

**ZEMİNE GÖMÜLÜ ANKRAJLI İKSA DUVARLARI HESAP ve
TASARIM
YÖNTEMLERİ ve EUROCODE-7'ye GÖRE
TASARIM ESASLARI**

Dr. Oğuz ÇALIŞAN

İnşaat Yüksek Mühendisi
ÇALIŞAN Geoteknik Hizmetler
İnşaat ve Ticaret Ltd.Şti.
ANKARA

Prof.Dr.M.Yener ÖZKAN

İnşaat Yüksek Mühendisi
ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü
ANKARA

ÖZET

Şehir içinde, özellikle yapılaşma ve altyapıların yakın olduğu alanlarda yapılan derin kazılarda kazı sırası ve sonrasında oluşacak deplasmanlar önem kazanmaktadır. Deplasmanların belirli miktarları aşması durumunda ise komşu yapılarda çatlaklar meydana gelebilmekte, bu da çoğu zaman uzun süren ihtilaflara neden olabilmektedir. Kazı çukurları etrafında meydana gelecek deplasmanların hesaplanabilmesi amacıyla son 15-20 sene içinde derin kazıların tasarımı için limit denge ve elastik zemine oturan kiriş gibi yöntemlere alternatif olarak sonlu elmanlar yöntemini kullanan bilgisayar programları geliştirilmiştir. Bu bildiri de zemine gömülü ankrajlı iksa sistemlerinin hesap ve tasarımında günümüz Geoteknik Mühendisliği disipliniinde mevcut yöntemler hakkında genel bilgiler verilmiş, bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarına değinilmiştir. Ayrıca Eurocode-7'ye göre tasarımın ana unsurları bu bildiri içinde açıklanmıştır.

GİRİŞ ve AMAÇ

Ülkemizde özellikle son yıllarda şehir içinde çok bodrumlu binaların ve metro istasyonlarının inşası için derinliği 30-35m'leri bulan kazıların yapılması, bu konuda güncel tasarım ve hesap metodlarının uygulanması gereğini de beraberinde getirmiştir. Özellikle yoğun yapılaşma alanlarında gerçekleştirilecek derin kazıların şartnamelerde mevcut ve genellikle limit denge metodu esas alarak yapılan tasarımın yanı sıra kazı çevresindeki yapılarda oluşabilecek deplasmanları zemin-yapı etkileşimini de dikkate alarak proje safhasında hesaplayacak şekilde projelendirilmesi gerekli hale gelmiştir. Güvenli ve aynı zamanda ekonomik bir tasarımın yapılabilmesi ise ancak doğru sistem seçimi, seçilen sistemin kaliteli bir zemin araştırmasından elde edilen zemin verileri kullanılarak değişik metodlarla analizi, bu analiz sonuçlarının benzer zemin koşullarında yapılan kazılardan elde edilen tecrübeler ışığında değerlendirilmesi ile mümkün olabilmektedir. Bu nedenle şartnamelerde yer alan limit tasarım yöntemlerinin ve zemin-yapı etkileşimini dikkate alan sonlu elemanlar metodunun beraberce kullanılması giderek gerekli hale gelmiştir.

Zemine gömülü derin kazı iksa sistemlerinin projelendirilmesi için kullanılan yöntemler genel olarak dört ana grupta toplanabilir. Bunlar; "limit denge" metodu, iksa sisteminin kiriş ve zeminin yaylar ile modellendiği "elastik zemine oturan kiriş" yöntemi, "pseudo-sonlu elemanlar" yöntemi ve "sonlu elemanlar/sonlu farklar" yöntemleridir. Bu tebliğde dünya pratiğinde mevcut bu tasarım yöntemleri hakkında genel esaslar anlatılmış, bu tasarım yöntemlerinin avantaj ve dezavantajlarına değinilerek karşılaştırmaları yapılmıştır. Ayrıca Eurocode-7'ye göre tasarım esasları tebliğ içinde sunulmuştur.

İKSA SİSTEMLERİ ve HESAP YÖNTEMLERİ

Zemine gömülü iksa sistemleri, palplanş duvarlar, Berlin Duvarı (king-post wall), aralıklı fore kazıklı duvarlar, kesme fore kazıklı duvarlar ve diafram duvarlardan oluşmaktadır. Ankrastre ve tek/çok sıra ankraj/destekli olarak uygulanabilen bu sistemlerle derinliği 30-35m'ye varan kazılar yapılabilmektedir. İksa sisteminin seçimi, kazı derinliği, zemin koşulları, çevredeki yapıların kazıya olan uzaklığı, yeraltısuyu durumu vb. koşullara bağlı olup genellikle 6-7m'yi geçen kazılar ankrajlı/destekli olarak yapılmaktadır.

Zemine gömülü iksa sistemlerinin tasarımı ve analizi için günümüz Geoteknik Mühendisliğinde kullanılan metodlara ait genel hususlar aşağıda açıklanmıştır.

LİMİT DENGE YÖNTEMİ

Limit denge yönteminde iksa sisteminde göçme durumunun olduğu ve zeminin kayma direncinin tam olarak mobilize olduğu varsayımıyla hesap yapılır. Hesaplamalar sırasında bazı parametrelere güvenlik sayısı uygulanır ve duvarın zemine gömülme derinliği, duvar momentleri ile kesme kuvvetleri hesaplanır. Limit denge yöntemlerinde iksa sistemi üzerinde derinlikle artan doğrusal yük dağılımları kullanılmasına karşın, özellikle çok sıralı ankraj/destek'li sistemler arkasında oluşan gerçek yük dağılımları oldukça farklıdır.

Limit denge yönteminde zemin-duvar etkileşimi göz önüne alınmadığı gibi hesaplar zemin mukavemetinin tamamen olduğu kabulüyle

yapılmakta, zeminde ve duvarda oluşan gerçek gerilmeler bu metotta konu edilememekte, duvar ve çevresi ile ilgili deplasmanlar hesaplanamamaktadır.

ELASTİK ZEMİNE OTURAN KİRİŞ YÖNTEMİ

Zemin-yapı etkileşimini dikkate alan bu en basit analiz yönteminde iksa duvarı bir kiriş olarak, zemin ise yaylarla modellenir. Zemin rijitliğinin yayların rijitliği ile karakterize edildiği bu metotta yay sabitleri genellikle zeminin yanal yatak katsayısı ile tanımlanır. Bu yöntemde derinlikle değişen yay sabitleri tanımlanabildiği gibi, aktif ve pasif basınçlar da maksimum ve minimum yay kuvvetleri ile modellenebilmektedir. Yapılan analiz sonucunda duvar eğilme momentleri, kesme kuvvetleri, ankraj/destek kuvvetleri ve duvar deplasmanları hesaplanabilmekle beraber çevre yapıların ve duvar etrafındaki zeminin hareketleri hesaplanamamaktadır.

PSEUDO-SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Yanal yatak katsayısı yöntemi ile çok benzer olan bu metotta duvar etrafındaki zemin yay yerine elastik bir ortam olarak modellenir. Analizler sırasında yapı-zemin etkileşimi modellenebildiği gibi duvar eğilme momentleri, kesme kuvvetleri, ankraj/destek kuvvetleri ve duvar deplasmanları hesaplanabilmekte ancak çevre yapıların ve duvar etrafındaki zeminin hareketleri hesaplanamamaktadır.

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ:

Sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemlerini kullanan profesyonel programlar ile yapı-zemin etkileşimini daha gerçekçi modelleyerek iksa sisteminin yapım aşamalarını da dikkate almak mümkün olmaktadır. Bu

sayede her yapım aşamasında hem duvar moment, kesme kuvveti ve deplasmanlarını, hem de çevre yapılar ile zemin deplasmanlarını tasarım aşamasında tahmin etmek mümkün olmaktadır.

Tasarım için kullanılan bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları Tablo-1'de özetlenmektedir. Değişik ve oldukça detaylı tasarım yöntemleri bulunmakla beraber uygun hesap yönteminin belirlenmesi güvenli projelendirme açısından azami önem taşımaktadır. Hangi yöntem seçilirse seçilsin benzer zeminlerdeki uygulamalarda yapılan ölçümler değerlendirilmeli ve bilgisayar programları ile yapılan hesaplamalar mutlaka basit yöntemlerle kontrol edilmelidir. Özellikle oldukça kaliteli verilere ihtiyaç duyulan sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan hesaplar diğer yöntemlerle kontrol edilmelidir.

ANALİZ YÖNTEMİ Bilgisayar Programı	Avantajları	Limitasyonları
Limit Denge (STAWAL, ReWaRD, vb)	-Basit ve kolay -Analiz için sadece zeminin mukavemet parametreleri yeterli	-Yapı-zemin etkileşimi hesaba katılmıyor -Deplasmanlar hesaplanamıyor -Çok sıralı ankrajlı duvar gibi isostatik sistemlerin çözümü idealizasyon gerektiriyor. - Sadece drenajlı ve drenajsız durum modellenebiliyor - İki boyutlu -Hesaplar kazı öncesi gerilim dağılımı durumunu dikkate alamıyor
Elastik Zemine Oturan Kiriş (WALLAP vb.)	-Yapım safhaları ayrı ayrı modellenebiliyor ve yapı-zemin etkileşimi dikkate alınmıyor -Duvar deplasmanları hesaplanabiliyor - Kazı öncesi gerilim dağılımı durumu dikkate alınabiliyor	-Zemin davranışının modellemesi nispeten yüzeysel -Yanal yatak katsayısının belirlenmesi zor -İki boyutlu -Palye ve mesnet koşullarının modellenmesi zor -Duvar etrafındaki zemin deplasmanları hesaplanamıyor.
Pseudo-Sonlu Elemanlar (FREW, WALLAP vb.)	-Yapım safhaları ayrı ayrı modellenebiliyor ve yapı-zemin etkileşiminin dikkate alınmıyor -Zemin elastik bir katı ortam gibi modelleniyor -Duvar deplasmanları hesaplanabiliyor -Kazı öncesi gerilim dağılımı durumu dikkate alınabiliyor	-İki boyutlu -Elastik zemin modellemesi ve aktif, pasif limitler ile sınırlı -Palye ve mesnet koşullarının modellenmesi zor -Duvar etrafındaki zemin deplasmanları hesaplanamıyor.
Sonlu Elemanlar, Sonlu Farklar (SAFE, PLAXIS, CRISP, FLAC vb)	-Yapım safhaları ayrı ayrı modellenebiliyor ve yapı-zemin etkileşimi dikkate alınabiliyor -İleri zemin modelleri ile zemin rijitliğinin deformasyon ve anisotropy ile değişimi modellenebiliyor. -Kazı öncesi gerilim dağılımı durumu dikkate alınabiliyor -Karmaşık duvar, kazı geometrileri ve mesnet koşulları modellenebiliyor -Duvar ve zemin hareketleri hesaplanabiliyor. -2 ve 3 boyutlu hesap yapılabilir.	-Duvar yapımı vb. modellenmesi karmaşık ve zaman gerektiriyor. -Sonuçların gerçekliği uygun yük-gerilme modellerinin seçilmesi ile mümkün -Gerçekçi sonuçların elde edilmesi sadece kaliteli zemin verileri ile mümkün -Kullanıcı tarafından programa dayalı tecrübe gerekiyor

Tablo-1 Değişik Metodların Avantaj ve Dezavantajları (Gaba, A.R vd. Embedded Retaining Walls-Guidance for Economic Design)

EUROCODE-7'ye (EC-7) GÖRE TASARIM ESASLARI

Eurocode-7 iksa sistemlerinin tasarımında limit tasarım yöntemi ve kısmi güvenlik sayıları yaklaşımını uygulamaktadır. Tasarımda hem Taşıma Gücü Sınır Durumu (Ultimate Limit State) hem de Elverişlilik Sınır Durumu (Serviceability Limit State) göz önüne alınmakta ve hesaplar her iki sınır duruma göre de yapılmaktadır. Tasarımı yapılacak yapı için önce aşağıda tariflenen kategorilerden biri seçilmektedir. EC-7'ye göre tasarımda 3 değişik geoteknik kategori yer almaktadır.

Geoteknik Kategori 1: Bu kategori sadece küçük ve nispeten basit yapıları içine almaktadır. Bu kategorideki yapılar gerek zemin koşulları ve gerek yapılar yönünden “düşük” risk grubundadır. Bu yapılara örnek olarak 1-2 katlı binalar, zemin üst ve alt seviyeleri arasındaki kot farkının 2 metreyi geçmediği istinat duvarları gösterilebilir.

Geoteknik Kategori 2: Normal tehlike ve sıkça rastlanır zemin şartları veya yüklenme şartları taşıyan geleneksel yapı ve temelleri kapsar. Bu sınıftaki yapılar genellikle geoteknik mühendisliği konusunda tecrübeli bir inşaat mühendisi tarafından tasarlanabilecek niteliktedir. Bu yapılar “orta” risk grubundadır. Normal zeminler üzerindeki dolgular, köprü kenar ayakları, zemin ankrajları, yüzeysel temeller, radye temeller, kazık temeller bu gruptaki yapılara örnek olarak gösterilebilir.

Geoteknik Kategori 3: Bu kategori, 1. ve 2. kategorilere dahil olmayan, alışılmış dışı veya az rastlanır zemin şartları ve yükleme şartlarına sahip büyük ve alışılmış dışı yapıları veya yüksek deprem tehlikesine sahip bölgelerdeki yapıları kapsar. Başka bir deyişle, büyük ve aşırı yüklü yapılar ile zor zemin koşulları üzerinde inşa edilecek yapıları içermektedir. Bu yapıların tasarımının uzman geoteknik mühendisleri tarafından yapılması

gerekmektedir. Bu kategoride yer alan yapılar “yüksek” risk grubunda olup viyadükler, derin kazılar ve yumuşak zeminler üzerinde teşkil edilecek dolgular bu yapılara örnek olarak gösterilebilir.

Geoteknik Kategori belirlendikten sonra

- Genel stabilite bozukluğu
- Yapı elemanlarından birinin göçmesi (ankraj, duvar veya destek vb.)
- Zemin ve yapı elemanlarından birinin aynı anda göçmesi
- Duvarın aşırı hareketi sonunda göçmesi veya çevre yapı, altyapılara zarar vererek kullanılamaz hale getirmesi
- Duvar altından veya içinden önemli miktarlarda su sızıntısı olması
- Bölgedeki yeraltı su rejiminin çevre yapıları etkileyecek şekilde değiştirilmesi
- Duvarın kayma ve dönme sonucunda göçmesi
- Duvarın düşey denge bozukluğu sonucunda göçmesi

sınır durumlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Aşağıda verilen Tablo 2, üst sınır durumların değerlendirilmesinde kullanılır. Tabloda belirtilen üç durumdan birinin en kritik olduğunun belirlenmesi durumunda diğer durumlar için hesap yapmaya gerek yoktur. Tabloda, sabit ve değişken şartların üst sınır durumunda nazarı itibara alınacak kısmi faktörler, (A,B ve C) olarak tanımlanan durumlar için verilmektedir. Aşağıda ayrı ayrı tarif edilen (A,B ve C) durumları için gerek yükler ve gerekse zemin parametrelerine Tablo-2’de verilen güvenlik sayıları uygulanır.

Durum-A : Genelde hidrostatik kuvvetlerin yer aldığı durumlar için geçerlidir ve su kaldırma kuvveti en elverişsiz yüklemeyi oluşturur. Zemine gömülü istinat yapılarının büyük çoğunluğunun Durum-A ile ilgisi yoktur.

Durum-B : Genellikle temeller ve istinat yapılarının yapısal elemanlarının mukave-metlerinin yer aldığı tasarımlar için kritiktir. Şev stabilite analizi gibi yapı elemanının olmadığı problemler için uygulanamaz.

Durum-C : Genellikle şev stabilitesi gibi yapı malzemelerinin mukavemetlerinin değerlendirilmediği problemlerde esas alınır. Yapının geoteknik stabilitesinin önemli olduğu durumlarda, gömülü istinat yapı elemanlarının boyutlandırması için de kritik olmaktadır.

DURUM	YÜKLER			ZEMİN PARAMETRELERİ		
	KALICI		DEĞİŞKEN	tan ϕ'	c'	s _u
	ELVERİŞSİZ	ELVERİŞLİ	ELVERİŞSİZ			
DURUM-A	1.00	0.95	1.50	1.1	1.3	1.2
DURUM-B	1.35	1.00	1.50	1.0	1.0	1.0
DURUM-C	1.00	1.00	1.50	1.25	1.6	1.4

Tasarım Yüğü =YükxFaktör Tasarım parametresi=Parametre/Faktör

Tablo-2 Kısmi Güvenlik Sayıları (EC-7 Tablo 2.1)

Tasarım Zemin Parametreleri:

Tasarımda kullanılacak zemin parametreleri, karakteristik değerlerin Tablo-2'de verilen kısmi güvenlik sayılarına bölünmesi ile elde edilir. Karakteristik değerlerin belirlenmesinde ise EC-7 tarafından güvenli tarafta kalmak amacıyla "muhafazakar" değerlerin seçilmesi önerilmektedir.

Yükler:

Tasarım için uygulanması zorunlu olan bir minimum sürşarj değeri bulunmamaktadır. Tasarımcı değişik koşullar için uygun yükleri kendisi tanımlayıp uygulamakta serbesttir. Sınır durumlar için sürşarj yüklerine Tablo-3’de verilen faktörler uygulanmalıdır.

DURUM	SÜRŞARJ YÜKLERİ		
	KALICI		DEĞİŞKEN
	ELVERİŞSİZ	ELVERİŞLİ	ELVERİŞSİZ
DURUM-B	1.0	1.00	1.1
DURUM-C	1.0	1.1	1.3

Tablo-3 Sürşarj Yüklerine Uygulanacak Güvenlik Faktörleri

Planlanmamış Kazı:

EC-7’ye göre sınır durumlar için ek bir planlanmamış kazı derinliğinin gerçek kazı derinliğine eklenmesi gerekmektedir. Bu derinlik konsol duvarlar için kazı derinliğinin %10’u, ankarjlı/destekli duvarlar için ise son destek seviyesi ile kazı tabanı arasında kalan mesafenin %10’u veya 0.5m (hangisi küçükse) olarak alınır. Elverişlilik sınır durumu kontrollerinde ise planlanmamış kazı derinliği hesaba katılmaz.

SONUÇ

Bu bildiri de günümüz Geoteknik Mühendisliğinde zemine gömülü ankarjlı iksa duvarlarının tasarımında kullanılan değişik metodlara ait bilgiler verilmiş, bu metodların avantaj ve dezavantajlarına değilinmiştir.

Ayrıca Eurocode-7'ye göre tasarım esasları da bildiri kapsamında sunulmuştur.

Son 10 yıl içinde büyük şehir merkezlerinde arazilerin kıymet kazanması nedeniyle çok bodrumlu yapılar tercih edilmektedir. Bu yapıların teşkili için ise derinliği 30-35m'lere varan kazıların yapılması gerekmektedir. Özellikle çevre yapıların kazı sınırına yakın olduğu projelerde iksa sistemlerinin deplasmanları ayrı bir önem kazanmakta, bu durum iksa sistemlerinin bu konuda uzman Geoteknik Mühendisleri tarafından projelendirilmesi gereğini beraberinde getirmektedir. Günümüz Geoteknik Mühendisliğinde mevcut değişik hesap yöntemlerinin yanında interaktif ve kolay kullanım özelliklerine sahip sonlu elemanlar programları tasarımcılar için cazip hale gelmiştir. Ancak bu yazılımların uzman olmayan kişilerce kullanılması yanlış projelendirmeye, bu projelerin uygulanması durumunda da çoğu kez yüksek deplasmanlar neticesi çevre yapılarda hasara neden olmaktadır. Özellikle sonlu elemanlar yazılımlarının gerçekçi sonuçlar verebilmesi için çok kaliteli zemin etüdlerinden elde edilecek zemin donelerine ihtiyaç vardır. Ne yazık ki günümüz piyasa koşullarında çoğu kez kaliteli donelerin sağlanması mümkün olmamaktadır. Bu nedenle derin kazıların (özellikle de 8-10 metreyi geçen ve çevre yapılara yakın olanlar) projeleri, sonlu elemanlar gibi gelişmiş metodlarla yapılmış da olsalar, mutlaka klasik yük dağılımları ve konvansiyonel metodlar kullanılarak kontrol edilmelidir. Derin kazı projelendirmesinde çok önemli bir husus ise benzer zeminlerde yapılan kazılar sırasında elde edilen deplasman ve yük ölçümlerinden elde edilen tecrübedir. Sonuç olarak basit yöntemlerle benzer zeminlerdeki eski tecrübeler kullanılarak yapılacak tasarımlar her zaman kalitesiz zemin verileri ve sonlu elemanlar yöntemi ile yapılacak tasarımlardan çok daha güvenli ve ekonomik olmaktadır.

KAYNAKLAR

- 1- Eurocode 7: Geotechnical Design, Part 1.General Rules, DD ENV 1997-1:1995
- 2- Gaba, A.R., vd., (2003), Embedded Retaining Walls-Guidance for Economic Design, CIRIA C580, ISBN 0 86017 580 4
- 3- Orr, T.L.L., Farrell, E.R.,(2000), Geotechnical Design to Eurocode 7, Springer-Verlag London Limited, ISBN 1-85233-038-4
- 4- Sabatini, P.J., Pass, D.G., Bachus, R.C., Ground Anchors and Anchored Systems, June 1999, US Department of Transprotation, Federal Highway Administration, Geotechnical Engineering Circular No.4, FHWA-IF-99-015
- 5- Strom R.W., Ebeling R.M.,(2001), State of the Practice in the Design of Tall, Stiff, and Flexible Tieback Retaining Wall, US Army Corps of Engineers, ERDC/ITL TR-01-1

**DESIGN METHODS for EMBEDDED ANCHORED
RETAINING STRUCTURES and PRINCIPLES of DESIGN to
EUROCODE-7**

Dr. Oğuz ÇALIŞAN

Prof.Dr.M.Yener ÖZKAN

B.Sc.,M.Sc.,Ph.D., in Civil Engineering
ÇALIŞAN Geotechnical Consulting
ANKARA

B.Sc.,M.Sc.,Ph.D., in Civil Engineering
METU Civil Engineering Department
ANKARA

ABSTRACT

The displacements of the nearby structures and infrastructures during and after the deep excavations gain importance in the areas where the nearby structures are close to the excavation boundaries. In case the displacements exceed certain values, cracks begin to develop leading to continuing discussions with the residents of the neighbouring structures. In addition to the classical methods such as limit equilibrium and subgrade reaction analysis, professional software using finite element method have been developed in the last 1-2 decades in order to calculate the displacements around the deep excavations during the design stage. In this paper the methods available in the state of the art Geotechnical Design of embedded anchored retaining walls have been briefly described stating their advantages and limitations. In addition the basic principles of design to Eurocode-7 is also given.

