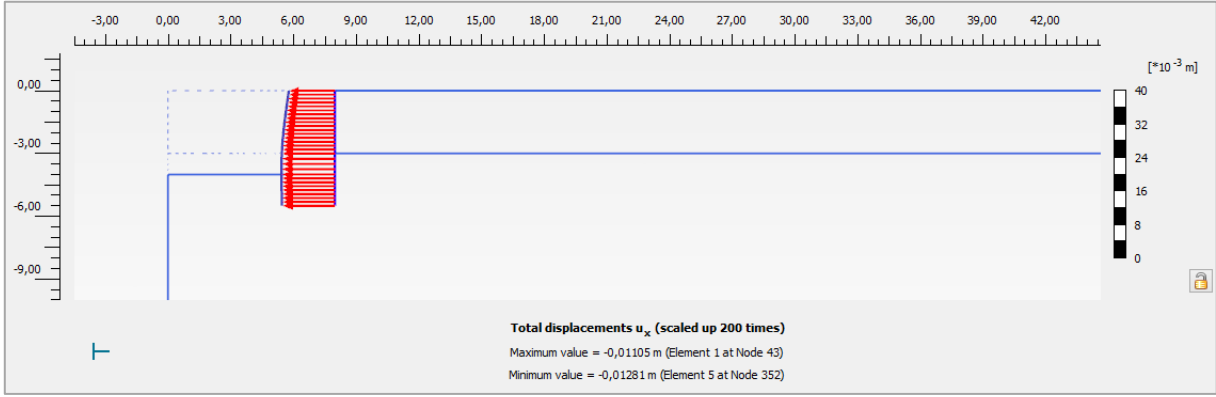
H=4 m kazı derinliği için, Geo5 analiz sonuçlarında literatürdeki sınır değerler cinsinden $U_{xmax}/H \geq 0.005$ olmasına karşılık, Plaxis ile yapılan analizlerde, duvar kalınlığındaki değişimin duvardaki maksimum yatay deplasmanları değiştirmediği ve $U_{xmax}/H < 0.005$ olduğu görülmüştür (Şekil 11).



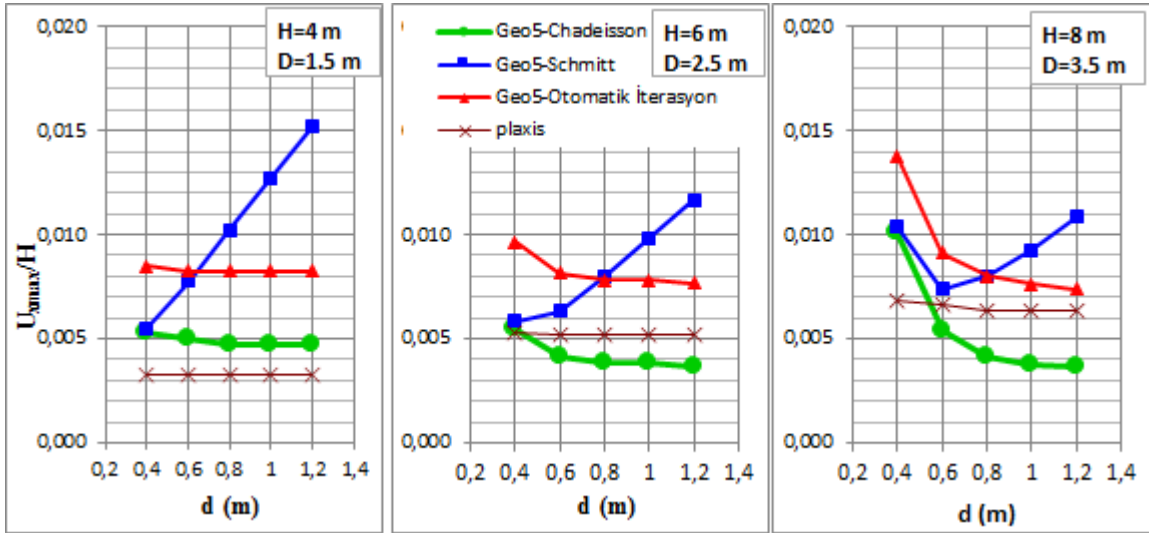
Şekil 8.H=4 m kazı derinliği için Plaxis modeli ve uygulanan model sınırları



Şekil 9. Kazı aşaması sonrası Plaxis analiz sonucu; yatay deplasmanlar (H=4 m)



Şekil 10. Duvarın yatay deplasmanı (200 kat abartılmış)-(H=4 m)



Şekil 11. Diyafram duvar U_{xmax}/H oranları

H=6 m kazı derinliğinde; Geo5 analiz sonuçları, seçilen yatak katsayısına ve duvar rijitliğine dayalı olarak maksimum deplasmanların

$0.005 \leq U_{xmax}/H \leq 0.005$ şeklinde değişebildiğini göstermekte iken, Plaxis analiz sonuçlarında tüm duvar kalınlıkları için $U_{xmax}/H \approx 0.005$ ile

deplasmanların sınırdaki olduğu görülmüştür (Şekil 11).

H=8 m kazı derinliği için; benzer şekilde Geo5 analizlerinde seçilen yatak katsayısı yaklaşımına ve duvar rijitliğine dayalı olarak maksimum deplasmanlar $0.005 \leq U_{x_{max}}/H \leq 0.005$ aralığında değişirken, Plaxis analizleri ile tüm duvar kalınlıkları için $U_{x_{max}}/H > 0.005$ şeklinde sınır deplasman değerlerinin aşıldığı belirlenmiştir (Şekil 11). Artan duvar kalınlığı ile duvardaki maksimum yatay deplasmanın azalması eğilimi de 8 m lik bu kazı derinliğinde gözlenmiştir.

Önceki bölümde sunulan Geo5 çözümlerine ait değerlendirmeler doğrultusunda, Plaxis analiz sonuçlarını "Otomatik İterasyon" yaklaşımının kullanıldığı Geo5 çözümleri ile karşılaştırmanın daha uygun olduğu düşünülebilir. Bu açıdan $U_{x_{max}}/H = 0.005$ sınır değerleri göz önüne alındığında, Geo5 programı ile yapılan hesaplar, varsayılan geoteknik model koşullarında H=4 m kazı derinliğinde dahi konsol destek sisteminin yeterli olamayacağını göstermiştir. Plaxis programı ile yapılan hesaplarda ise yalnızca H=4 m kazı derinliğinde konsol destek sisteminin yeterli olabileceği, bunun üstündeki derinlikler içinse yetersiz kalacağı belirlenmiştir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, Balıkesir' deki bir inceleme alanı için gerçekçi kısıtlar altında geoteknik modelleme ve konsol diyafram duvar tasarımını amaçlayan, Geo5 ve Plaxis programlarının kullanıldığı parametrik analizler oluşturulmuştur. Çalışmanın modelleme aşamasında, inceleme alanındaki hâkim zemin tabakaları, bu tabakalara ait arazi deneyleri ve literatürdeki mevcut ampirik ilişkiler göz önüne alındığında; drenajsız parametrelere dayalı geoteknik modeller oluşturulmuştur.

Konsol sistemlerin Geo5 ile tasarımında, geoteknik model için seçilen ampirik ilişki ve analiz için seçilen tahkik yönteminin duvar gömülme derinliklerini etkilediği ve dolayısıyla deplasmanlar üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

Belirlenen geoteknik modeller için Geo5 analizleri, seçilen zemin yatak katsayısı yönteminin duvarın

maksimum yatay deplasmanını önemli oranda değiştirebildiğini göstermiştir.

Geo5 ile deformasyon analizlerinde, maksimum yatay deplasmanı etkileyen bir diğer parametrede duvar rijitliğidir. Duvar kalınlığındaki artış ile yatay deplasmanların genel olarak azalacağı literatürde yaygın olarak bilinen bir husus iken Geo5 analizlerinde, Schmitt yaklaşımı ile elde edilen çözümlerin bu duruma zıt sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Bu açıdan, zemin yatak katsayısı ilişkileri, kullandıkları ek zemin parametreleri cinsinden irdelenmiş ancak bu çalışma kapsamında gerekçeleri belirlenememiştir.

Tasarımların bir bölümü Plaxis sonlu elemanlar yazılımı ile analiz edilmiş ve zemin-yapı etkileşimi için daha basit analiz yöntemlerini kullanan Geo5 analizleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar doğrultusunda, Plaxis ile yapılan analizlerin Geo5 analizleri ile karşılaştırılmasında, yatak katsayısı için "Otomatik İterasyon" yaklaşımının seçilmesinin daha uygun olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

Aissa, C., Abdeldjalil, Z., Philippe, R., 2017. Parametric and Comparative Study of a Flexible Retaining Wall. Periodica Polytechnica. paper 10749

Akbaş, M., 2010. Derin Kazıların Nümerik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Aktan, E., 2014. Öngermeli Ankrajlı Kazıklı Duvar Nümerik Analizi: Hilton İstanbul Bomonti Hotel ve Konferans Merkezi Projesi Kapsamında Yer Alan Tarihi Bina Önü İksa Sistemi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Aslan, V., 2017. Derin Kazıların Sayısal Analizi için Parametrik bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Balıkesir.

Bahar, M., 2009. Diyafram Duvarlı İksa Perdelerinde Ölçülen ve Tahmin Edilen Deplasmanların Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Berilgen, M., 2011. Plaxis Kurs Notları. İstanbul.

- Bildik, S., Uncuoğlu, E., Laman, M., Suleiman, M.T., 2012. "Yüzeysel Temellerin Sayısal Modellemesinde Zemin Parametrelerinin Etkisi", *ZMTM 14. Ulusal Kongresi*, sf: 367-474, SDÜ, Isparta
- Bozkurt, M., 2010. Temel Çukuru İksa Sistemlerinin Sayısal Yöntemler İle Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Cengiz, A.D., 2008. Bir Diyafram Duvarda Tahmin Edilen Ve Ölçülen Yer Değiştirmelerin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Cakir, T., 2013. Evaluation of the effect of earthquake frequency content on seismic behavior of cantilever retaining wall including soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 45: 96-111.
- Cakir, T., 2014a. Backfill and subsoil interaction effects on seismic behavior of a cantilever wall, *Geomechanics and Engineering, An International Journal* 6:117-138.
- Cakir, T., 2014b. Influence of wall flexibility on dynamic response of cantilever retaining walls. *Structural Engineering and Mechanics* 49 (1): 1-22.
- Çakır, T., Dağ, S. 2015. Zemin-Yapı Etkileşimi ve Duvar Esnekliği Dikkate Alınarak Konsol İstinat Duvarlarının Dinamik Yerdeğiştirme ve Gerilme Analizi. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 33(4):577-589.
- Çetin, Z., 2012. Derin Kazı Yüzeyi Desteklenmesinin Sonlu Eleman Modelleriyle Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Çınar, A., 2010. Trakya Formasyonunda Yapılan Öngermeli Ankrajlı Derin Kazıların Sonlu Elemanlar İle Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Demirkoç, A., 2007. Derin Kazılarda Zemin Çivisi İle Ankrajlı Destek Sistemlerinin Karşılaştırılmalı Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Engin, V., 2012. Limit Denge Metodu İle Elde Edilen Güvenlik Katsayısının Sonlu Elemanlar Yönteminde Kullanılan Dayanım Azaltma Katsayısı İle Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Orta doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Erdiker, B., 2012. Zemin Çivili İksa Sistemlerinde Öngermeli Ankraj Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Ermanlar, L., 2009. Derin Kazılar Sonucu Çevre Yapılarda Oluşan Deformasyonların Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Erol, A.O. ve Çekinmez, Z., 2014. Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri. Ankara: Yüksel Proje Yayınları.
- Gazetas, G., Psarropoulos, P.N., Anastasopoulos, I. and Gerolymos, N. 2004. Seismic behaviour of flexible retaining systems subjected to short-duration moderately strong excitation, *Soil Dyn. Earthquake Eng.*, 24, 537-550
- Geo5 2015, User's Guide, Geotechnical Software, Fine Ltd.
- Hsiung, B-C.B, Yang, K-H. 2017. Displacement of ground and diaphragm wall induced by deep excavations in loose to medium dense sand. *Proceedings of the 19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul.*
- İlieş, N-M., Farcaş, V-S., Pop, M., 2014. Design Optimization of Diaphragm Walls. 8th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG, 9-10 October, Tirgu-Mures, Romania.
- Malinin, A. G., Malinin, P., A., Chernopazov, S. A., Gladkov, I., L. And Vorob'ev, A., V., 2008. Computer Programs For Geotechnical Analyses. Translated from *Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov*, No. 1, pp. 11-14, January-February.
- Nisha, J. J. And Muttharam, M., 2017. Deep Excavation Supported by Diaphragm Wall: A Case Study. *Indian Geotech J* (September 2017) 47(3):373-383
- Özberk, B.S., 2009. Ankraj Destekli Derin İksalarda Deformasyonların İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Phien-wej, N., Humza, M., Aye, Z. Z., 2012. Numerical modeling of diaphragm wall behavior in Bangkok soil using hardening soil model. *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground – Viggiani (ed) © 2012 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-68367-8*
- Plaxis 2016. Delft University of Technology & Plaxis bv, Delft, The Netherlands.

Skrabl, S. 2006. Interactional Approach Of Cantilever Pile Walls Analysis. Acta Geotechnica Slovenica.

Sert, S., Önalp, A., Arel, E., 2010. "Sayısal Çözümlerde Zemin Özelliklerindeki Değişimin Sonuçlara Etkisi" ZMTM 13. Ulusal Kongresi, sf: 471-482, İKÜ, İstanbul

Sert, S., Önalp, A., 2011. "Derin Kazılarda Hassaslık ve Parametre Değişimi Analizi", 4. Geoteknik Sempozyumu, ÇÜ, Adana

Sert, S., Luo, Z., Xiao, J., Gong, W. and Juang, C. H., 2016. Probabilistic analysis of responses of cantilever wall-supported excavations in sands considering vertical spatial variability. *Computers and Geotechnics* 75, 182–191.

Sevencan, O., 2009. Açık Derin Kazılarda Zemin Deformasyonlarının Nümerik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Sowers, G. F. 1979. *Introductory Soil Mechanics and Foundations*. 4th edition, Macmillan, New York.

Stroud, M. A. 1974. The Standard Penetration Test in Insensitive Clays and Soft Rock. Proceedings of the 1st European Symposium on Penetration Testing, Stockholm, Sweden, 2(2): 367 - 375.

Stroud, M.A. and Butler F.G. (1975). The standard penetration test and the engineering properties of glacial material. Proc. Sym. On The Engineering Behaviour of Glacial Materials, University of Birmingham, April, Published by The Midlands Geotechnical Society, 1249 – 135.

Terzaghi, K. ve Peck, R. B. 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley & Sons, New York.

Tunca, M., 2010. Derin Kazılardan Kaynaklanan Zemin Oturmalarının Sayısal Analizlerle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Ük, M., 2009. Derin Kazılar ve Derin Kazılara Bir Örnek: Flame Towers Projesi İksa Sistemi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.