

THE BEARING CAPACITY ANALYSIS OF THE STRIP FOUNDATIONS ON THE LAYERED SOIL

Gizem MISIR, Erdal UNCUOĞLU, Mustafa LAMAN, Abdülazim YILDIZ

Çukurova University, Engineering and Architecture Faculty, Department of Civil
Engineering, Adana
E-Posta: mlaman@cukurova.edu.tr

ABSTRACT

The bearing capacity formulas developed for estimating the ultimate bearing capacity of strip foundations give reasonable values especially in the case of uniform soil conditions. In the case of layered soil profile the same formulas are used for the predicting of the bearing capacity of strip foundations. But in this case the parametric expressions placed in the bearing capacity formula are modified using the approaches exist in the literature considering the stratification and foundation conditions. In this study, the bearing capacities of the strip foundations which are on the uniform soil strata and layered soil strata are analyzed using Plaxis. The results obtained from Plaxis and Terzaghi bearing capacity theory are compared.

TABAKALI ZEMİNLERE OTURAN ŞERİT TEMELLERİN TAŞIMA GÜCÜ ANALİZİ

Gizem MISIR, Erdal UNCUOĞLU, Mustafa LAMAN, Abdülazim YILDIZ

Çukurova Üniversitesi, Müh.-Mim. Fak., İnşaat Müh. Bölümü, Adana
E-Posta: mlaman@cukurova.edu.tr

ÖZET

Yüzeyel temellerin taşıma gücü değerlerinin belirlenmesi amacı ile geliştirilmiş olan taşıma gücü formülleri özellikle tek tabakalı (üniform) zemin durumunda güvenli tarafta

kalan sonuçlar vermektedir. Zemin profilinin tabakalı olması durumunda yine aynı taşıma gücü teorileri kullanılmakta ancak kullanılan parametrik ifadeler tabakalaşma ve temel sisteminin durumuna göre literatürde önerilmiş olan yaklaşımlar ile modifiye edilmektedir. Bu çalışmada tek tabakalı ve iki tabakalı zemin profilleri üzerinde yer alan şerit temellerin taşıma gücü, sonlu elemanlar yöntemine dayalı analiz yapan Plaxis bilgisayar programı ile analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar Terzaghi taşıma gücü teorisinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

AMAÇ

Literatürde mevcut olan taşıma gücü teorileri, üniform zemin profili üzerinde yer alan yüzeysel temellerin taşıma gücü değerleri için güvenli tarafta kalan mantıklı sonuçlar üretmektedir. Aynı teorik yaklaşımların tabakalı zemin profilleri üzerinde yer alan yüzeysel temellerin taşıma gücü değerlerini de aynı güvenilirlikte olarak tahmin edip edemedikleri bu çalışma kapsamında incelenmektedir. Bu amaçla üniform ve tabakalı zemin durumunda şerit temellerin taşıma gücü Plaxis ile analiz edilerek elde edilen sonuçlar Terzaghi taşıma gücü teorisi ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmaktadır.

1. GİRİŞ

Zeminle üst yapı arasındaki bağlantıyı sağlayan taşıyıcı eleman temel adıyla tanımlanır. Bir yapı taşıyıcı sistemi en genel halde üst yapı, temel ve zemin bileşiminden oluşur. Temel, yapı yüklerini ve yükün dağılımını altta bu yükü taşıyacak zeminin taşıyabileceği şekle dönüştürerek aktaran bir sistemdir. Bu niteliği ile de hem yapıdan hem de zeminden etkilenir. Buna göre, temel tasarımı bir yapı-zemin etkileşimi problemi (1).

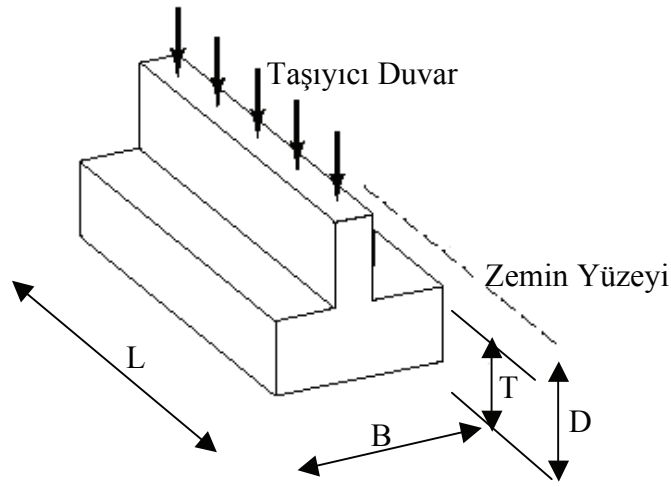
Temeller iki ana gruba ayrılırlar:

Yüzeysel temeller

Derin temeller

Yüzeysel temeller yapısal yükleri yüzeye yakın zeminlere ileten temellerdir. Bunlar, tekil temelleri ve radye temelleri kapsarlar. Bir tekil temel, uygulanan yapısal yükleri bir kolon veya taşıyıcı duvar altında yeteri kadar geniş bir zemin alanı üzerine yaymak üzere yapılan genişletmedir. Her kolon ve her taşıyıcı duvarın tipik olarak kendi tekil temeli bulunmaktadır (2). Tekil temeller her şeyden önce düşük maliyetleri ve kolay imalatları nedeni ile kullanılan en yaygın temel tipleridir. Genellikle orta ve iyi derecedeki zemin koşullarında küçük ve orta boyuttaki yapı yükleri altında kullanılırlar (2, 3).

Şekil 1’ de görülen yüzeysel temel B genişliğine ve L uzunluğuna sahiptir. Zemin yüzeyinden itibaren temelin gömülü derinliği ya da başka bir ifade ile temel derinliği D ile gösterilmiştir. Teorik olarak, B/L oranı sıfıra eşit olduğunda (ki bunun anlamı temel uzunluğu L’ nin sonsuz uzunlukta olmasıdır) temeli destekleyen zemin kütleğinde düzlem deformasyon durumunun var olduğu kabul edilir. Pratik uygulamaların çoğunluğunda; $B/L \leq 1/5$ ya da $1/6$ olduğunda da düzlem deformasyon teorisinin oldukça iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Terzaghi, $D/B \leq 1$ olan temelleri sığ temeller olarak tanımlamıştır. Terzaghi’ den sonra yürütülmüş olan araştırmalar sonucunda $D/B \leq 3$ ya da 4 olduğu durumlarda da temellerin yüzeysel temeller olarak kabul edilebilecekleri vurgulanmıştır (4).



Şekil 1. Şerit Temel

Şerit temeller taşıyıcı duvar veya eşit birçok kolon yükünü taşıyan temellerdir. Bu tip temellerde temel uzunluğu L, temel genişliği B’ye göre oldukça büyük olup temelin sonsuz uzunlukta olduğu kabul edilir. Bu tip temellerde hesaplamalar sonlu boyuttaki temellerden farklı biçimde yürütülür.

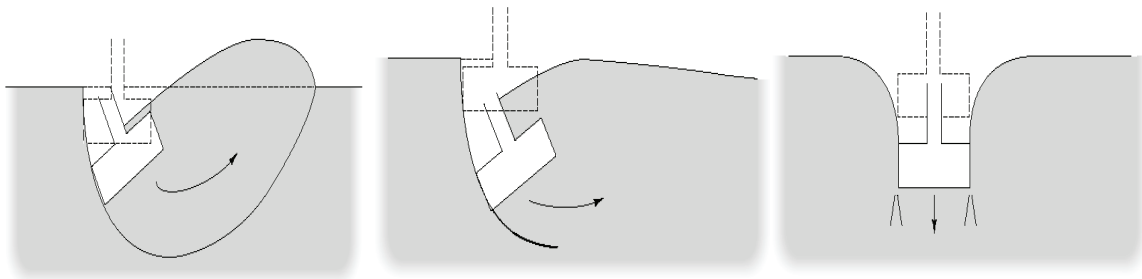
Temel, üst yapı yüklerini taşıyıcı zemin tabakalarına aktarırken zeminde aşırı gerilmeye sebep olmamalıdır. Bu sebeple emniyetli temel tasarımında uygun bir güvenlik sayısı uygulanmalıdır. Kullanılan güvenlik sayısı, temel zemininin kayma göçmesine ve aşırı oturmalara karşı yeterli derecede güvenliğini sağlamalıdır. Zeminin kayma göçmesine karşı ulaşabileceği en büyük mukavemet değeri nihai taşıma gücü olarak adlandırılan q_u değeridir. Emniyetli taşıma gücü değeri q_a ise q_u değerinin güvenlik sayısı ile bölünmesi sonucu elde edilir. Nihai taşıma gücü hesabı taşıma gücü göçme (yenilme) mekanizması ve bu göçme durumuna ulaştıran statik denge hesabı yapılarak bulunur. Tüm statik denge problemlerinde

olduğu gibi göçme mekanizmasının tanımlanmasının ardından bu mekanizmaya etki eden, göçüren kuvvetlere (gerilmeler) karşı, karşı koyan kuvvetler (gerilmeler) tanımlanır. Bu kuvvetlerin karşılıklı tam dengesi göçmeyi gösterir. Göçmeye karşı koyan kuvvetleri oluşturan zeminin kayma mukavemeti parametreleridir (1).

2. YÜZEYSEL TEMELLER İÇİN TAŞIMA GÜCÜ

Yüzeysel temellerde taşıma gücünü analiz ederken yük, temel boyutları ve zemin özellikleri arasındaki ilişkinin iyi bilinmesi gereklidir. Araştırmacılar sayılan bu faktörler arasındaki ilişkileri tam ölçekli arazi yükleme deneyleri, laboratuvar model yükleme deneyleri, sınır denge analizleri ve sonlu elemanlar yöntemine dayalı sayısal analizler ile incelemişlerdir.

Sınır denge analizleri, yüzeysel temellerin taşıma güçlerinin değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu analizler, Şekil 2. a, b ve c' de gösterilen farklı tipteki göçme yüzeylerinden biri şeklinde gerçekleşecek olan göçme yüzeyinin tanımlanması ve daha sonra da bu göçme yüzeyi boyunca kaydırmaya çalışan kuvvetler ile kaydıran kuvvetlerin değerlendirilerek bunların dengelenmesi esasına dayalı olarak çözüm yapar. Sınır denge analizleri çoğunlukla model deneylerden elde edilen deneysel faktörleri içerir (2).

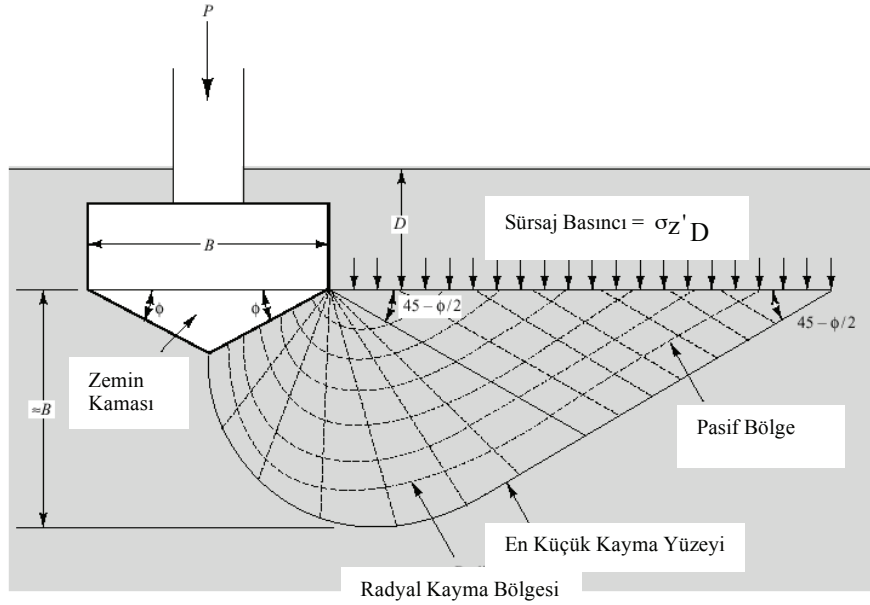


Şekil 2.a. Genel Kayma Göçmesi, b. Yerel (Kısmi) Kayma Göçmesi
c. Zımbalama Kayma Göçmesi (Coduto, 2001)

2.1. Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi

Terzaghi' nin geliştirmiş olduğu taşıma gücü teorisi basit olması, kolay anlaşılır olması ve el ile yapılan hesaplamalar için uygun olması nedeniyle günümüzde en çok kullanılan taşıma gücü teorisidir. Terzaghi, teorisini sürekli temeller için geliştirmiştir. İki boyutlu durum olması nedeni ile en basit hal budur. Daha sonra model deneylerden elde etmiş olduğu

deneysel katsayılar ile teorisini kare ve dairesel temeller için de genişletmiştir. Terzaghi taşıma gücü teorisinde genel kayma göçmesi dikkate alınmaktadır.



Şekil 3. Terzaghi Taşıma Gücü Formülü İçin Göçme Yüzeyinin Geometrisi (Coduto, 2001)

Sürekli bir temel için taşıma gücü formülü aşağıda verildiği gibidir;

$$q_u = c' N_c + \sigma'_{zD} N_q + 0.5 \gamma' B N_\gamma \quad (1)$$

- q_u : nihai taşıma gücü değeri,
 c' : temel altındaki zeminin efektif kohezyon değeri,
 ϕ' : temel altındaki zeminin efektif içsel sürtünme açısı değeri,
 σ'_{zD} : zemin yüzeyinden itibaren D derinliğindeki düşey efektif gerilme,
 γ' : zeminin efektif birim hacim ağırlığı,
 D : zemin yüzeyinden itibaren temel derinliği,
 B : temelin genişliği,
 N_c, N_q, N_γ : içsel sürtünme açısına bağlı Terzaghi taşıma gücü faktörleri.

Terzaghi taşıma gücü denklemi kare ve dairesel temeller için de aşağıda verildiği gibidir;

$$q_u = 1.3 c' N_c + \sigma'_{zD} N_q + 0.4 \gamma' B N_\gamma \quad (\text{Kare temeller için}) \quad (2)$$

$$q_u = 1.3 c' N_c + \sigma'_{zD} N_q + 0.3 \gamma' B N_\gamma \quad (\text{Dairesel temeller için}) \quad (3)$$

2.2. Tabakalı Zeminler Üzerinde Yer Alan Temeller İçin Taşıma Gücü Hesabı

Temellerin üniform olmayan (c , ϕ ve γ 'nın derinlik boyunca sabit olmadığı) zemin tabakaları üzerinde yer alması durumunda nihai taşıma güçlerinin nasıl hesaplanacağını analiz edilmesi gerekmektedir. d_1 temel tabanından itibaren üstteki tabakanın kalınlığı, H temel tabanından itibaren göçme yüzeyinin derinliği ve B' 'de sürekli temelin genişliği olmak

üzere, tabakalı zemin durumunda nihai basınç değerinde meydana gelecek göçme tipi ve kayma yüzeyinin nasıl olacağı d_1 , H ve B arasındaki ilişkilere dayandırılarak nihai taşıma gücü q_u 'nun değeri modifiye edilir. Tabakalı zeminler üzerinde yer alan temeller için üç genel durum vardır (5, 4, 2).

- 1) Kil zeminler üzerinde yer alan temeller ($\phi = 0$)
 - a) Üstteki tabaka alttaki tabakadan zayıftır ($c_1 < c_2$)
 - b) Üstteki tabaka alttaki tabakadan sağlamdır ($c_1 > c_2$)
- 2) ϕ -c tabakalı zeminler üzerinde yer alan temeller
 - a) Üstteki tabaka alttaki tabakadan zayıftır
 - b) Üstteki tabaka alttaki tabakadan sağlamdır
- 3) Kum ve kil zeminden oluşan tabakalı zeminler üzerinde yer alan temeller
 - a) Kil zemin tabakası üzerinde kum zemin tabakası olması
 - b) Kum zemin tabakası üzerinde kil zemin tabakası olması

Pratikte iki ya da üç tabakalı kohezyonlu zemin durumu çok karşılaşılan bir durum değildir. Yaygın olarak kil tabakası üzerinde yer alan kum tabakası ya da kum tabakası üzerinde yer alan kil tabakası şeklindeki tabakalı zemin profilleri ile karşılaşılmaktadır. Üstte yer alan tabakanın altta yer alan tabakaya göre sağlam veya zayıf olması, tabakaların kalınlıklarının birbirlerine göre büyüklükleri gibi faktörler göçme yüzeyinin her iki tabakayı da etkileyip etkilemediğini ve ne tip bir göçme gözlenebileceğini belirleyen faktörlerdir.

Bu konuda literatürde mevcut olan çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır.

- Temel tabanı ve tabandan aşağı bir B derinliği arasındaki bölgede en düşük değerdeki c , ϕ ve γ değerlerini kullanarak taşıma gücü değerlendirilir. Bu bölge taşıma gücü yenilmelerinin meydana geldiği bölgedir ve bu nedenle zemin parametrelerini kullanmamız gereken tek bölgedir. Kaymanın bir kısmı daha sağlam tabakalarda meydana geldiği için bu yöntem güvenli tarafta kalmaktadır.
- Temel tabanı ve tabandan aşağı bir B derinliği arasındaki bölgede her bir tabakanın göreceli kalınlıklarına bağlı olarak c , ϕ ve γ nın ağırlıklı ortalama değerlerinin bulunması ve bulunan bu değerlere göre taşıma gücünün hesaplanması.

- Temel altında bir seri göçme yüzeyi göz önüne alınır ve şev stabilitesi analizlerinde kullanılan yöntemlere benzer yöntemler kullanılarak her bir yüzey üzerindeki gerilmeler değerlendirilir. En düşük q_u değerine sahip yüzey kritik göçme yüzeyi olarak kabul edilir.
- Purushothamaraj ve ark. (1974); $c - \phi$ zemin durumundaki iki tabakalı zeminler için bir çözüm yolu önermişlerdir. Bu yönteme göre; ilk olarak, üstte yer alan zemin tabakasına ait ϕ değeri $H = 0.5 B \tan(45 + \phi/2)$ ifadesinde kullanılarak efektif kayma yüzeyi derinliği hesaplanır. Eğer elde edilen H değeri d_1 kalınlığından büyükse bu durumda, göçme yüzeyi altta yer alan tabaka içerisinde geçeceği için modifiye edilmiş olan c ve ϕ değerleri bulunarak istenilen bir taşıma gücü formülünde yerine konur ve q_u değeri hesaplanır. Modifiye c ve ϕ değerleri $\phi = ((d_1\phi_1) + (H - d_1)\phi_2)/H$ ve $c = ((d_1c_1) + (H - d_1)c_2)/H$ ifadeleri yardımı ile bulunabilir.
- Kil üzerinde kum tabakası ya da kum üzerinde kil tabakasının yer aldığı durumlarda ilk olarak H derinliği hesaplanarak göçme yüzeyinin altta yer alan tabaka içerisinde geçip geçmediği kontrol edilir. Eğer $H > d_1$ durumu söz konusu ise bu durumda belirtilen yol izlenir. İstenilen taşıma gücü formülü kullanılarak q_u değeri üstte yer alan zemine ait parametreler yardımı ile hesaplanır. Daha sonra altta yer alan tabakanın parametreleri kullanılarak bu zemin tabakasına ait taşıma gücü değeri (q_u'') belirlenir. Zımbalama kayma göçmesi oluşacağı düşünülerek zımbalama etkisinin taşıma gücüne olacak katkısının değeri bulunur. Son olarak üstteki zemin tabakasına ait parametreler yardımı ile hesaplanan q_u değeri, altta yer alan tabaka için hesaplanan q_u'' değeri ve zımbalamanın taşıma gücüne olan katkısının toplanması sonucu elde edilen değer ile karşılaştırılarak küçük olan q_u değeri seçilir.
- Meyerhof ve Hanna (1978); zayıf zemin tabakası üzerinde sağlam zemin tabakasının ve sağlam zemin tabakası üzerinde zayıf zemin tabakasının olduğu durumlardaki $c - \phi$ tabakalı zemin koşulları için nihai taşıma gücünün tahmin edilmesine yönelik bir teori geliştirmişlerdir. Teoride; q_u değerinde meydana gelecek olan göçmenin tipi ve kayma yüzeyinin nasıl oluşacağı d_1 ve B arasındaki ilişkiye dayandırılmıştır. Sağlam zemin tabakasının zayıf zemin tabakası üzerinde yer aldığı durum için aşağıdaki taşıma gücü formülü önerilmiştir.

$$q_u = q_b + \frac{2C_a d_1}{B} + \gamma_1 d_1^2 \left(1 + \frac{2D}{d_1} \right) \frac{K_s \tan \phi_1}{B} - \gamma_1 d_1 \leq q_t \quad (4)$$

q_b ; alttaki zayıf tabakanın nihai taşıma gücü değeridir. Aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$q_b = q_2 = c_2 Nc(2) + \gamma_1 (D + d_1) Nq(2) + 0.5 \gamma_2 B N\gamma(2) \quad (5)$$

K_s ; zımbalama kesme katsayısıdır. q_2 / q_1 oranının bir fonksiyonudur.

C_a ; adhezyon kuvvetidir.

q_t ; üstteki sağlam zemin tabakasının taşıma gücüdür. Aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$q_t = q_1 = c_1 Nc(1) + \gamma_1 D Nq(1) + 0.5 \gamma_1 B N\gamma(1) \quad (6)$$

- Sağlam bir zemin tabakası üzerinde zayıf bir zemin tabakasının yer alması durumunda nihai taşıma gücünün değeri Meyerhof (1974), Meyerhof ve Hanna (1978) tarafından önerilen yarı deneysel ilişki kullanılarak belirlenebilir.

$$q_u = q_t + (q_b - q_t) \left(1 - \frac{d_1}{D_s}\right)^2 \geq q_t \quad (7)$$

D_s ; temel altındaki göçme yüzeyinin üstteki zayıf zemin tabakası içindeki derinliğidir. D_s/B oranının büyüklüğü gevşek kum ve kil zeminler için 1'den sıkı kum zeminler için 2'ye kadar değişmektedir.

3. TABAKALI ZEMİN PROBLEMİ ÖRNEĞİ

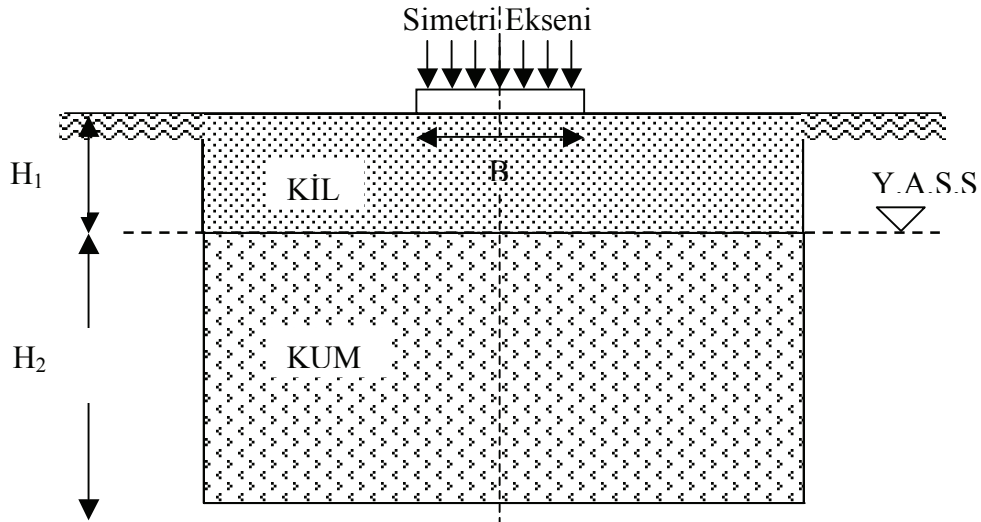
Yapılan çalışmada, tek tabakalı (üniform) ve iki tabakalı zemin profilleri üzerinde yer alan şerit temellerin taşıma gücü kapasiteleri teorik yöntemler ve sonlu elemanlar yöntemine dayalı analiz yapan Plaxis bilgisayar programı kullanılarak araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, aşağıda sıralanmış olan dört farklı zemin profili üzerinde yer alan şerit temellerin taşıma gücü analiz edilmiştir.

1. Sadece sıkı kum zemin durumu (K1),
2. Sadece yumuşak kil zemin durumu (K2),
3. Üstte H_1 kalınlığında yumuşak kil zemin altta H_2 kalınlığında sıkı kum zemin olması durumu (K3),
4. Üstte H_1 kalınlığında sıkı kum zemin altta H_2 kalınlığında yumuşak kil zemin olması durumu (K4).

Analizi yapılan kombinasyonların her birinde yer altı su seviyesi (Y.A.S.S.) 2m derinliktedir. Üstte yer alan zemin tabakasının kalınlığı $H_1 = 2m$ ve altta yer alan zemin tabakasının kalınlığı da $H_2 = 4m$ dir. Şerit temelin genişliği $B = 3m$ olarak alınmıştır. Kullanılan kombinasyonlardan K3'e ait zemin profili Şekil 4' de gösterilmiştir.

4. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Mühendislik problemlerinin çözümünde, diferansiyel denklem takımlarıyla tanımlanabilen fiziksel problemleri cebrik denklem takımlarına dönüştürerek çözen Sonlu Elemanlar Yöntemi son yıllarda yaygın bir sayısal analiz yöntemi olarak kullanılmaktadır. PLAXIS (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis), geoteknik mühendisliğindeki deformasyon ve stabilite problemlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilebilmesi için tasarlanmış bir bilgisayar yazılımıdır. Bu çalışmada, PLAXIS 8.2 versiyonu kullanılmıştır.



Şekil 4. Örnek Problem Geometrisi

Analizler, 2 boyutlu olarak düzlem deformasyon geometri koşullarında yapılmıştır. Yazılımda, malzemenin gerilme-deformasyon davranışı lineer olmayan çözüm teknikleri ile modellenmektedir. Analizlerde kil zemin için Mohr Coulomb (MC) zemin modeli, kum zemin için ise Hardening Soil-Pekleşen Zemin (HS) Modeli kullanılmıştır. MC ve HS zemin modellerine ait parametreler ve bu parametrelerin analizlerde kullanılan değerleri Tablo 1 ve Tablo 2’ de sunulmuştur. Analizlerde kil zemin drenajsız koşullar altında tanımlanmıştır. Sonlu eleman analizlerinde, seçilen ağ sıklığı hem sonuçların doğruluğunun artırılabilmesi hem de hesaplama yükünün dengelenebilmesi açısından son derece önemlidir. Bu nedenle ele alınan problem farklı ağ sıklıklarında analiz edilerek en uygun ağ yapısının ne olduğu irdelenmiştir.

Sonuçta medium olarak adlandırılan orta-sıkı ağ yoğunluğunun problem için en uygun ağ yapısı olduğuna karar verilmiştir. Problem geometrisi tek tabakalı durumda 217 adet, iki tabakalı durumda ise 231 adet sonlu eleman kullanılarak analiz edilmiştir. Problemlerin analizi, staged construction olarak adlandırılan kademeli inşa modunda 3000 kN değerindeki yükleme değerinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Sayısal analizlerde kullanılan Mohr Coulomb Modeli parametreleri

Mohr Coulomb Modeli			
Doğal birim hacim ağırlığı	γ_n	kN/m ³	17
Doygun birim hacim ağırlığı	γ_d	kN/m ³	18
Üç eksenli yükleme rijitliği	E_{ref}	kN/m ²	5000
Poisson Oranı	ν	-	0.20
Kohezyon	c	kN/m ²	50
Kayma mukavemet açısı	ϕ	(°)	0
Dilatasyon açısı	ψ	(°)	0
Toprak basıncı katsayısı	K_0	-	1

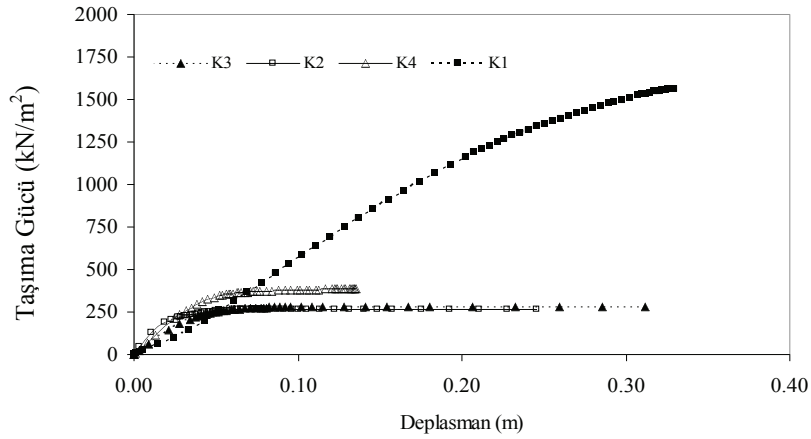
Tablo 2. Sayısal analizlerde kullanılan Pekleşme Zemin Modeli parametreleri

Pekleşme Zemin Modeli			
Parametre Adı	Simge	Birim	Değeri
Doğal birim hacim ağırlığı	γ_n	kN/m ³	17.1
Doygun birim hacim ağırlığı	γ_d	kN/m ³	18
Üç eksenli yükleme rijitliği	$E_{ref}=E_{50}$	kN/m ²	28000
Odometre yükleme rijitliği	E_{oed}	kN/m ²	28000
Üç eksenli boşaltma-tekrar yükleme rijitliği	E_{ur}	kN/m ²	72500
Kohezyon	c	kN/m ²	0.3
İçsel sürtünme açısı	ϕ	(°)	41
Dilatasyon açısı	ψ	(°)	11
Toprak basıncı katsayısı	K_0	-	0.344

5. UYGULAMA

Tek tabakalı zemin profili durumunda; 6m kalınlığındaki bir kil tabakası ve 6m kalınlığındaki bir kum tabakası üzerinde yer alan şerit temellerin taşıma gücü, Plaxis'te ayrı ayrı modellenmiş ve elde edilen sonuçlar Terzaghi taşıma gücü formülü kullanılarak elde edilen nihai taşıma gücü değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Sonuçta; Plaxis ile yapılan sayısal analizlerde üniform kil tabakası durumunda Terzaghi taşıma gücü değerinden %6, üniform kum tabakası durumunda ise %15 daha küçük değerler elde edilmiştir. Zemin profilinin tabakalı olduğu durumlar da, üstte 2m kil altta 4m kum tabakası ve üstte 2m kum altta 4m kil tabakası olması durumları, Plaxis'te modellenmiş ve elde edilen analiz sonuçları Terzaghi taşıma gücü formülünden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Terzaghi taşıma gücü formülü için c , ϕ ve γ değerleri, temel tabanı ve tabandan aşağı bir B derinliği arasındaki bölgede her bir tabakanın göreceli kalınlıklarına bağlı olarak c , ϕ ve γ nın ağırlıklı ortalama değerlerinin bulunması yolu ile tanımlanmıştır. Terzaghi taşıma gücü formülünde kullanılacak olan taşıma gücü katsayıları N_c , N_q ve N_γ ' nın değerleri ϕ 'nin ağırlıklı ortalama değerine göre belirlenmiştir. Elde edilen değerlerin formülde yerine konması ile taşıma gücü değerleri hesaplanmıştır. Sonuçta; Plaxis ile yapılan sayısal analizlerde kil tabakasının üstte yer aldığı durumda Terzaghi taşıma gücü değerinden %39, kum tabakasının üstte olduğu durumda ise %52 daha küçük değerler elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlarda, Terzaghi değerleri Plaxis değerlerine göre oldukça büyük çıkmaktadır. Tek tabakalı zemin durumunda elde edilen sonuçlar da göz önüne alındığında belirtilen tabakalı zeminler için kullanılmış olan teorik yaklaşımın çok güvenilir olmadığı görülmektedir. Ayrıca, bu sonuç nonlineer gerilme deformasyon ilişkisi yaklaşımının, doğrusal yaklaşıma göre daha gerçekçi olduğunu da ifade etmektedir. Plaxis analizleri sonucu elde edilen oturmalar ve taşıma gücü değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 3'te ve Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 5. Elde edilen yük deplasman eğrileri

Tablo 3. Plaxis analiz sonuçlarının Terzaghi taşıma gücü değerleri ile karşılaştırılması

Kombinasyon	Plaxis Deplasman Değeri (10^{-3} m)	Plaxis Taşıma Gücü (kN/m^2)	Terzaghi Taşıma Gücü (kN/m^2)	Mutlak Yüzde Fark (%)
K1	359	1560	1846	15
K2	252	267	285	6
K3	311	273	455	40
K4	147	384	807	52

6. SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlardan tek tabakalı durumda Terzaghi değerleri ile Plaxis değerlerinin uyum içerisinde olduğu görülmüştür. İki tabakalı zemin profili durumunda ise pratikte önerilen ve en çok kullanılan yaklaşımların Plaxis sonuçları ile uyum içerisinde olmayıp %50 mertebelerine varan farklılıklar elde edilmiş ve Terzaghi sonuçları oldukça büyük çıkmıştır. Bu durumda tabakalı zeminler için kullanılan teorik yaklaşımın güvenilir olmadığı düşünülmektedir. Ayrıca bu sonuç nonlinear gerilme deformasyon ilişkisi yaklaşımının, doğrusal yaklaşıma göre daha gerçekçi olduğunu da ifade etmektedir.

7. KAYNAKLAR

1. Çinicioğlu, S.F., Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı, Seminer-İMO İstanbul, 2005, 25 sayfa.

2. Coduto, D.P., Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar (Çevirenler: Murat Mollamahmutoğlu, Kamil Kayabalı), Gazi Kitabevi, 2005, 816 sayfa.
Önalp, A., Sert, S., Geoteknik Bilgisi III – Bina Temelleri, Birsen yayınevi, 2006, 375 sayfa.
4. Das, B.M., Shallow Foundations – Bearing Capacity and Settlement, CRC Press, 1999, 366 p.
5. Bowles, J.E., Foundation Analysis and Design, 4th edition, Mc Graw-Hill International Editions, 1988, 1004 p.

İSTİNAT DUVARLARININ EXCEL VBA İLE ÇÖZÜMÜ

Devrim ALKAYA	İbrahim ÇOBANOĞLU	Fatih DİKBAŞ
Pamukkale Üniversitesi	Pamukkale Üniversitesi	Pamukkale Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü	Jeoloji Mühendisliği Bölümü	İnşaat Mühendisliği Bölümü
Denizli / Türkiye	Denizli / Türkiye	Denizli / Türkiye

ABSTRACT

Supporting walls are one of the important study areas of civil engineering. A sample study was made in Pamukkale University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department aimed at supporting wall calculation for making reliable and economic supporting wall design in the shortest time. With the program prepared in Excel VBA, solution of supporting walls of types L console, weight, weight inclined to one side and weight inclined to two sides can be made. With the written program, reinforcement amounts can also be made and reinforcement plans can be drawn.

ÖZET

İstinat duvarları, İnşaat Mühendisliğinin önemli çalışma konularından biridir. Güvenilir ve ekonomik istinat duvarı tasarımını en kısa zamanda yapabilmek için Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde istinat duvarı hesabına yönelik örnek bir çalışma yapılmıştır. Excel VBA de hazırlanan program ile konsol, L konsol, ağırlık, tek tarafa eğimli ağırlık ve iki tarafa eğimli ağırlık tipte istinat duvarlarının çözümü yapılabilmektedir. Hazırlanan program ile ayrıca donatı hesapları da yapılabilmekte ve donatı resmi çizilebilmektedir.

1. PROGRAMIN TANITIMI VE VERİ GİRİŞİ

İstinat duvarının çözümünün yapılabilmesi için Excelde gerekli olan hücelere bir takım verilerin girilmesi gerekmektedir. Sadece açık mavi renkteki yerlere veri girişi yapılmaktadır. Tüm birimler ton, metre ve derece cinsindendir.

1.1. İstinat Duvarının Ön Boyutları

Yazılan program 4 ile 10 metre arasındaki istinat duvarlarının çözümünü yapabilmektedir (Şekil 1). Programda öncelikle istinat duvarının toplam yüksekliği, toplam taban genişliği, gövde üst genişliği, konsol kısmının taban yüksekliği, ön ve arka konsol taban genişlikleri ve gövde alt genişliği girilir. Hesaplamalarda kullanılacak beton birim hacim ağırlığı da ilk aşamada programa girilir. Girilmesi gereken bir kısmı örnek olarak verilmiştir.

[B5] hücresine; İstinat duvarının toplam yüksekliği girilmelidir. Yazılan bu program 4 ile 10 metre arasında ki istinat duvarlarının çözümünü yapabilmektedir (Şekil1).

[B6] hücresine; İstinat duvarının toplam taban genişliği girilmektedir.

[B7] hücresine; İstinat duvarı gövdesinin üst genişliği girilmektedir.

[B8] hücresine; İstinat duvarının konsol kısmının taban yüksekliği girilmektedir.

[B9] hücresine; İstinat duvarının ön konsol taban genişliği girilmektedir.

[B10] hücresine; İstinat duvarı gövdesinin alt genişliği girilmektedir.

[B11] hücresine; İstinat duvarının arka konsol kısmının taban genişliği girilmektedir.

[B12] hücresine; beton birim hacim ağırlığı girilmektedir.

1.2. Depremlı Durum İçin Veri Girişı

İstinat duvarına gelebilecek olan deprem yükünün bulunabilmesi için ilgili hücrelere veri girişi yapılabilir. Bu amaçla önce [F5] hücresine etkin yer ivme katsayısı A_0 , [F6] hücresine; yapı önem katsayısı I , [F7] hücresine; istinat duvarının arka yüzünün düşeyle yaptığı açı, [F8] hücresine; zeminle duvar arasındaki sürtünme açısı (Zemin suya doygun ise bu değer yarısı alınmalıdır.), [F9] hücresine; duvar arkası zemin üst yüzünün yatayla yaptığı açı girilmelidir.

Şekil 1. Oluşturulan programa ait veri girişi ekranının bir bölümü

1.3. Çözüm Biçiminin Seçilmesi

Excel VBAda hazırlanan bu program İstinat duvarının çözümünü iki farklı yoldan yapabilmektedir. Bunlar verilen değerlerin kontrolü ya da en uygun duvar boyutlarının iterasyon ile belirlenmesidir.

1.3.1 Verilere Göre Çözüm

Bizim öngördüğümüz duvar boyutlarına göre hesap yaptırmak istiyorsak bu seçeneğin seçilmesi gerekmektedir.

1.3.2 İterasyona Göre Çözüm

Genel mantık olarak; Stabilite kontrollerinde Devrilme Güvenlik Sayısı, Kayma Güvenlik Sayısı ve Taban Basıncı değerleri uygun olana kadar program kendi içinde duvar boyutlarının artırımına gider. Bu artırım değerinin ölçüsünü [D6] hücresine girerek değiştirmek mümkündür. Program eğer duvarın toplam taban genişliği 12 m den fazla olursa işlemi durdurmaktadır.

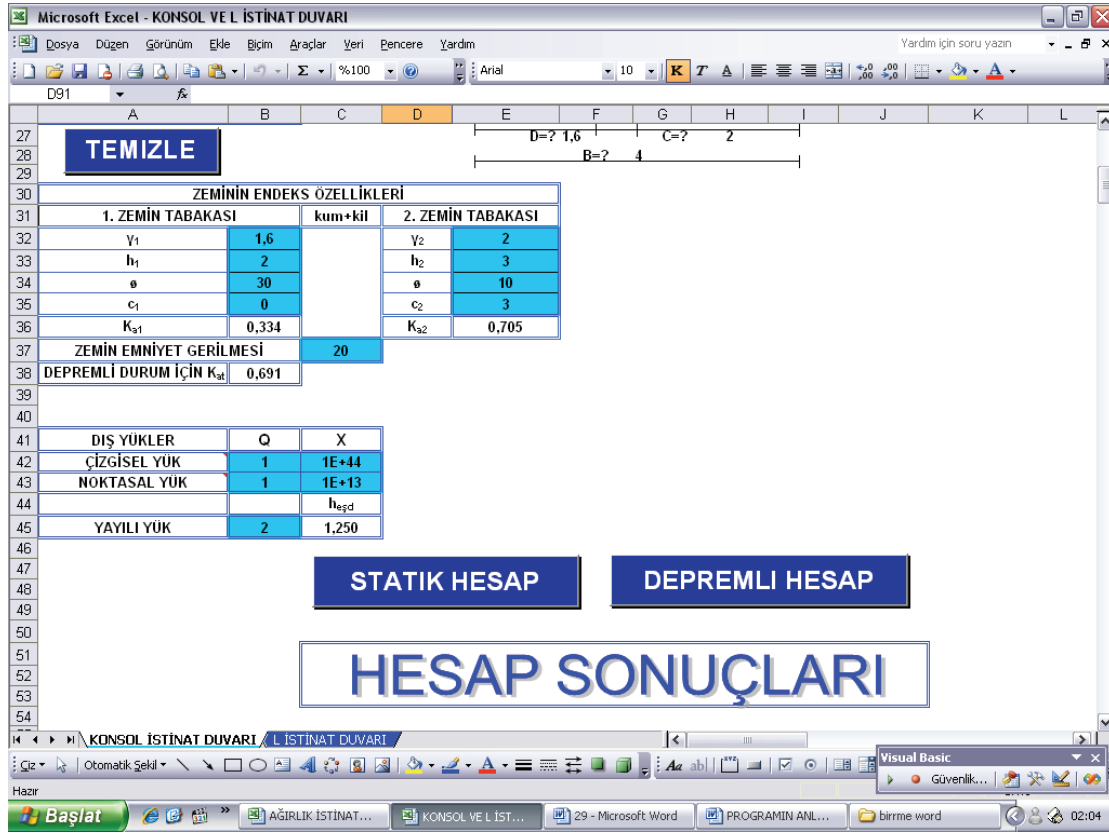
1.4 Zemin Tabaka(ları) Cinsi

Zemin profilimize en uygun seçeneğin seçilmesi gerekir. Hazırlanan bu program en fazla iki tabakalı bir zemin profilinin çözümünü yapmaktadır. Zeminin kohezyonlu olup olmamasına göre; eğer zemin profilinde kohezyonlu bir yapı var ise kil seçeneğinin seçilmesi gerekmektedir. Kohezyonsuz bir zemin var ise kum seçeneğinin seçilmesi gerekmektedir.

1.5 Zemin Endeks Özelliklerinin Belirlenmesi

Zemin profili seçildikten sonra bunların özelliklerinin girilmesi gerekmektedir. Eğer profilimiz tek tabakalı ise sadece 1. zemin tabakası özelliklerinin girilmesi gerekir, iki tabakalı ise 2. tabakanın da özelliklerinin girilmesi gerekir.

Profil tek tabakalı ise 2. Tabakanın değerleri 0 (sıfır) olarak yazılmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise şudur; Zemin toplam yüksekliği ile duvarın toplam yüksekliğinin eşit olmasıdır.



Şekil 2: Zemin profilinin değerlendirilmesi

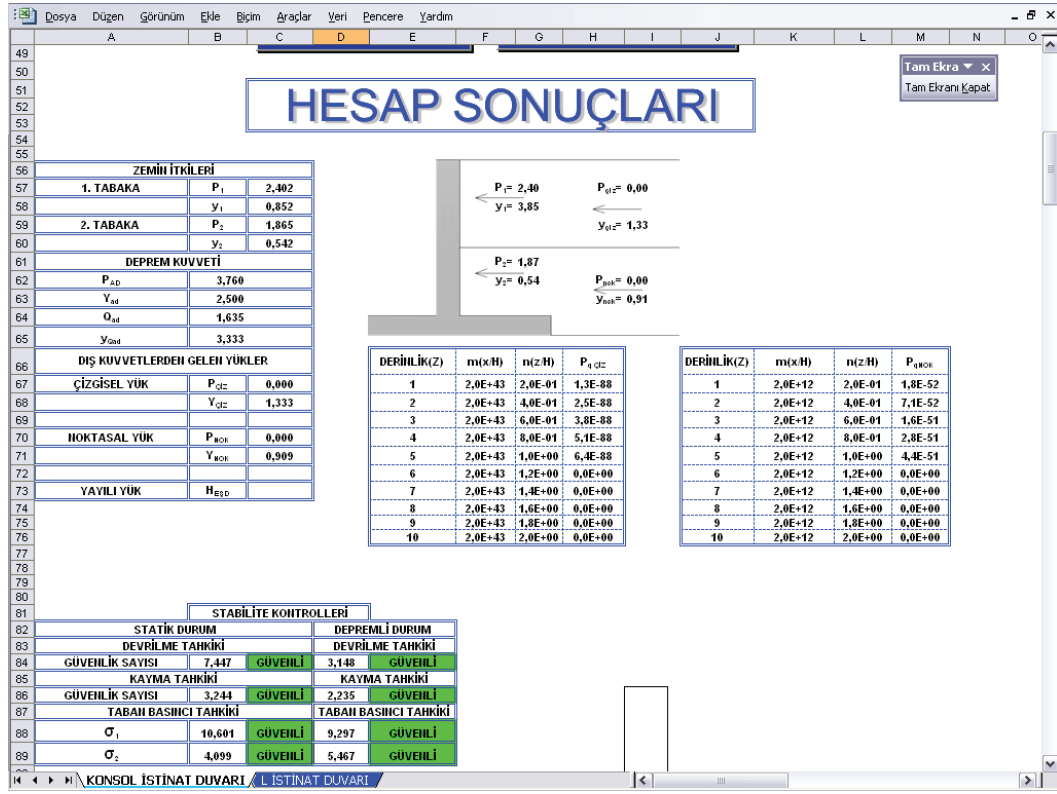
1.6. Ek Yüklerin Girilmesi

Yapının arkasında bulunabilecek ek yüklerin de girilmesi gerekmektedir. Bu ek yükler;

1.6.1. Çizgisel Yük

[B42] hüccresine; Yapının arkasında bulunan çizgisel yük miktarı girilmelidir. Bu değerin programın düzgün çalışabilmesi için kesinlikle 0 (sıfır) dan büyük olması gerekmektedir.

[C42] hüccresine; Çizgisel yükün İstinat duvarının arka yüzüne olan uzaklığı girilmelidir.



Şekil 3: Zemin profilinin değerlendirilmesi, ek yüklerinin değerlendirilmesi ve stabilite tahkikleri,

1.6.2 Noktasal Yük

[B43] hücresine; yapının arkasında bulunan noktasal yük miktarı girilmelidir. Bu değer programın düzgün çalışabilmesi için kesinlikle 0 (sıfır)' dan büyük olması gerekmektedir.

[C43] hücresine; noktasal yükün istinat duvarının arka yüzüne olan uzaklığı girilmelidir.

1.6.3 Yayılı Yük

[B45] hücresine; Duvar arkasında bulunan yayılı yükleme değerinin girilmesi gerekir.

Eğer herhangi bir yayılı yükleme yoksa bu değer 0 (sıfır) girilmesi gereklidir.

1.7 TEMİZLE DÜĞMESİ

Projesi tamamlanan istinat duvarının verilerinin silinip yeni değerlerin yazılması için yapılmıştır.

1.8 VERİ GİRİŞİ DEĞERLERİNİN ÖRNEK BİR ÇIZIM ÜZERİNDE GÖSTERİLMESİ

Tüm veri girişleri örnek olarak gösterilen çizimde yer almaktadır. Bu çizime bakılarak verilerin düzgün olarak girilip girilmediği kontrol edilebilir.

Şekil üzerinde duvar boyutları, birinci ve ikinci tabakanın endeks özellikleri, tabaka kalınlıkları, dış yüklerin değerleri yazmaktadır.

1.9 STATİK HESAP DÜĞMESİ

Statik hesap için tüm veri girişi işlemleri bittikten sonra bu düğmeye basılması yeterli olacaktır.

Bu fonksiyon VBA da hazırlanmış olan alt komutlara göre işlemler yapmaktadır.

1.9.1 Zemin İtkilerinin Değeri

1. tabaka için yatay itki kuvveti [C57] hücrelerinde, bu yatay kuvvetin etkiye noktası ise [C58] hücrelerinde yazmaktadır. 2. tabaka için yatay itki kuvveti [C59] hücrelerinde, bu yatay kuvvetin etkiye noktası ise [C60] hücrelerinde yazmaktadır.

1.9.2 Dış Kuvvetlerden Gelen Yükler

Çizgisel yükün yatay itki değeri [C67] hücrelerinde, bu yatay kuvvetin etkiye noktası ise [C68] hücrelerinde yazmaktadır.

Noktasal yükün yatay itki değeri [C70] hücrelerinde, bu yatay kuvvetin etkiye noktası ise [C71] hücrelerinde yazmaktadır.

Yayıllı yükün eşdeğer toprak yüksekliğine çevrilmiş halini ise [C73] hücrelerinde yazılmıştır.

1.9.3 Noktasal ve Çizgisel Yükün Derinlik İle Olan Değişimi

Duvarın arkasında olan noktasal ve çizgisel yüklerin duvar boyunca değişimi gösterilmektedir.

[H67] hücrelerinden [H76] hücrelerine kadar olan kısımda çizgisel yükün derinlikle olan değişimi gösterilmektedir.

[M67] hücrelerinden [M76] hücrelerine kadar olan kısımda noktasal yükün derinlikle olan değişimi gösterilmektedir.

1.9.4 Stabilite Kontrolleri

Statik hesap düğmesine basıldıktan sonra gelen kuvvetlere göre stabilite kontrolleri yapılmaktadır.

Kayma güvenlik sayısı 1.5 den büyük olursa [C86] hücresine güvenli yazısı görünmekte ve dolgu rengi yeşil olmaktadır. Benzer şekilde diğer statik durum stabilite kontrolleri de yapılmaktadır.

1.10 DEPREMLİ HESAP DÜĞMESİ

Depremlı durum için veri girişı yapıldıktan sonra bu düğmeye basılması yeterli olacaktır.

Bu düğme VBA da hazırlanmış olan alt komutlara göre işlemler yapmaktadır.

Bu düğmeye basıldıktan sonra ekranda deprem kuvvetini veren değerler çıkmaktadır.

[B62] hücresine; gelebilecek olan deprem kuvveti değeri yazılmaktadır.

[B63] hücresine; gelebilecek olan deprem kuvvetinin etkime noktası yazılmaktadır.

[B64] hücresine; Eğer duvar arkasında yayılı bir yükleme varsa bu yükün deprem kuvvetine dönüştürülmüş değeri yazılmaktadır.

[B65] hücresine; Yayılı yüklemenin deprem kuvvetine dönüştürülmüş değerinin etkime noktası yazılmaktadır.

Aynı şekilde depremlı hesap düğmesine basıldıktan sonra; depremlı durum için stabilite kontrolleri de yapılmaktadır.

Programda depremlı durum için kayma güvenlik sayısı 1.1 değerinden fazla ise [E86] hücresinde güvenli yazısı görülmekte ve dolgu rengi yeşil olmaktadır.

1.11 ÇIKAN SONUÇLARIN ÖRNEK BİR ŞEKİL ÜZERİNDE GÖSTERİLMESİ

Zemin itkileri ve dış kuvvetlerden gelen yüklerin daha rahat anlaşılabilmesi için örnek bir şekil üzerinde gösterilmiştir. (Şekil 2-3)

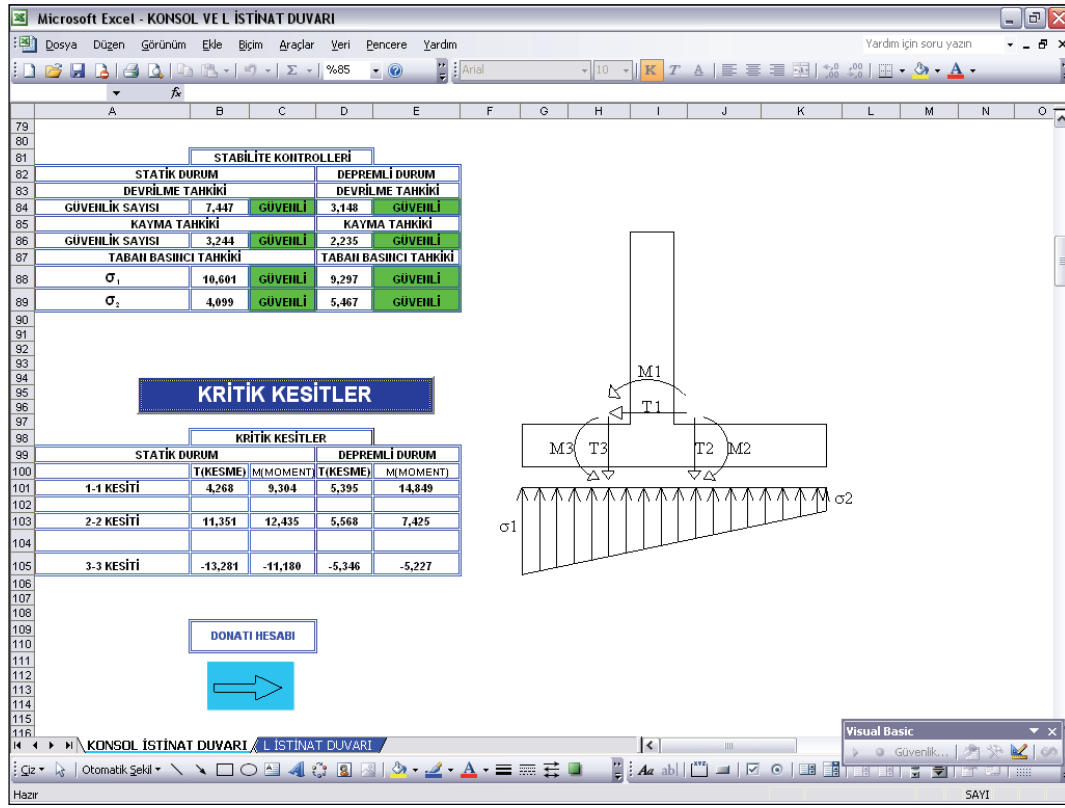
1.12. KRİTİK KESİTLER

Stabilite tahkikleri statik ve depremlı durum için yaptırıldıktan sonra kritik kesitlere gelecek olan T (kesme) , M (moment) değerlerinin bulunmasına geçilmiştir.

Şekil 4’de kritik kesitler ve numaraları yazmakta, gösterilen ok yönleri çözüm yapılırken artı yön kabullerini göstermektedir.

Çıkan değerler eğer negatif olursa yön kabulümüzün tersi yönünde olduğu anlaşılmalıdır.

Kritik kesitler düğmesine basıldıktan sonra ekranda hesap sonuçları görülmektedir.



Şekil 4: Kritik kesitler

1.12.1 Statik Durum İçin

[B101] hücreesine; 1–1 kesitine gelecek olan kesme kuvveti,
 [C101] hücreesine; 1–1 kesitine gelecek olan moment değeri,
 [B103] hücreesine; 2–2 kesitine gelecek olan kesme kuvveti,
 [C103] hücreesine; 2–2 kesitine gelecek olan moment değeri,
 [B105] hücreesine; 3–3 kesitine gelecek olan kesme kuvveti,
 [C105] hücreesine; 3–3 kesitine gelecek olan moment değeri verilmektedir.

1.12.2 Depremlili Durum İçin

Depremlili durumda kritik kesitlere gelecek kesme kuvveti ve moment değerleri bulunduğundan sonra donatı hesabına geçilebilir.

1.13. İSTİNAT DUVARININ BETONARME HESABI İÇİN MALZEME ÖZELLİKLERİNİN SEÇİMİ

1.13.1 Beton Sınıfının Seçimi

Program iki farklı beton sınıfı için çözüm yapmaktadır. Programın hangi beton sınıfında çözüm yapması isteniyorsa ilgili beton sınıfını seçilmelidir.

Beton sınıfı seçildikten sonra;

[R8] hücresinde; hesaplarda kullanılacak olan beton sınıfının hesap basınç dayanımı yazılır (f_{cd}).

[R9] hücresinde; hesaplarda kullanılacak olan beton sınıfının hesap çekme dayanımı yazılır (f_{ctd}).

1.13.2 Donatı Sınıfının Seçimi

Program iki farklı donatı sınıfı için çözüm yapmaktadır. Duvarın hangi donatı sınıfında çözülmesi isteniyorsa ilgili donatı sınıfını seçilmelidir.

Donatı sınıfı seçildikten sonra;

[R13] hücresinde; hesaplarda kullanılacak olan donatı sınıfının hesap çekme dayanımı yazılır (f_{yd}).

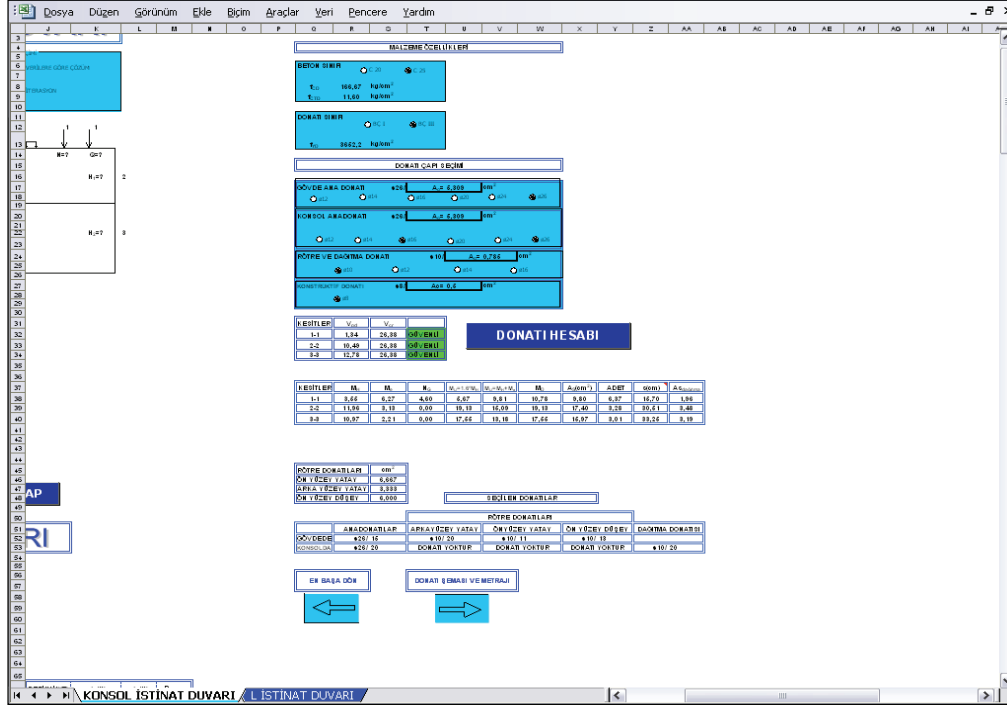
1.14 BETONARME HESABI İÇİN DONATI ÇAPı SEÇİMİ

1.14.1 Gövde Ana Donatı

Program 6 farklı gövde ana donatısı için hesap yapabilmektedir. İçlerinden sadece bir tanesi seçilerek gövdede kullanılacak olan donatı çapını belirlenebilir. İstenilen çap seçildikten sonra;

[S17] hücresinde; hesapta kullanılacak olan gövde ana donatısının çapı yazılır.

[U17] hücresinde; hesapta kullanılacak olan gövde ana donatısının alanı yazılır.



Şekil 5: Beton sınıfı seçimi ve donatı seçimi ve istinat duvarının donatılandırılması

1.14.2 Konsol Ana Donatı

Program 6 farklı konsol ana donatısı için hesap yapabilmektedir. İçlerinden sadece bir tanesi seçilerek konsolda kullanılacak olan donatı çapını belirlenebilmektedir. İstenilen çap seçildikten sonra;

[S20] hücreğine; hesapta kullanılacak olan konsol ana donatısının çapı yazılır..

[U20] hücreğine; hesapta kullanılacak olan konsol ana donatısının alanı yazılır.

1.14.3 Rötire ve Dağıtma Donatısı

Program 4 farklı rötire ve dağıtma donatısı için hesap yapabilmektedir. İçlerinden sadece bir tanesi seçilerek rötire ve dağıtmada kullanılacak olan donatı çapını belirleyebiliriz. İstenilen çap seçildikten sonra;

[T24] hücreğine; hesapta kullanılacak olan rötire ve dağıtma donatısının çapı yazılır.

[V24] hücresinde; hesapta kullanılacak olan rötire ve dağıtma donatısının alanı yazılır.

1.14.4. Konstrüktif Donatı

Program sadece 8 mm çapında konstrüktif donatı için hesap yapmaktadır.

[S27] hücreğine; hesapta kullanılacak olan konstrüktif donatının çapı yazılır.

[U27] hücresinde; hesapta kullanılacak olan konstrüktif donatının alanı yazılır.

Tanımlanmış olan donatı çaplarından daha farklı olan bir donatı kullanılmak istenirse; donatının kesit alanını yazan ilgili hücreye kullanmak istediğimiz donatının kesit alanı yazılarak istenilen donatının kullanılması mümkündür.

1.15 DONATı HESABı

Kullanılmak istenen malzemeleri ve donatı çaplarını seçtikten sonra donatı hesabı düğmesine basılır.

1.15.1 Kesme Kuvvetleri ve Kesme Dayanımları

İlgili kesitlere gelecek olan kesme kuvvetleri hesaplanmaktadır

[R32] hücresinde; 1–1 kesitindeki kesme kuvveti yazmaktadır.

[R33] hücresinde; 2–2 kesitindeki kesme kuvveti yazmaktadır.

[R34] hücresinde; 3–3 kesitindeki kesme kuvveti yazmaktadır.

İlgili kesitlerin kesme dayanımları hesaplanmaktadır.

[S32] hücresinde; 1–1 kesitinin kesme dayanımı yazmaktadır.

[S33] hücresinde; 2–2 kesitinin kesme dayanımı yazmaktadır.

[S34] hücresinde; 3–3 kesitinin kesme dayanımı yazmaktadır.

Eğer ilgili kesitin kesme dayanımı o kesite gelecek olan kesme kuvvetinden fazla ise güvenli yazmaktadır.

1.15.2 Kesitte Kullanılacak Olan Donatı Alanları, Adetleri ve Aralıkları

İlgili kesitte yüklemelerden dolayı gelecek olan moment kuvvetleri ilgili hücrelere yazılmıştır.

Farklı kombinasyonlarla donatı hesabı için kullanılacak olan moment kuvveti hesaplanır ve bu moment kuvvetine göre gerekli olan donatı alanı, kaç adet gerektiği, donatı aralıkları hesaplanmış olur.

1.15.3 Seçilen Donatılar

Gerekli hesaplar sonucunda kesit için gerekli olan donatı alanı, aralığı ve adeti hesaplanmıştır.

Minimum donatı alanı, maksimum donatı aralığı vb. mühendislik şartları dikkate alınarak en sonunda seçilen donatılar ilgili hücrelere donatı çapı ve aralığı tipinde hesaplanarak yazılmıştır.

1.16 DONATI ŞEMASI

Seçilen donatılar örnek bir şekil üzerinde gösterilerek daha anlaşılır bir hale getirilmiştir.

Şekil 6’de seçilen donatıların çapları ve aralıkları yazmaktadır.

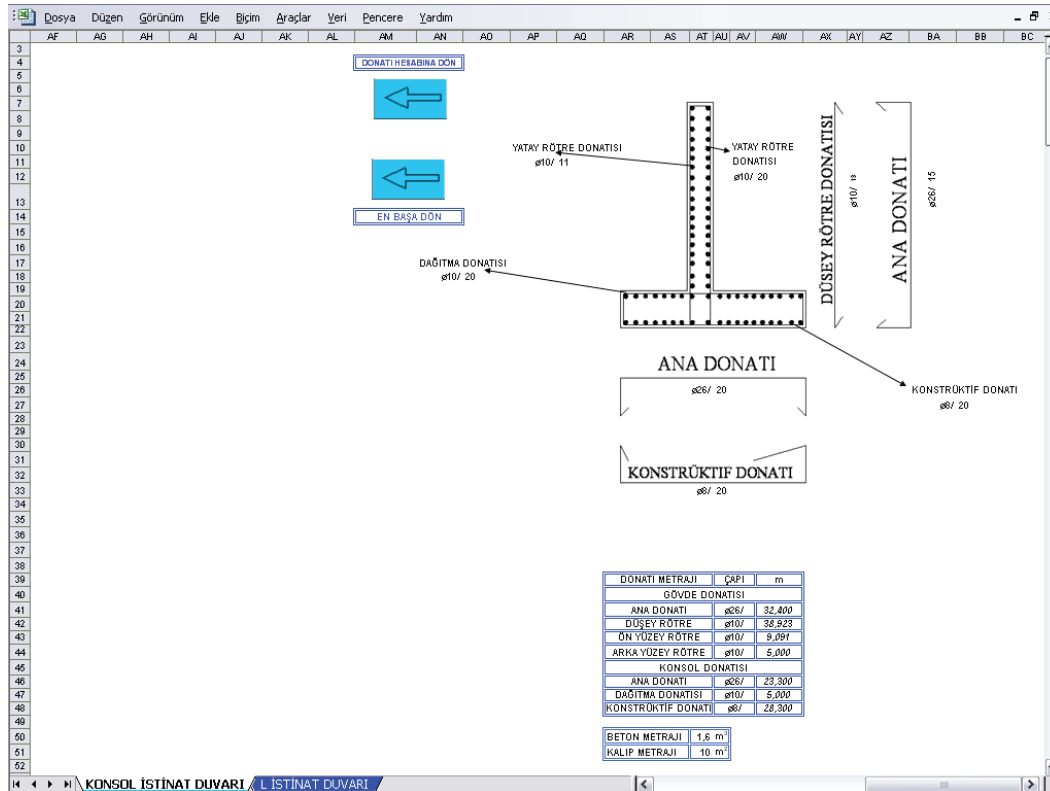
1.17 METRAJ

Betonarme hesabı tamamlanmış olan bir istinat duvarının imalatına geçilebilir. Bunun için hangi kalemden ne kadar kullanılacağını bilmesi gerekmektedir.

Excel VBA da hazırladığımız bu program duvarın 1 metrelik kısmı için donatı, beton ve kalıp metrajlarını yapabilmektedir.

İlgili hücrelerde gövdede ve konsolda kullanılan donatı çapları ve bunların metre ve kilogram biriminde metrajları yazmaktadır.

İlgili hücrelerde de beton (m³) ve kalıp (m²) metrajları yazmaktadır.



Şekil 6. Donatı şeması

2.İSTİNAT DUVARI TİPİNİN (EN UYGUN DUVAR) SEÇİMİ

Program kullanılarak farklı zemin koşullarında ağırlık istinat duvarı ve betonarme konsol istinat duvarları çözümü yapılmıştır. Aynı yükseklikteki konsol ve ağırlık istinat duvarlarının maliyetleri hesaplanarak hangi yükseklikten sonra hangi duvar tipinin uygun olacağı belirlenmiştir. Güvenlik sayıları her ikisinde de kurtarana kadar duvar yükseklikleri hariç duvar boyutları değiştirilerek uygun duvar boyutları bulunmuştur ve maliyet analizi yapılmıştır.

Maliyet analizi yapılırken 2007 Birim Fiyatlarından yararlanılmıştır.

Hesaplarda kullanılan birim fiyatlar şöyledir.

KONSOL İSTİNAT DUVARI İÇİN

BS25, satın alınan ve beton pompasıyla basılan hazır beton => 98,79 YTL / m³

Düz yüzeyli beton ve betonarme kalıbı=> 13,60 YTL / m²

Betonarme çelik çubukların yerine konması ve bükülmesi => 1451,56 YTL / ton

AĞIRLIK İSTİNAT DUVARI İÇİN

Ocaktan çaplanmış moloz taş ile 200 dozlu çimento harçlı kargir inşaat yapılması

=> 117,23 YTL / m³

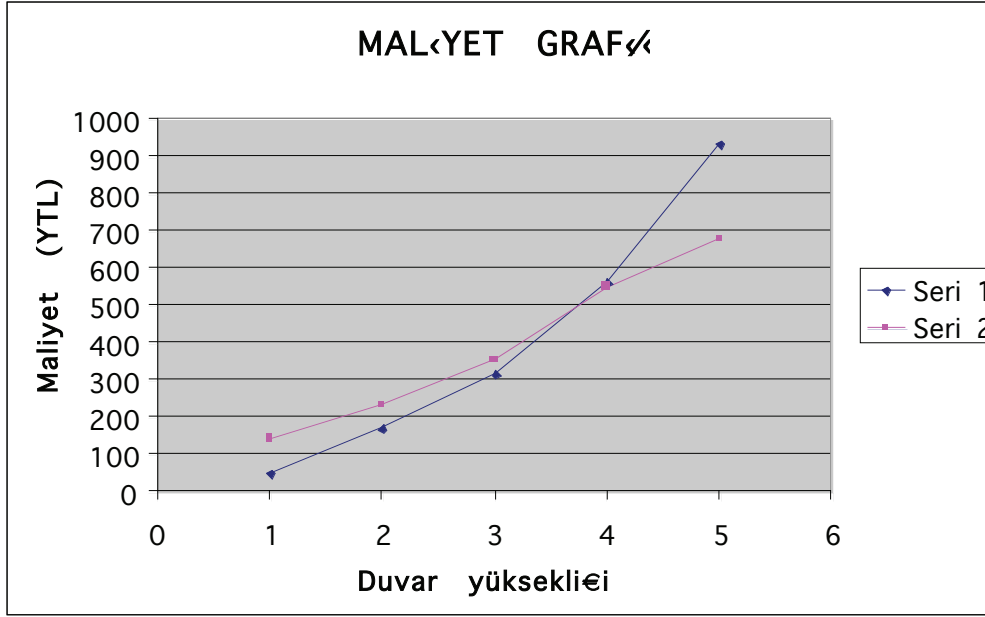
Taşın taşıtlara yüklenmesi ve boşaltılması => 5,16 YTL / m³

İş iskelesi fiyatları hesaba dâhil edilmemiştir.

Bu verilere göre 5 metreye yüksekliğe kadar istinat duvarlarının maliyetleri hesaplanmış ve Tablo 1’de ve grafik olarak Şekil 7’ de verilmiştir.(Duvar uzunlukları 1 m alınmıştır.)

Tablo 1: Duvar tipleri ve maliyet analizi

Ağırlık İstinat Duvarı		Konsol İstinat Duvarı	
<i>Yükseklik</i>	<i>Maliyet</i>	<i>Yükseklik</i>	<i>Maliyet</i>
<i>m</i>	<i>YTL</i>	<i>m</i>	<i>YTL</i>
1	49	1	141
2	171	2	230
3	315	3	352
4	561	4	551
5	936	5	676



Şekil 7: Maliyet grafiği (SERİ 1: Ağırlık İstinat Duvarı SERİ 2: Konsol İstinat Duvarı)

Serilerin kesişim noktası yaklaşık olarak 3,8 metreye denk gelmektedir. Bu durum yaklaşık 4 m den sonra betonarme konsol istinat duvarı yapılması tercihine gidilmelidir.

3 . SONUÇ ve ÖNERİLER

Hazırlanan program 5 farklı duvarın çözümünü yapabilmektedir. Bu duvar tipleri:

- 1 Betonarme konsol İstinat Duvarı
- 2 L Konsol İstinat Duvarı
- 3 Ağırlık İstinat Duvarı
- 4 Tek Tarafa Eğimli Ağırlık İstinat Duvarı
- 5 İki Tarafa Eğimli Ağırlık İstinat Duvarı

İstinat duvarına gelebilecek; zemin itkileri, deprem kuvvetini hesaplanmış ve bunlara bağlı olarak kritik kesitlerdeki kesme kuvveti ve moment değerleri elde edilmiştir.

Bulunan bu kesme kuvveti ve moment değerlerine göre konsol ve L konsol İstinat duvarlarının betonarme hesabı yapılmıştır. Betonarme hesabına göre duvarların metrajları yapılabilmektedir.

Ayrıca Konsol ve Ağırlık Tipi İstinat Duvarlarının aynı yükseklik için maliyetleri hesaplanmış ve hangi yükseklikten sonra ne tür istinat duvarının uygun olacağı bulunmuştur.

3.8 m yi aşan yüksekliklerde betonarme istinat duvarının daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

Yazılan programda; duvar arkasında ki yeraltı suyu, duvarın arkasına uygulanan drenajdan dolayı dikkate alınmamıştır, hafifletme konsolu yapılarak kritik kesitlerdeki kesme kuvveti ve moment değerleri azaltılabilmektedir. Ayrıca duvarın tabanına yapılan bir dış sayesinde kayma güvenliği daha iyi seviyelere çekilebilmektedir.

Programın geliştirilmesi açısından mevcut durum dikkate alınarak programın komutlarına ilave komutlar eklenip programın kapasitesi artırılabilir.

KAYNAKLAR

- 1- Birand A., Duvarlar, Teknik Yayınevi, 2006,Ankara
- 2- Celep Z.-Kumbasar N. , Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul 2005
- 3- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar hakkında Yönetmelik 2007
- 4- Duman K., Güdük D. İstinat Duvarlarının Excel VBA ile Programlanması Pamukkale Üniversitesi Diploma Çalışması, Yön: Y.Doç.Dr. Devrim ALKAYA, 2006, Denizli
- 5- Gürsoy Ş. – Durmuş A. Yapı-zemin etkileşiminin istinat duvarlarındaki rolü
- 6- http://geofoam.syr.edu/GRC_back.asp
- 7- Kumbasar V. – Kip F. Zemin Mekaniği Problemleri Çağlayan Kitabevi, İstanbul 1999.