

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

M.HANİFİ YILDIRIM

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

DONATILI ZEMİN ANALİZİ

İNŞAAT ANABİLİM DALI

ADANA, 2001

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DONATILI ZEMİN ANALİZİ

MEHMET HANİFİ YILDIRIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT ANABİLİM DALI

**Bu tez...05.../...11...../2001 tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.**

İmza

Doç.Dr. Mustafa LAMAN
DANIŞMAN

İmza

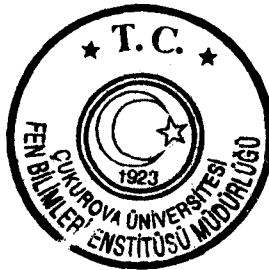
Doç.Dr. Hasan ÇETİN
ÜYE

İmza

Yrd.Doç.Dr. Cengiz Duran ATİŞ
ÜYE

Bu tez Enstitümüz İnşaat Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No: 1994



Prof.Dr. Melih BORAL
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DONATILI ZEMİN ANALİZİ

MEHMET HANİFİ YILDIRIM

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT ANABİLİM DALI

Danışman: Doç.Dr. Mustafa LAMAN

Yıl:Eylül /2002 Sayfa:89

Jüri: Doç. Dr. Mustafa Laman

Doç. Dr. Hasan ÇETİN

Yrd. Doç. Dr. Cengiz Duran ATİŞ

Orijinal kullanımına göre donatılı zemin, çekme gerilmelerine dayanan ve zeminle sürtünme veya adhezyon yoluyla etkileşen bir malzeme ile güçlendirilmiş zemin anlamına gelir. Bu terim aynı zamanda basınç güçlendirmesi ve çevre güçlendirmesi gibi mekanik ve yapısal zemin iyileştirme metodları için de kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, bazı araştırmacıların literatürde geçen donatılı zemin deneyleri incelenmiştir. Donatılı zemin problemlerini çözmek için qbasic’de bir program geliştirilmiştir. Bu problemler plaxis ve qbasic programları kullanılarak çözülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Donatılı-Donatısız Zemin, Kohezyon, İçsel sürtünme açısı, Toprakarme

ABSTRACT

MS THES

REINFORCED-EARTH ANALYSIS

MEHMET HANİFİ YILDIRIM

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa LAMAN

Year:2002, 89 Pages

Jury: Assoc. Prof. Dr. Mustafa LAMAN

Ass. Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ

Assoc. Prof. Dr. Hasan ÇETİN

According to its original usage, the term “reinforced soil” refers to a soil which is strengthened by a material able to resist tensile stresses and it interacts with the soil through friction or adhesion. Subsequently, the meaning of soil reinforcement was broadened, and this terms is now also used for other mechanical and structural methods of soil improvement,such as compressive reinforcement and reinforcement by confinement and encapsulation.

In this study, some experiments in reinforced soils given in the literature by some researchers are discussed. A programme code has been developed in qbasic to solve problems about reinforced soils. Some of the reinforced soil problems have been solved by using qbasic and plaxis programs.

Key words: Reinforced-soil, Cohezion, Reinforcement, Friction, Adhesion.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmam sırasında benden maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen değerli Hocam Doç. Dr. Mustafa LAMAN Bey'e en derin saygı, sevgi ve muhabbetlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	II
ABSTRACT.....	III
TEŞEKKÜR.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
1. Giriş.....	1
1.1. Donatılı Zemin Kavramı.....	1
1.2. Donatı Elemanları.....	1
1.3. Metal Elemanlar.....	2
1.4. Dolgu Malzemesi Özellikleri.....	5
1.5. Donatılı Zeminlerin Çalışma Mekanizması.....	7
1.5.1. Anizotropik Kohezyon (psödo-Kohezyon) Teorisi.....	8
1.5.2. Arttırılmış Çevre Basıncı Teorisi.....	14
1.6. Zemin ve Donatı Arasındaki Sürtünme İlişkileri.....	17
1.7. Etkili Donatı Uzunluğu.....	18
2. Önceki Çalışmalar.....	23
2.1. Donatılı Zemin Numuneler Üzerinde Yapılan Deneysel Çalışmalar ve Sonuçların Yorumu.....	23
2.1.1. Verma ve Char-1978.....	23
2.1.2. Hoare-1979.....	24
2.1.3. Andersland ve Khattak-1979.....	24
2.1.4. Gray ve Ohashi-1983.....	25
2.1.5. Mc. Grown-1985.....	27
2.1.6. Gray ve El Refai-1987.....	27
2.1.7. Arenicz ve Chowdhury-1988.....	28
2.1.8. Shewbridge ve Sitar-1989.....	29
2.1.9. Maher ve Gray-1990.....	29
2.1.10. Lawton-1993.....	30

2.2.Donatılı Zeminlerde CBR, Secant Modülü, Resilient Modülü ve Kayma Mukavemeti Deneysel İlişkileri.....	30
2.2.1.Zemin Özellikleri.....	30
2.2.2.Donatı Malzemesi Özellikleri.....	31
2.2.3.CBR Deneyleri.....	31
2.2.4.Resilient Modülü Deneyleri.....	33
2.2.5.Direkt Kesme Deneyi.....	35
2.2.6.Deney Sonuçlarının İrdelenmesi.....	36
2.3.Donatılı Zemin Dayanma Yapılarının Arazi Davranışlarının Tam Ölçekli Deneylerle Saptanması.....	43
2.4.Donatılı Zemin Uygulama Alanları.....	50
3.Materyal ve Metot.....	58
3.1.Plaxis Paket Programı Hakkında Bilgi.....	58
3.2.Girdi Özellikleri.....	58
3.2.1.Geometri Modellerinin Grafik Özellikleri.....	58
3.2.2.Otomatik Ağ Oluşturma.....	59
3.2.3.Yüksek Mertebeli Elemanlar.....	59
3.2.4.Kirişler.....	59
3.2.5.Kiriş Mafsalları.....	59
3.2.6.Birleşim Elemanları.....	60
3.2.7.Ankrajlar.....	60
3.2.8.Geotekstiller.....	60
3.2.9.Tüneller.....	60
3.2.10. Sınır Şartları.....	61
3.2.11.Yükler.....	61
3.3.Zemin Davranışları.....	61
3.3.1.Malzeme Bilgileri.....	61
3.3.2.Mohr Coulomb Modeli.....	62
3.3.3.Lineer Elastik Model.....	62
3.3.4.İleri Zemin Modelleri.....	62
3.3.5.Sabit Boşluk Suyu Basıncı.....	63

3.3.6. Yüzey Suyu Akış Analizi.....	63
3.3.7. Phreatic Doğrular.....	63
3.3.8. Aşırı Boşluk Suyu Basıncı.....	64
3.3.9. İlk Gerilme Oluşumu.....	64
3.4. Hesap Özellikleri.....	64
3.4.1. Plastik Hesap.....	64
3.4.2. İnşaat safhaları.....	65
3.4.3. Konsolidasyon.....	65
3.4.4. Geliştirilmiş Lagranj Analizi.....	65
3.4.5. Güvenlik Faktörü.....	66
3.4.6. Hesap Yöneticisi.....	66
3.4.7. Otomatik Yük Adımları.....	66
3.4.8. Yay Uzunluğu Kontrolü.....	66
3.5. Çıktı Özellikleri.....	67
3.5.1. Deformasyonlar.....	67
3.5.2. Gerilmeler.....	67
3.5.3. Yapı Kuvvetleri ve Deplasmanlar.....	67
3.5.4. Enine Kesit.....	68
3.5.5. Yük Deplasman Eğrileri ve Gerilme İzi	68
3.6. Plaxis Hakkında Bilgi.....	68
3.6.1. Girdiler ve Hesaplamalar.....	69
3.7. Donatılı Zemin Hesabı.....	70
3.8. Kopma Tahkiki	72
3.9. Sıyırılma Tahkiki.....	72
3.10. Problem.....	74
3.11. Q Basic Bilgisayar Programı.....	74
3.12. Q Basic Bilgisayar Programı Sonuçları.....	77
4. Bulgular ve Değerlendirmeler.....	78
4.1. Plaxis' de Sınır Şartlarının Araştırılması.....	78
4.2. Şerit Parametreleri.....	79
4.3. Duvar Parametreleri.....	79

4.4.Zemin Parametreleri.....	80
4.5.Q Basic Sonuçlarının Plaxis’ le Mukayese Edilmesi.....	81
4.6.Betonarme Duvar Tahkiki.....	85
4.6.1.Eğilme Tahkiki.....	85
4.6.2.Kesme Tahkiki.....	85
5.Sonuç ve Öneriler.....	86
5.1.Sonuçlar.....	86
5.2.Öneriler.....	87
KAYNAKLAR.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	89



1.Giriş

1.1. Donatılı Zemin Kavramı

Donatılı zemin, zeminin kritik yönlerdeki mukavemetini arttırmak amacı ile içerisine çekmeye dayanıklı ve zeminle arasında yeterli sürtünmeye sahip metal veya polimer malzemelerden üretilmiş geotekstiller yerleştirilerek elde edilen kompozit bir malzeme olarak tanımlanabilir. Donatılı zeminlerin kayma mukavemeti, zeminin özelliklerine bağlı olduğu kadar donatı malzemesi özelliklerine ve donatı yerleşim düzenine de bağlıdır. Bu yüzden donatılı zeminlerin istenilen davranışı sağlaması için donatı malzemesi çekme mukavemeti ve donatı malzemesi ile zemin arasındaki sürtünme katsayısının yeterli büyüklükte olması, ayrıca donatıların zemin içerisine asal çekme birim deformasyonları doğrultusunda yerleştirilmeleri gerekmektedir.

Donatılı zeminin iç yapısı ve çalışma sistemi benzersiz ve karmaşıktır. Sistem davranışını belirleyici amaçlı çalışmalar, gerçek boyuttaki yapıların küçültülmüş model laboratuvar çalışmalarında gerçek boyuttaki yapıların incelenmesine ve sonlu elemanlar metodu da dahil olmak üzere bilgisayara uyarlanmış matematik çalışmalara kadar değişik ve gelişmiş yöntemleri içermektedir.

Donatılı zemin kompozit bir malzeme olarak tanımlandığına göre, donatılı zemin çalışma mekanizmasının iyi anlaşılabilmesi için bu kompozit malzemeyi oluşturan iki temel ögenin yani donatı malzemesi ve zemin özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir.

1.2. Donatı Elemanları

Donatılı zemin uygulamalarında kullanılan donatı elemanlarını başlıca iki gruba ayırarak incelemek mümkündür.

Bunlar;

Metal Elemanlar ve Polimer elemanlardır. (Bu çalışmada sadece metal donatılar incelendiğinden polimer donatılardan bahsedilmemiştir)

Donatı elemanları toprağa gömülü olduklarından, projelendirme aşamasında ilk düşünülmesi gereken konu elemanların duraylılığı, dolayısıyla servis ömürleridir. Bu durum özellikle taşıyıcı özellik gösteren donatılı zemin uygulamalarında bir kat daha önem kazanmaktadır. Bu nedenle günümüzde polimer - geotekstil türde uygulamalar daha sık yapılmaktadır.

1.3. Metal Elemanlar

Donatı malzemesi olarak metal elemanların kullanılması halinde inşaat mühendisi olarak karşımıza çıkacak olan en önemli sorun duraylılık yani donatı elemanlarını servis ömürleri olacaktır. Zira projelendirme aşamasında en sık karşılaşılan soru – Ne kadar dayanabilir? sorusu olmaktadır. Donatılı zemin yapıların 75-100 yıllık servis ömürlerine göre projelendirildikleri düşünülürse ve metal elemanların er geç paslandığının bilindiği göz önüne alınırsa, proje aşamasında metal elemanların kalınlıklarının tespit edilmesi en önemli noktayı teşkil edecektir. Donatı kalınlıkları çevre şartlarına ve taşıyacakları yük miktarlarına göre genellikle 3-9 mm. arasında değişmektedir. Yapısal elemanların paslanması gibi inkar edilemeyen ve görünüşe göre önceden tahmin etmenin mümkün olmadığı bir şekilde gelişen korozyona karşı donatıların nasıl boyutlandırılacağı, güvenlik payının ne olacağı ve eğer tahminler doğru çıkmazsa sonuçların neler olabileceğinin düşünülmesi ve bu sorulara cevap verilmesi gereklidir. Bu sorulara cevap verebilmek için öncelikle paslanma mekanizmasını iyi anlamak, bu konu üzerindeki çeşitli teorik çalışmalara bakmak ve mevcut gerçek verileri incelemek gerekmektedir. Bu inceleme yapılırken olaya yalnızca bir inşaat mühendisinin ihtiyacı olacak kadar yaklaşılacaktır.

Ancak mekanizmanın açıklanmasından önce, toprağa gömülen elemanın şeklinin servis ömrüne etkisinin de önemli olduğu unutulmamalıdır. Örneğin toprağa gömülü dairesel kesitli metal bir boru cidar derinlemesine paslanmaya uğrarsa boruda sıvı ve basınç kaybı olacağından kullanılamaz hale gelecektir. Oysa şerit veya

levhasal tipteki bir elemanda benzer noktasal paslanma, gerilmeye direnen en kesiti azaltma yönünden çok az etkili olacaktır. Bu yüzden aynı tip paslanma etkisiyle metal boru kullanılamaz hale gelirken, şerit görev yapabilir halde kalacaktır.

Paslanma elektrokimyasal bir olaydır. Belirli bir toprağın paslandırıcılığını kontrol eden faktörler iyi bilinmektedir, ancak başlangıç paslanması ve uzun süreli paslanmayı etkileyen çok sayıdaki iç ilişki faktörleri, özellikle de zaman içinde parametrelerin bir çoğunun değişeceği göz önüne alınırsa hizmet ömrü ve paslanmanın incelenmesini sonuçları kesin olmayan bir çalışma haline getirir. Kesin sonuçları önceden tahmin etmenin mümkün olmadığı konularda etki ve sonuçlar yönünden mümkün olan alt ve üst limitleri belirlemek ve kabul edilebilir bir emniyet faktörü sağlamak için ihtiyatlı bir mühendislik yargısı uygulamak gerekir. Zemine gömülecek metal donatıların paslanmasının incelenmesi için bu yaklaşım uygulanabilir.

Her cins zemin içindeki çeşitli metaller ve kaplamalar için detaylı arazi denemeleri 1910 yılında U.S. Ulusal Standartlar Bürosu (N.B.S.) tarafından başlatılmıştır. Bu denemeler 1955 yılına kadar sürmüştür ve yer altındaki paslanmalar konusundaki halen mevcut en kapsamlı ve en önemli bilgi kaynağı olmaya devam etmektedir. Bu nedenle söz konusu kaynak bu alandaki bütün ilgili bilim dallarının veri temelini oluşturmaktadır. Söz konusu çalışmanın sonuçlarına kısaca bakmak bu nedenle faydalı olacaktır.

N.B.S. denemelerinde demirli ve demirsiz metal örnekleri 128 değişik noktada zemine gömülmüştür. Kaplamasız ve galvaniz kaplamalı çelik donatı numuneleri, zemin ve su şartları birbirinden farklı olan ancak A.B.D.' deki zemin şartlarını temsil eden 47 noktada denenmiştir. Her deney alanındaki rezistivite ve pH değerleri ölçülebilir ancak zamana ve çevre şartlarına göre değişebilen parametrelerle metal kaybı arasında sayısal bir korelasyon sağlayabilmek amacıyla kaydedilmiştir. N.B.S. çalışmasının yürütücüsü olan Romanoff, paslanmanın ilk yıllarda yüksek olduğunu ve daha sonra çok daha düşük ve sabit bir hıza düştüğünü

göstermiştir. Yazar paslanmadaki bu yavaşlamanın başlangıçtaki hızlı gelişmelerden daha önemli bir parametre olduğunu belirtmiştir.

Reinforced Earth gurubu galvanizli çeliğin paslanması konusundaki çalışmaları derinleştirmiş ve yeni bir çalışma olarak 1988’de Darbin-Jailoux-Montuelle ortak çalışmasıyla Kuru Yapılar Şartnamesi’ne uygun olarak yarı-doygun zeminler için elektrokimyasal deneyler yapılmıştır. Bu çalışmada amaç, projelendirmeye esas zamana bağlı kalınlık kaybının hesaplanabilmesi için extrapolasyon eğrileri elde edebilmektir.

Aşağıda görülen birinci extrapolasyon eğrisi demir metali için ikinci extrapolasyon eğrisi ise çinko metali için çıkarılmış deney sonuçları olup tek bir yüz için zamana bağlı kalınlık kaybı (Δe) hesabı için kullanılmaktadırlar. Buna göre 1000 ppm sülfat içeren bir zemine gömülü;

$$\text{Demir metali için kalınlık kaybı: } \Delta e = 25xt^{0.65} \quad (1.1)$$

$$\text{Çinko metali için kalınlık kaybı } \Delta e = 2.8xt^{0.65} \quad (1.2)$$

Formülde t, yıl olarak yapının servis ömrünü göstermektedir.

Buna göre, 100 yıllık servis ömrüne göre projelendirilecek olan bir demir donatı için kalınlık kaybı iki yüz için 1mm olarak hesaplanmaktadır. Uygulamada bu miktar %50 oranında arttırılarak paslanma payı 1.5 mm olarak kabul edilmektedir. Böylece projeci şeridini mukavemet hesaplarında 3.5 mm olarak alacaktır.

1.4. Dolgu Malzemesi Özellikleri

Donatılı zemin yapılarda kullanılacak dolgu malzemesi, belirli özellikleri sağlamalıdır. Bu nedenle dolgu olarak kullanılacak malzemenin seçiminde aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

- a) Yapının uzun süreli stabilitesi.
- b) Yapım sırasındaki kısa süreli stabilite.
- c) Dolgu malzemesinin fizikokimyasal özellikleri.

Zeminde oluşacak hacimsel genişlemeye uyabilecek şekilde sıkıştırılabilen dolgu türleri, donatılı zemin yapıları için en uygun olanıdır. Özellikle bu malzemelerin drenajlarının iyi olması halinde, her tabaka dolgu yerleştirildiğinde donatı şeridi ve dolgu malzemesi arasındaki etkili normal basınç yayılımı derhal gerçekleşecek ve kesme mukavemetindeki artış düşey yüklemenin gerisinde kalmayacaktır. Donatılı zemin yapılarıdaki normal yükleme şartlarında granüler malzemeler, elastik malzemeler gibi davranırlar. Bu nedenle çalışma basınçlarına göre projelendirilmiş yapılarda iç sıkışmalar veya oturmalar beklenmemelidir.

Diğer taraftan ince daneli malzemeler, yalnız başlarına tam olarak uygun değildir. Genelde drenaj özellikleri düşüktür ve etkili basınç yayılımı derhal meydana gelmez ve böylece yavaşlatılmış bir yapım hızı veya yapım sırasında kabul edilmeyecek kadar düşük güvenlik faktörü uygulamayı gerektirir. İnce daneli malzemeler çoğunlukla elastoplastik veya plastik gibi davranarak yapım sonrası hareket ihtimalini artırırlar.

Bununla birlikte eğer ince daneli malzemenin mukavemetinin bir bölümü, içinde yer alan kilden kaynaklanıyorsa yapının güvenliğini hesaplamakta kullanılan rasyonel projelendirme yöntemleri bu durumda uygulanamaz. Böylesine zıt özellikler nedeniyle donatılı zemin yapımında kullanılacak olan granüler ve ince daneli malzemeleri ayıran sınırın belirlenmesi gereklidir.

Öte yandan dolgu malzemesi olarak kohezyonlu zemin türlerinin seçilmesi üzerine son yıllarda yapılan deneysel araştırmalar ve sonlu elemanlar analizleri, bu tür dolguların donatılı zemin yapılarda kullanılabileceğini ancak bunun bazı şartları olduğunu ortaya koymuştur.

Bu tür zeminlerin dolgu malzemesi olarak seçilmesinin en önemli faydası, maliyeti önemli ölçüde düşürmesidir. Fakat bu tür malzemelerin en önemli dezavantajı plastik özellik gösterip akma gibi uzun süreli deformasyonların (özellikle ıslak durumda) ortaya çıkabilmesidir. Bu konu üzerindeki ayrıntılı çalışmalar ikinci bölümde anlatılacaktır. Ayrıca bu tür dolgular içerisinde metalik türde donatı elemanlarının kullanılması halinde korozyon olayının etki derecesi de artmaktadır.

Bu tür dolguların geçirgenlik özelliği de çok zayıf olduğundan örneğin bir donatılı zemin istinat yapısına gelen yatay su basıncı bir hayli yüksek olmakta ve bu malzeme kullanıldığında bu önemli sorun nedeniyle ek olarak bazı önlemler alınması gerekmektedir.

Dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı ne kadar küçük olursa donatı malzemelerine ve dolayısıyla da örneğin duvar yüzeyine gelen yatay toprak etkisi de o derece büyük olmaktadır. Bunun sebebi donatılarla dolgu zemini arasındaki zahiri sürtünme katsayısının zeminin içsel sürtünme açısıyla doğru orantılı olmasıdır.

1.5. Donatılı Zeminlerin Çalışma Mekanizması

Eksenel yükle yüklenmiş olan granüler malzemelerde yanıl genişlemeler oluşmakta ve buna bağılı olarak da yanıl gerilmeler düşey gerilmelerin yarısından daha büyük bir şiddette ortaya çıkmaktadır. Diğer yandan, zemin içersine uzama özelliğı ihmal edilebilecek kadar düşük olan donatı elemanları yanıl genişleme doğrultusuna paralel olarak yerleştirildiklerinde donatılar, kendileriyle zemin arasında sürtünme etkisiyle yanıl gerilmeyi önlemekte ve sistemin davranışı, sanki bir yanıl dayanma kuvveti veya yük zemin yüzeyine etkıyor gibi olmaktadır. Zemin yüzeyine geldiğı varsayılan bu yatay yük pasif toprak basıncına ($K_p \times \sigma_v$) eşittir. Zemin elemanlarından her biri buna eşit bir yatay basınç tarafından etkilenir ve bu nedenle düşey basınçlar arttıkça bu yatay kuvvetle doğru orantılı olarak artar. Böylece içsel sürtünme açısının (θ) herhangi bir değeri için (granüler malzemelerde) Mohr gerilme dairesi, bütün noktalarda kopma eğrisinin çok altında yer alır ve dengenin bozulması (kırılma durumu), sadece zeminle donatı arasındaki sürtünmenin kaybı veya donatıların kopması nedeniyle ortaya çıkar.

Donatılı zemin yapıların tasarımındaki en önemli hesaplar, donatılar tarafından karşılanması gereken yanıl veya gerilme basınçlarının belirlenmesine ilişkin olanlardır. Aşırı basınçlar, donatılarda gerilme kopmalarına ve yapının tümüyle göçmesine neden olabilir.

Zemin ve donatılar arasındaki kayma direncine ilişkin hesaplar ise, donatının zemin içersindeki hareketi sadece basınçların yeni bir biçimde dağılması ve kütlenin yavaş deformasyonuna neden olacağı için daha az kritiktir.

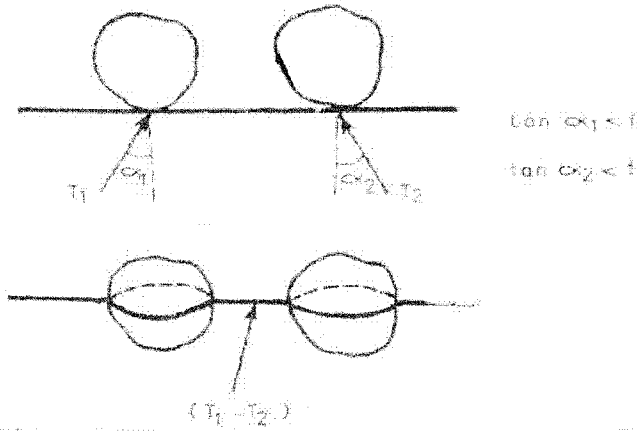
En genel olarak, içersine donatı malzemesi yerleştirilen bir kohezyonsuz zeminde meydana gelen mukavemet artımı anizotropik kohezyon teorisi ve artırılmış çevre basıncı teorisi olarak isimlendirilen iki farklı teori ile açıklanmaktadır.

1.5.1 Anizotropik Kohezyon (Psödo-Kohezyon) Teorisi

Vidal (1978), psödo – kohezyon kavramını, donatı şeridi ve ona temas eden iki zemin danesini göz önüne alarak açıklamıştır (Şekil 1.1). Eğer, donatı ile daneler arasındaki temas kuvvetlerinin (T_1, T_2) donatı normal düzlemiyle yaptıkları açılar (α_1, α_2) zemin donatı sürtünme açısından küçük ise donatı $dT = T_1 - T_2$ kuvvetine eşit bir kuvvetle iki deneyi birbirine çekiyormuş gibi etkir. Sürtünme direnci aşılmadığı sürece daneler birbirine bağlıymış, diğer bir ifadeyle kohezyona sahipmiş gibi davranırlar.

Bu konuda, Schlosser ve Long (1972) tarafından donatılı kum numuneleri üzerinde yapılan üç eksenli basınç deneyi sonuçları Şekil (1.2)' de gösterilmiştir. Şekil (1.2)' den de görüleceği gibi çevre basıncının belli bir değerinde ($\sigma_3 > 50-100$ kN/m²) sonra kırılma anındaki düşey gerilmelerde sabit bir artım ($\Delta \sigma_1$) gözlenmiştir. Yenilme sonrası (post-failure) davranışları incelendiğinde donatıların koptuğu görülmüştür.

Donatı kopması durumunda, donatılı ve donatısız kum numunelerinin kırılma zarflarının birbirine paralel olması ve dolayısıyla kayma mukavemeti açılarının değişmemesi nedeniyle donatılı kum numunelerinde gözlenen mukavemet artımı görünür anizotropik bir kohezyon (C') ile açıklanmıştır.



Şekil 1.1. Donatılı Zeminde Psödo-Kohezyon oluşumu (Vidal, 1978)

Schlosser ve Long (1974), donatılı zeminler için kırılma zarfını ;

$$\sigma'_1 = K_p \sigma'_3 + \Delta \sigma'_1 \quad (1.3)$$

eşitliği ile tanımlamışlardır. Bu ifade bir $c'-\phi'$ zemini için Rankine-Bell eşitliği;

$$C'_1 = K_p \sigma'_3 + 2 \sqrt{K_p} \quad (1.4)$$

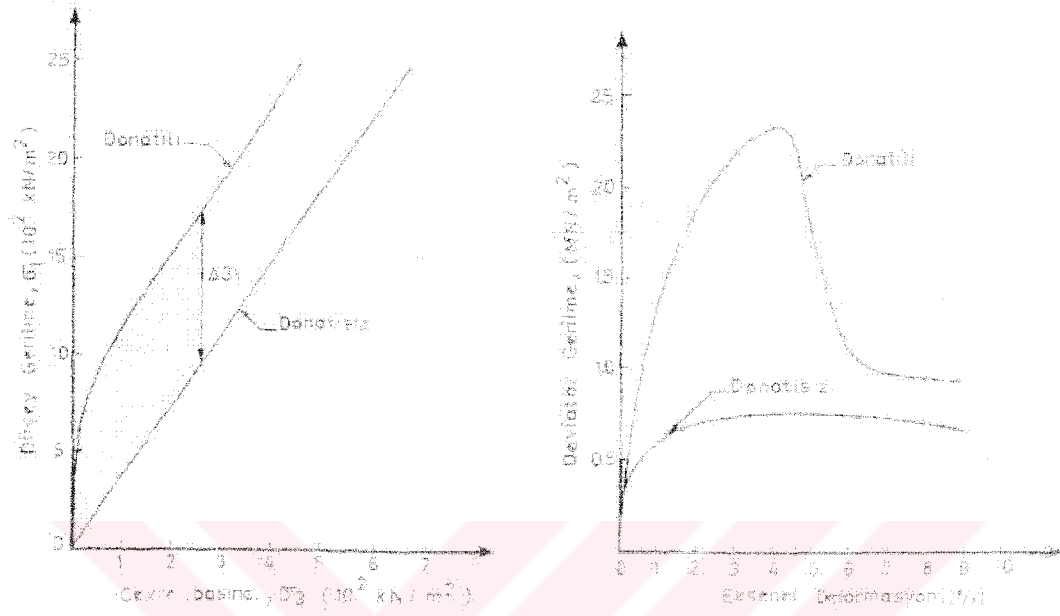
ile karşılaştırılırsa psödö-kohezyon terimi;

$$C' = \Delta \sigma'_1 / 2 \sqrt{K_p} \quad (1.5)$$

olarak elde olunur. Burada;

$$K_p = \frac{\tan^2(45 + \frac{\phi}{2})}{2} \quad (1.6)$$

olup, pasif toprak basıncı katsayısıdır. Aynı araştırmacılar, eksenel simetrik yüklenmiş silindirik bir donatılı zemin numunesinde kuvvetler dengesi analizi ile psödö-kohezyon değerini;



Şekil 1.2. Donatılı ve Donatısız Kumda Üç Eksenli Basınç Deneyi Sonuçları (Schlosser ve Long, 1972)

$$C' = T \sqrt{Kp} / 2 \Delta h \quad (1.7)$$

olarak hesaplamışlardır (Ingold, 1982). Burada;

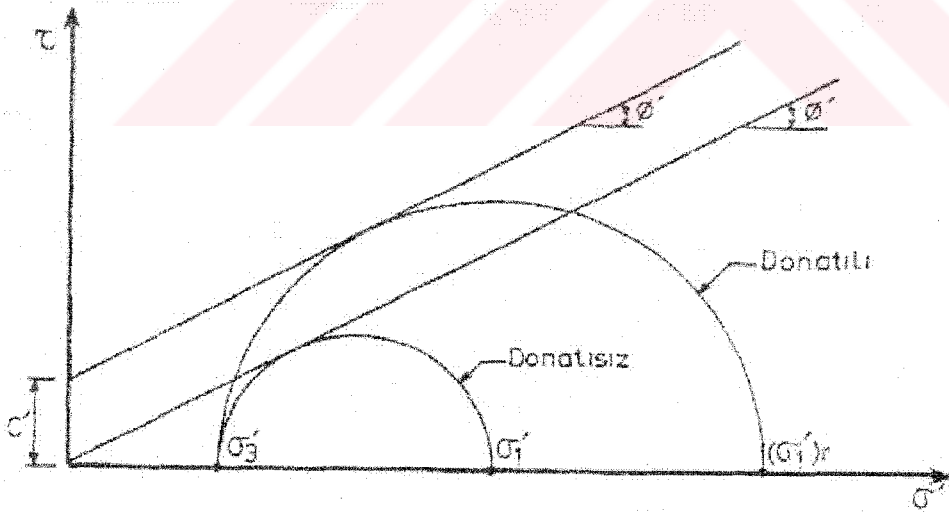
T : Donatı çekme mukavemeti,

Δh : Düşey donatı aralığıdır.

LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) kohezyon teorisi olarak da bilinen yukarıdaki açıklamalardan, aynı σ_3 çevre basıncında donatılı zemin numunelerine oranla daha büyük bir σ_1 düşey gerilmesinde kırılacağı ve Mohr

daresinin (σ'_3 , σ'_{1r}) değerlerinden geçeceği söylenebilir. Bu durumda T eksenini C' değerinde kesen ve yatayla yaptığı açı ϕ' olan bir doğru bulunur. (Şekil 1.4).

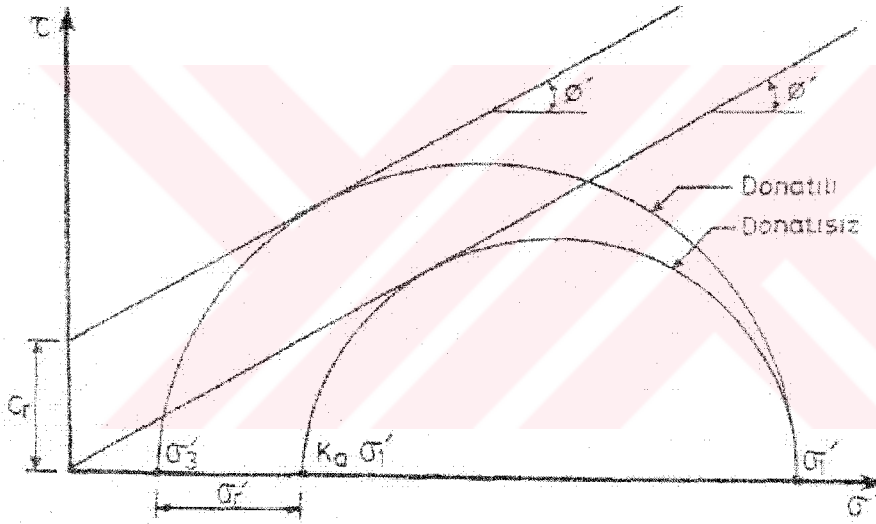
Hausmann tarafından New South Wales (NSW) Teknoloji Enstitüsü'nde yürütülen bir seri araştırmalar sonucunda da donatılı kohezyonsuz zeminlerde psödo-kohezyon oluşumu savunulmuş ve gerek donatı kopması gerekse donatının zeminden sıyrılması ile oluşan göçme durumları



Şekil 1.3 LCPC Kohezyon Teorisine Göre Donatılı Kohezyonsuz Zeminlerde Kırılma Zarfı (Schlosser and Long, 1972)

için NSW Kohezyon Teorisi olarak da bilinen teori geliştirilmiştir .

Bu teoriye göre, donatılı kohezyonsuz zeminlerde donatı kopması ile meydana gelen göçme durumunda, zeminin yanal genişlemesi, değeri statik olarak zemin-donatı arasındaki sürtünme kuvvetine eş bir “ σ_1 sabit ön gerilmesi” doğurur. Bu ön gerilmenin maksimum değeri ise donatı malzemesinin çekme mukavemeti ile tayin olunur. Sabit bir ön gerilme altında kayma mukavemetindeki artım c_r psödo-kohezyon değeri ile sağlanır.



Şekil 1.4. Donatılı Kohezyonsuz Zeminlerde Sabit σ_r Öngerilmesi Altında Göçme.
(Schlosser and Long, 1972)

donatılı zemin numunelerinde oluşacak asal gerilme değerleri;

$$\sigma_3' + \sigma_r' = K_a \sigma_1' \quad (1.8a)$$

$$\sigma_1' = (\sigma_3' + \sigma_r') K_p \quad (1.8b)$$

eşitlikleri ile vermektedir. (1.8b) ve (1.2) No' lu eşitliklerden psödo-kohezyon değeri;

$$C_r = \sigma_r' \sqrt{Kp} / 2 \quad (1.9)$$

olarak bulunur. Şerit donatılı bir zemin elemanı göz önüne alınırsa, sabit öngerilme değeri;

$$\sigma_1' = \sigma A / BH \quad (1.10)$$

olarak hesaplanabilir. Bu eşitliklerde;

- K_a, K_p : Aktif toprak basıncı katsayıları ,
- A : Şerit donatı enkesit alanı,
- σ : Donatının nihai çekme mukavemeti
- H, B : Numune boyu ve genişliği

anlamlarını taşımaktadır.

(1.10) No' lu eşitlik ile hesaplanan σ_r' değeri (1.9) No' lu denklemde yerine konursa, psödo-kohezyon değeri;

$$C_r' = \sigma A \sqrt{Kp} / 2 BH \quad (1.11)$$

Olarak bulunur ki bu da Schlosser ve Long tarafından önerilen (1.7) No' lu bağıntıyla özdeştir. Ancak, Schlosser ve Long, donatılarının σ_1' nü arttırıcı, bazıları ise σ_1' sabit olduğu halde σ_3'' nü Rankine aktif basıncından da daha küçük bir değere azaltıcı etki yapacağını savunmuşlardır. Aktif basınçtan daha küçük yanal

basınçlarda donatı kopmasından önce zeminin kendisi göçeceği için bu yaklaşımın hatalı yanları bulunmaktadır.

Donatıların zeminden sıyrılması ile oluşacak göçme durumunda, donatı boyunca doğacak sürtünme gerilmelerinin düşey gerilmeler ile orantılı olacağını varsayarak;

$$\sigma_r' = f \sigma_1' \quad (1.12)$$

eşitliği ile değişken bir ön gerilme tanımlanmıştır. Burada;

f : Zemin- Donatı sürtünme katsayısı

dır. Donatıların zeminden sıyrılması ile meydana gelen göçme durumunda, donatı etkisi, zeminin kayma mukavemeti açısını artırıcı yönde olur. Bu durumda, donatılı zeminin kayma mukavemeti açısı (ϕ_r');

$$\sin \phi_r' = \frac{K_a - f - 1}{f - K_a - 1} \quad (1.13)$$

bağıntısından hesaplanabilir .

1.5.2. Arttırılmış Çevre Basıncı Teorisi

Psödo-Kohezyon teorisinde, yatay olarak donatılı kum numunelerine üç eksenli basınç deneylerinde uygulanan düşey ve yatay gerilmeler (σ_1' , σ_3') asal ve numune boyunca üniform olduğu varsayılır. Ancak, numune alt ve üst başlıklarında oluşan sürtünme ve donatı boyunca doğan kayma gerilmeleri asal olmayıp gerilme nedeniyle σ_1' ve σ_3' gerilme dağılımı da üniform değildir. Yapılan bir seri deneysel çalışma sonucunda donatılı numunelerde küçük asal gerilmenin (σ_{3r}') uygulanan

çevre basıncından (σ_3') daha büyük olacağı ileri sürülmüştür. Yanal gerilmedeki bu artım şerit donatılı bir zemin numunesi için yaklaşık olarak;

$$\sigma_3' = A\sigma/BH = T/\Delta h \quad (1.14)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Bu ifade, (1.10) No' lu eşitlik ile özdeştir. Ancak σ_r' bir gerilme azalımı, $\Delta\sigma_3'$ ise bir gerilme artımıdır. Eğer, donatılı numuneler için küçük asal gerilmenin gerçek değeri kullanılarak Mohr dairesi çizilirse, $-\sigma$ eksen takımında kırılma zarfı, bu daireye teğet ve orijinden geçen bir doğru olur.

Bu konuda daha kapsamlı ve analitik çalışmalar yapılmıştır. Donatılı kum tanelerinde kırılma anında gözlenen düşey efektif gerilme artımına, artırılmış (eşdeğer) çevre basıncının ($\Delta\sigma_3'$) neden olacağını savunulmuş ve uygulanan herhangi bir σ_3' çevre basıncında kırılma anındaki düşey gerilme için:

$$\sigma_{1r}' = (\sigma_3' + \Delta\sigma_3') K_p \quad (1.15)$$

bağıntısını önerilmiştir. Böylece, uygulanan çevre basıncı (σ_3') değeri bilindiğine ve kırılma anındaki düşey gerilme (σ_{1r}') de ölçülebildiğine göre eşdeğer basıncı;

$$\Delta\sigma_3' = K_a \sigma_{1r}' - \sigma_3' \quad (1.16)$$

olarak hesaplanabilir.

Gray ve Al-Refeai (1986), donatılı kum numuneleri üzerinde yaptıkları üç eksenli basınç deneyleri sonucunda eşdeğer çevre basıncını;

$$\Delta\sigma_3' = \sigma_3' \Delta\sigma_1' / \sigma_1' \quad (1.17)$$

eşitliği ile vermişlerdir. Burada;

$\Delta\sigma_1'$: Kırılma anındaki büyük asal gerilme artımı ($\sigma_{1r}' - \sigma_1'$),

σ_1' : Donatısız zemin için kırılma anındaki büyük asal gerilme,

σ_3' : Uygulanan çevre basıncı

anlamlarını taşımaktadırlar.

(1.2) ve (1.15) No' lu eşitliklerden psödo-kohezyon ile eşdeğer çevre basıncı arasında ise;

$$\Delta\sigma_3' = 2C' \sqrt{Kp} \quad (1.18)$$

bağıntısı yazılabilir.



1.6. Zemin İle Donatı Arasındaki Sürtünme İlişkileri

Donatılı zemin kütlesi içerisindeki yatay gerilmeler için uygun güvenlik değerleri karşılaştırıldıktan ve enkesitler ile donatıların yatay ve düşey aralıkları belirlendikten sonra en önemli husus bu yatay yüklerin donatı elemanlarına etkin ve düzenli bir biçimde aktarılacağından emin olunmasıdır. Aynı zamanda, tamamlanmış bir yapıdaki güvenlik payı da belirli limitler arasında tahmin edilebilmelidir. Bu amaçla sürtünmeye ilişkin formülleri şöyle özetlemek mümkündür.

$$F_{sbağ} = [(2bxf^* xL_e x v) / [(K- v) x S_x - S_y] \quad (1.19)$$

Burada :

- b : Donatı genişliği
- f* : Zahiri sürtünme katsayısı
- L_e : Basınç transferinde etkili donatı uzunluğu
- K : Yatay toprak basıncı katsayısı
- S_x, S_y : Donatının etki alanı

Formülün çözümü, ait olduğu yapının geometrisinin yanı sıra zahiri sürtünme katsayısı seçimini, etkili donatı boyunu ve zemin yatay etkisinin bilinmesini gerektirir. Özellikle zahiri sürtünme katsayısının belirlenmesinin ayrı bir önemi vardır. Zahiri sürtünme katsayısının belirlenmesi için değişik deney yöntemleri söz konusudur. Bunlar:

- a) Zemin ile donatı malzemesi arasındaki direkt kesme deneyleri
- b) Donatı şeritlerinin donatılı zemin duvarlarındaki çekme (pull-out) deneyleri
- c) Dolgulardan donatı şeritlerinin çekme deneyi
- d) Model ölçeğindeki rijit hareketli duvarlardan donatı şeridi çekme deneyi

e) Model ölçeğinde donatı şeridi çekme deneyi.

olarak sayılabilir.

Kullanılan bütün test yöntemlerinin içinde uygulayıcı mühendisler açısından projelendirme parametrelerinin elde edilmesi için pratik olarak en uygun olanı direkt kesme deneyidir. Diğer deney yöntemleri daha hassas ve özel gereçler gerektirdiği ve sağlanacak ekonomi, masrafı karşılayamayacağı için genelde istenmez. Direkt kesme direncini etkileyen faktörler en azından tanımsal yönden temel zemin mekaniği kuramı ile uyumludur. Bu nedenle yoğunluk, kesme direnci, boşluk oranı ve gerilme durumu, gerçek yapıların projelendirilmesinde kullanılacak zahiri sürtünme katsayısının seçilmesi yönünden önemlidir. Donatı yüzeyinin niteliğinin hesaba katılması da aynı şekilde önem taşımaktadır.

Düz yüzeyli donatı elemanlarında direkt kesme deneyinden bulunan zahiri sürtünme katsayısı değerinin, kullanılacağı yapılardaki durumuna uygun şekilde gerilme şartlarındaki değeri seçilmelidir. Birçok halde bu değer, kalıcı kesme gerilmesi değerine eşit olmaktadır.

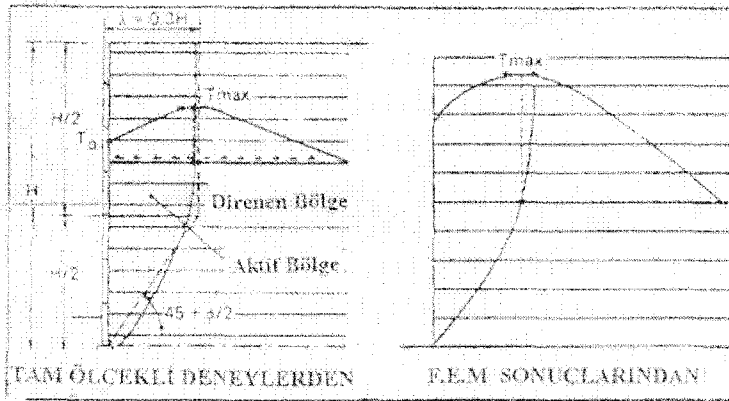
Enine sırtlar halinde pürüzlere sahip olan donatılarda zahiri sürtünme katsayısının düzlemsel kompresyon, genleşme ve zemin gerilmesi etkilerine göre düzeltilmiş zemin parametreleri ile uyumlu değeri güvenle kullanılabilir. Bu tür donatılarda davranış, çoğunlukla zemin danelerinin birbirlerine göre sürtünme özellikleri ile belirlenir.

1.7. Etkili Donatı Uzunluğu

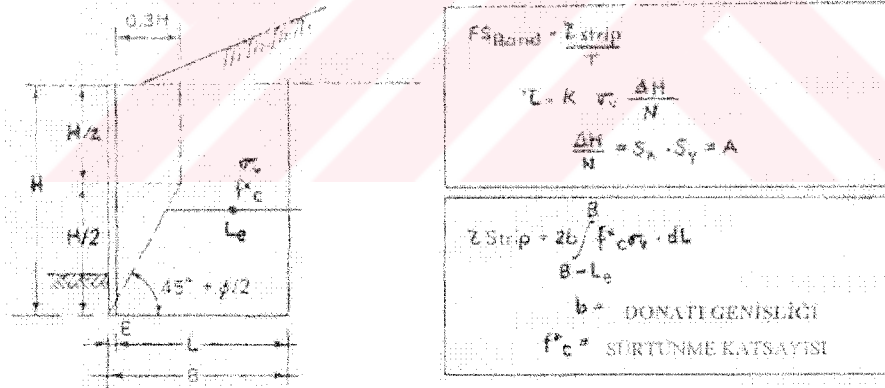
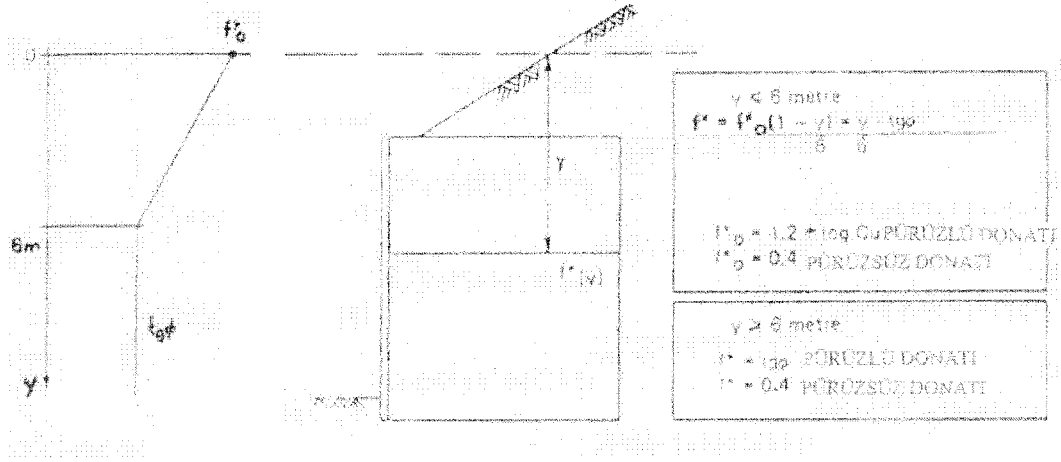
Donatı zemin dayanma yapılarında yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar, bir yapının donatılardaki maksimum çekme gerilmesinin yüzey panel elemanları bağlandığı noktada değil, daha geride olduğunu göstermiştir.

Panel arkası dolgu kütlesi içerisinde maksimum gerilme noktalarının birleştirilmesi ile iki farklı bölge ortaya çıkmaktadır. Bu bölgelere aktif ve pasif bölgeler adı verilmektedir. Aktif veya çeken bölgede zeminden donatıya gelen kesme kuvvetleri dışa, yüzey panel elemanlarına doğru, pasif veya direnen bölgede ise kesme kuvvetleri donatının serbest ucuna doğru yönlendirilir.

Bu aktif zonun sınırı yapının tipi, temel zemininin durumu, uygulanan yüklerin yer ve şiddetine göre değişmektedir. Gerçek yüklere göre projelendirilmiş tam ölçekli yapılardaki ölçme aletlerinden elde edilen bilgilere ve Schlosser tarafından varılan sonuçlara göre bu sınırı aşağıdaki şekilde olduğu gibi göstermek mümkündür:

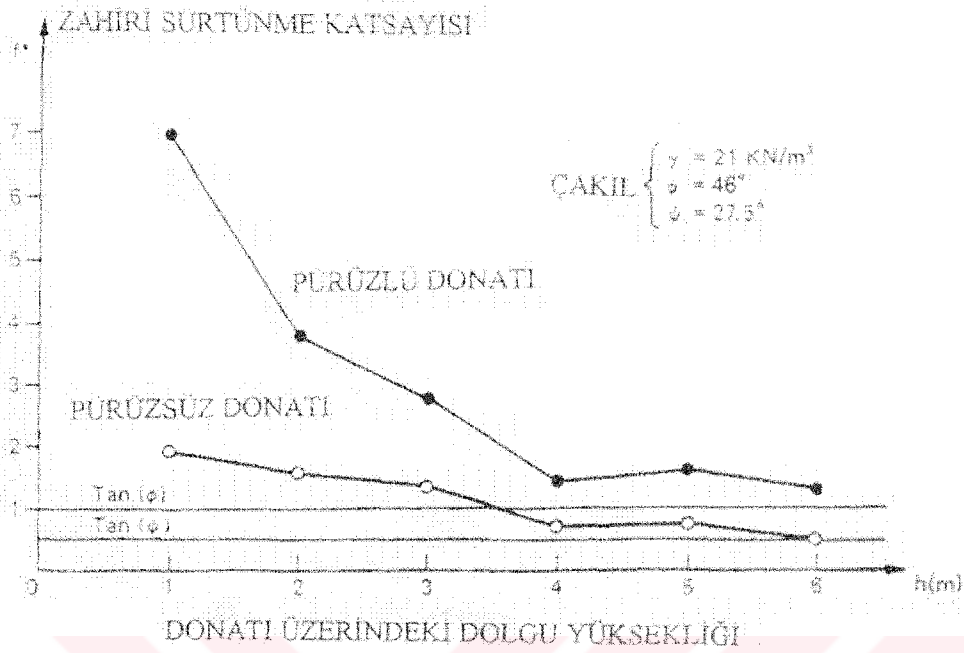


Şekil 1.5. İstinat yapılarında donatılar boyunca çekme kuvvetlerinin dağılımı.
“The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998”



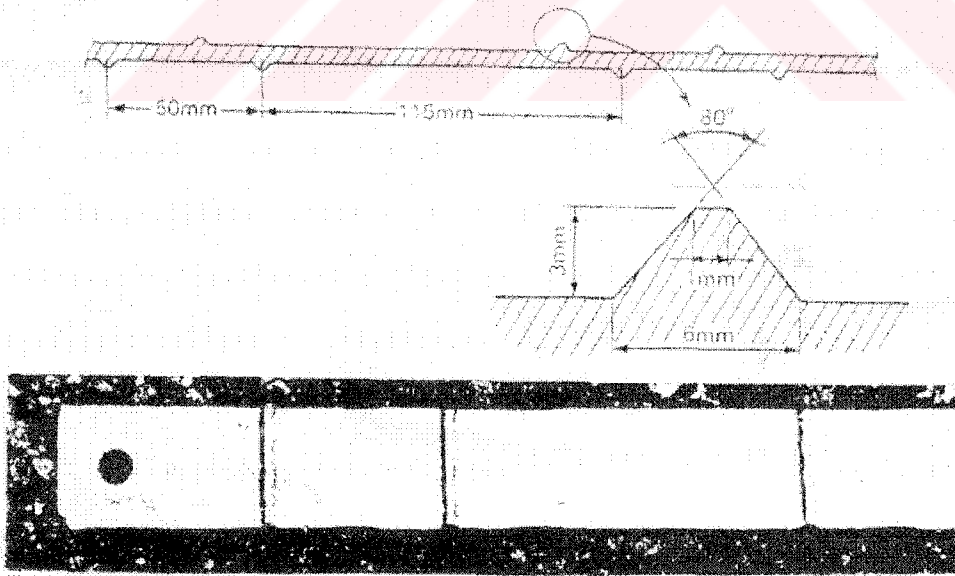
Şekil 1.6 : Donatılı zemin dayanma yapılarında zahiri sürtünme katsayısını derinlikle değişimi ve etkili donatı boyu

“The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998”

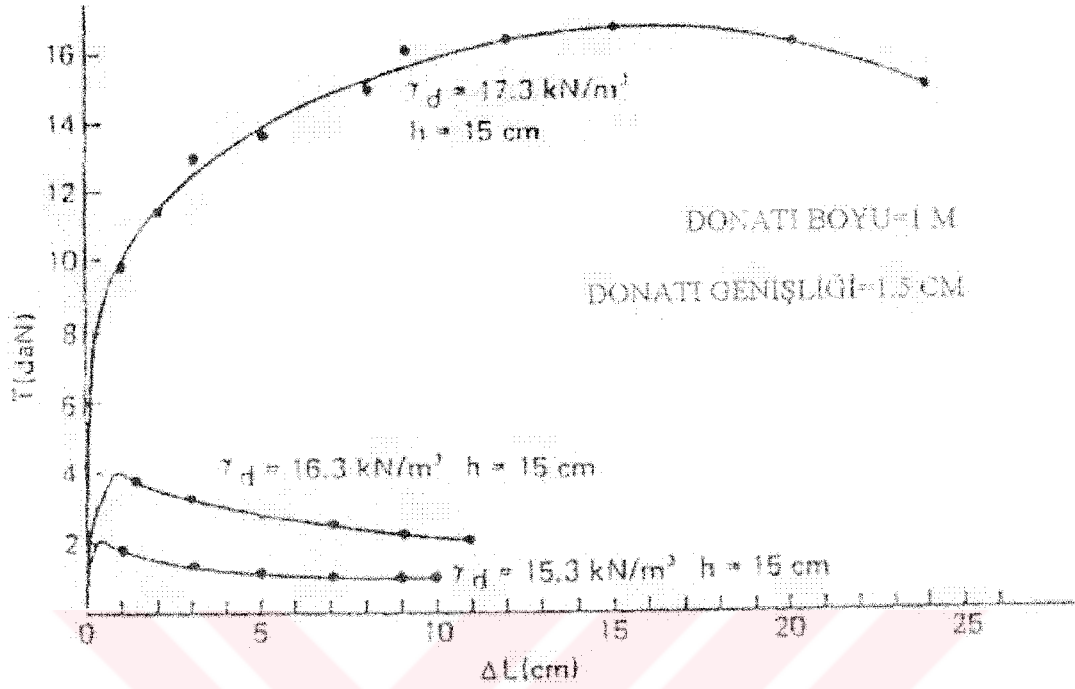


Şekil 1.7. Zahirî sürtünme katsayısının çekme deneyleriyle tespiti.

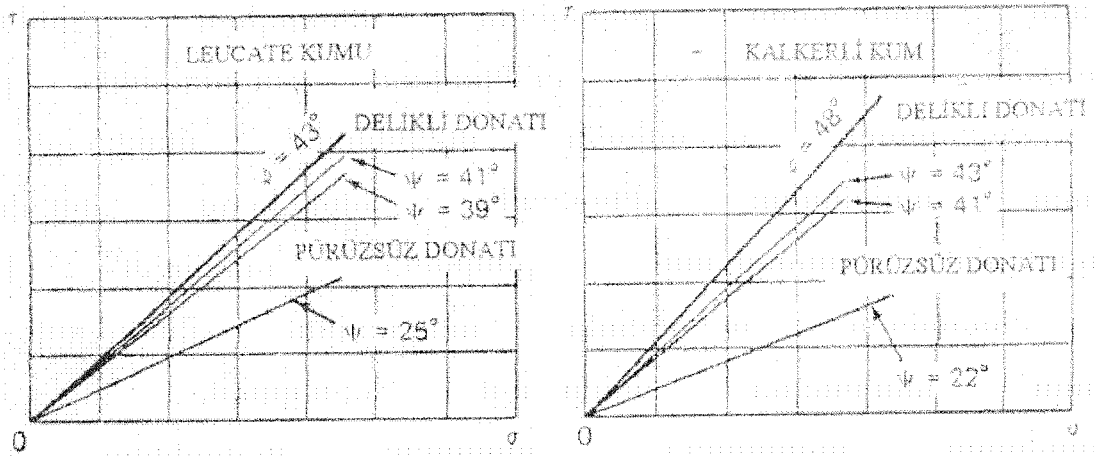
“The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998”



Şekil 1.8. Yüksek aderanslı şeritler.(The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998)



Şekil 1.9. Dolgu malzemesi birim hacim ağırlığının çekme deneyi sonuçlarına etkisi (The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998)



Şekil 1.10. Donatı biçimine ve dolgu malzemesine bağlı olarak zahiri sürtünme katsayısı. (The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998)

2. Önceki Çalışmalar

2.1. Donatılı Zemin Numuneler Üzerinde Yapılan Deneysel Çalışmalar ve sonuçların yorumu

Donatılı zemin numuneler üzerinde yapılan mekanik alandaki deneysel çalışmaları 4 ana grupta toplamak mümkündür. Tasarımda da son derece etkin rol oynayan 4 ana parametre :

A) CBR

B) Secant Modülü

C) Resilient Modülü

D) Kayma mukavemeti

olarak özetlenebilir. Donatılı zeminlerin çalışma mekanizmasının iyi anlaşılabilmesi için yapılan deneysel çalışmaların bir bölümü aşağıda tarih sırası da göz önüne alınarak açıklanmaktadır.

2.1.1. Verma ve Char – 1978

Verma ve Char (1978), alüminyumdan ve yumuşak çelikten imal edilmiş delikli ve deliksiz levhalar, sürekli teller ve dikdörtgensel lifler kullanarak oluşturdukları donatılı zemin kompozit malzemeyi, donatısız kum malzeme ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı bakımından karşılaştırarak test etmişlerdir.

Sonuçta, zemin içerisinde donatı malzemesi yüzdesinin artırılmasıyla, kompozit malzemenin kayma mukavemetinin bir dereceye kadar artmakta olduğu ve

bu noktadan sonra ise artışın çok yavaş bir şekilde devam edip neredeyse hiç artmadığını görmüşlerdir. Bununla birlikte donatı yüzdesiyle zeminin efektif içsel sürtünme açısındaki değişimi şöyle ifade etmişlerdir.

Delikli dairesel Alüminyum	Efektif içsel sürtünme
Donatı(%)	açısı (Φ)
0 → % 2	36° → 45°
% 2 → % 4	44°

2.1.2. Hoare - 1979

Hoare (1979) kuru kum-ince çakıl karışımı ve (66 mm x 7 mm) boyutlarındaki naylon lifler ile 50 mm uzunluğundaki burma biçimli naylon malzeme kullanılarak oluşturduğu kompozit malzemede elde ettiği sonuçları şöyle özetlemiştir: “ Aynı metot ve porozite kullanılarak oluşturulan sıkıştırılmış kompozit eleman, donatısız elemana göre daha yüksek kayma mukavemetine sahiptir fakat bununla birlikte zemin kütlesi içindeki donatı oranı arttıkça aynı sıkıştırma ile daha az bir kompaksiyon sağlanabilmektedir. ”

2.1.3. Andersland ve Khattak – 1979

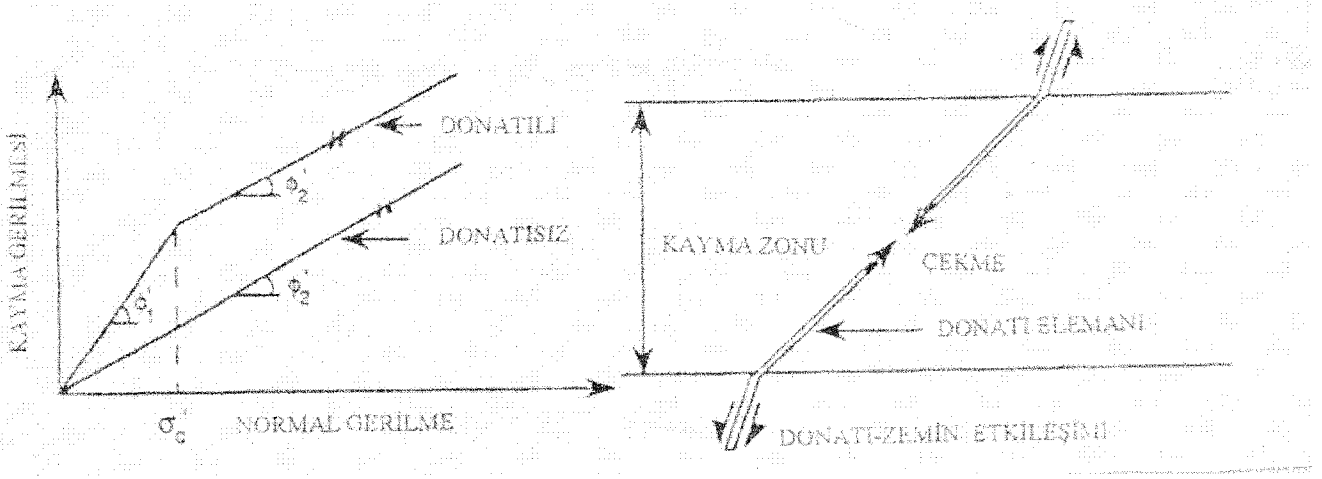
Andersland ve Khattak (1979) bu kez kaolonit kili üzerinde konsolidasyonlu-drenajlı (CD) ve konsolidasyonlu-drenajsız (CU) üç eksenli basınç deneylerini donatılı eleman örnekleri kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Kullanılan donatı malzemesi, 1.6 mm uzunluğunda ve 0.02 mm çapında liflerdir. Donatı lifleri

zemin numunelerine ağırlıkça %16-%43 artan oranlarında katılmış olup donatı oranı arttıkça kırılma tipinin de gevrek türden plastik türe doğru kaydığı görülmüştür. Nitekim donatı oranı %16 iken maksimum deviatörük gerilme % 8' lik bir eksenel deformasyonda ortaya çıkmakta, buna karşılık donatı oranı %43' e çıkarıldığında maksimum deviatörük gerilmeye karşı gelen eksenel deformasyonun %20 olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum davranışın plastik türe doğru gidişinin en önemli delili sayılmaktadır. Bununla birlikte donatı malzemesi katılması halinde kompozit malzemenin içsel sürtünme açısında da gözle görülür bir artış söz konusu olmuştur.

	Φ' (Donatısız)	Φ' (Donatılı)
CU (Konsolidasyonlu-drenajsız)	20	39
CD (Konsolidasyonlu-Drenajlı)	20	31

2.1.4 Gray ve Ohashi – 1983

Gray ve diğerleri (1983) donatı malzemelerinin zeminin mekanik davranışına olan etkisini göstermek üzere bir model geliştirmişlerdir.



Şekil 2.1. Gray ve Ohashi (1983)' ye göre zemin içerisinde donatıların çalışma mekanizması

Buna göre, donatı elemanları üzerinde yalnızca çekme etkisi değil aynı zamanda kayma gerilmeleri etkisi de bulunmaktadır. Ayrıca, maksimum gerilme noktasına ulaştıktan sonra donatı elemanı üzerinde basınç gerilmesi etkisi devam etmektedir. Post-Peak noktadan sonra eğim giderek azalmakta ve davranış donatısız zemine benzer bir hal almaktadır.

Yine Gray ve diğerleri (1983), doğal ve sentetik liflerden oluşturdukları donatılı zemin kompozit numuneler üzerinde direkt kesme deneyi yapmışlardır. Bu deneyde, zemin malzemesi olarak kum kullanılmıştır. Oluşturdukları modelden tahmin edilen değerlerle deneysel sonuçlar mukayese edilmiştir. Ayrıca Mohr-Coulomb kırılma zarfını, donatılı kompozit zemin numunesi için gözlemlemişler ve Şekil 2.1' i elde etmişlerdir.

Grafikten de anlaşılacağı üzere, donatısız zemin (kum) numunesi için

(σ - τ) zarf eğimi Φ_2 ' olan tek bir doğrudur. Zemin numunesine donatı malzemesi yerleştiğinde ise, efektif sınır gerilme değeri olan c' ' ne kadar olan zarf değeri Φ_2 ' den büyük olan bir eğimle uzanmakta, c' ' de bir kırıklık oluşmakta ve bu andan itibaren donatısız zemin davranışı (σ - τ) zarfına paralel olmaktadır.

2.1.5. Mc Grown – 1985

Mc Grown (1985), polypropylene hasır elemanlar kullanarak donatılı ve donatısız zeminin kayma dayanımlarını karşılaştırmıştır. CD üç eksenli deneyi olarak tasarlanmış olan bu karşılaştırmada zemin kuru ağırlığının % 0.18' i oranında geotekstil hasır kullanılmış ve oran arttıkça kayma mukavemetinde de artış görülmüştür. Mc Grown aynı zamanda, geotekstilli numunelerin çok daha fazla elasto-plastik şekil değiştirme gösterdikleri gerçeğini de ortaya koymuştur. Mc Grown' a göre geotekstilli bir numune, donatısız bir numuneye göre kırılma anında aynı düşey yer değiştirmeyi yapması için yaklaşık olarak iki kat daha fazla bir düşey yükle yüklenmesi gerekmektedir. Ayrıca geotekstilli kum numunelerde yük kaldırıldığında düşey yer değiştirme geri dönebilmektedir.

2.1.6. Gray ve Al Refai – 1987

Gray ve Al Refai (1987), kuru haldeki Muskegon (ABD) kumuna olarak da sürekli parçalar halinde uzanan geotekstil elemanlar yerleştirilmiş ve donatı malzemesindeki artışa karşılık, kompozit zeminin kayma mukavemetindeki artış oranını gözlemlemiştir. Gözlem sonunda, donatı malzemesinin sayısal ve yüzdesel artışıyla birlikte pik mukavemet artmakta, buna karşılık sıkı kum için post-pik mukavemet düşmektedir. Buradan mukavemet değişiminin aynı zamanda zeminin sıklığına da bağlı bir özellik olduğu sonucunu çıkarmak mümkündür. Ayrıca malzeme cinsi de kompozit zeminin kayma mukavemetini etkilemektedir. Örneğin,

pürüzlü kumaş türü geotekstil elemanlar kullanıldığında elde edilen kayma mukavemeti, daha az pürüzlü olan fiber-glass türde donatı malzemesi kullanıldığında elde edilenden daha büyük olmaktadır. Açıkçası pürüzlülük arttıkça zemin ile donatı malzemesi arasındaki birlikte çalışma ilişkisi iyileşmektedir. Bununla birlikte Gray ve Al Refai, kompozit zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfını 1983' te Gray ve Ohashi' nin gözlemlediğine benzer bulmuşlardır.

2.1.7. Arenicz ve Chowdhury -1988

Arenicz ve Chowdhury (1988), kesme kutusu deneyi ve plaj kumunu zemin malzemesi olarak kullandıkları donatılı kompozit bir model dayanma duvarını inceleyerek test sonuçları ile model arasında bir ilişki kurmaya çalışmışlardır. Zemin içerisine donatı malzemesi olarak sık olmayan aralıklarla dağıtılmış alüminyum partiküller, diskler, şerit elemanlar ve ayrıca dökme demirden yapılmış parçacıklar yerleştirilmiştir.

Deney sonuçları göstermiştir ki, sadece donatının miktarı değil şekil ve boyutu da kayma dayanımını etkilemektedir. Çok yer kaplayan iri parçalı donatı elemanları içeren zeminlerde kayma mukavemeti artımı daha az gerçekleşmekte, bununla birlikte lifli donatıya sahip kompozit zeminde ise artım çok daha efektif olmaktadır.

Bu deney sonuçlarından elde edilen bulgularla gerçekleştirilen model donatılı dayanma yapılarında maksimum kritik duvar yüksekliği, benzeri lifli elemanlarla gerçekleşmiş ve liflerin narinliği arttıkça kritik yüksekliğin de arttığı gözlemlenmiştir. Bu artım dökme demirli donatılı kompozit zeminlerde %1.5 iken, alüminyum lifler kullanıldığında %12.6 olarak gerçekleşmiştir.

2.1.8. Shewbridge ve Sitar – 1989

Shewbridge ve Sitar(1989) değişik altı tipte donatı elemanı kullanarak, kompozit zemin üzerinde direkt kesme deneyi yapmışlardır. Bu deneysel çalışmada amaç donatı konsantrasyonunun, rijitliğin ve kum zemin içerisinde bükülebilme mukavemetinin, zeminin kayma dayanımına olan etkisinin incelenmesidir.

Bu deneysel çalışmada özel olarak 0.76 x 0.40 m boyutlarında oldukça büyük bir dikdörtgensel kesme kutusu aleti kullanılmış olup alüminyum ve çelik çubukların yanı sıra, çiviler ve hatta paraşütlerde kullanılan şeritler gibi değişik türde elemanlar zemin içerisinde yerleştirilmiştir.

Deney sonuçlarına göre, zemin içerisindeki donatı oranı arttıkça kayma mukavemetinde bir artış görülmekle birlikte 1983' te Gray ve Ohashi' nin de belirttiği üzere kayma zonu içerisinde donatı oranı ile birlikte lineer olarak artmamaktadır. Ayrıca bir donatılı zemin kütle içerisinde kaymaya karşı koyan aktif hacim, toplam hacmin büyük bir bölümünü karşılamakta olup yükleme esnasında hacimsel değişim, uzaysal homojen dağılmamaktadır.

2.1.9. Maher ve Gray - 1990

Maher ve diğerleri (1990), kum zeminden ve aynı zamanda çok küçük küresel ve çok değişik boyut ve açısal yapıdaki cam elemanlardan oluşan bir temsili zemin örneği hazırlamışlar ve içerisinde sık olmayan aralıklarla lifler halindeki donatı malzemelerini yerleştirerek bir üç eksenli basınç deney grubu oluşturarak donatı malzemelerine bağlı olarak kayma mukavemetindeki artışı tahmin edecek bir model geliştirmişlerdir. Deneysel ve model çalışmalarının sonuçlarının kabul edilebilir nitelikte uygun çıkmakta olduğu ve hem açılı elemanlarda oluşan donatılı zemin numunesi ve hem de pürüzlü yüzeye sahip donatılı numunesi için kırılma zarfının iki fazlı olduğu gözlenmiştir. Kırıklık noktasının apsis değeri kritik normal efektif

gerilmenin dane derecelenmesi, dane açısal yapısı ve donatı yüzey oranı ile ters orantılı olduğunu ortaya koymuştur. Bununla birlikte, dane boyutunun değişmesi ve donatı miktarındaki değişim kritik normal efektif gerilmeyi etkilememiştir.

2.1.10. Lawton – 1993

Lawton ve diğerleri(1993), donatı miktarının, yüzeysel pürüzlülüğün ve donatı malzemesi dağılımının zeminin kayma mukavemetini nasıl değiştirdiğini saptamak üzere üç eksenli basınç deneyleri yapmıştır.

Deney sonuçları, donatı malzemesi kullanılması halinde pik deviatörük gerilmenin %106 oranında arttığını ve donatı elemanlarının zemine tabakalar halinde ve bütün enkesiti kaplayacak tarzda yerleştirilmesi halinde çok daha efektif bir artışın meydana çıktığını göstermiştir.

2.2. Donatılı Zeminlerde CBR, Secant Modülü, Resilient Modülü ve Kayma Mukavemeti Deneysel İlişkileri

Donatılı zeminlere ait CBR, Secant modülü, Resilient modülü ve kayma mukavemeti özelliklerini belirlemek ve aralarındaki ilişkileri saptamak amacıyla bir seri deneysel çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmalarda özetle; donatı malzemesi olarak HDPE türde polimer donatılar ve zemin olarak ise üniform dane boyutlu yuvarlak kuartz partikülleri içeren kuru kum kullanılmıştır. Aşağıda deneylerde kullanılan donatı ve zemin özellikleri ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

2.2.1. Zemin Özellikleri

Zemin numunesi olarak kuru Portage (ABD) kumu kullanılmıştır. Bu kum

türü hemen hemen tamamı üniform dağılmış orta büyüklükteki danelerden oluşmakta ve yuvarlağımsı kuvarz partikülleri içermektedir. U.S Standart elek numaraları dikkate alındığında tüm daneler 20-60 no' lu elek numaraları arasında yer almaktadır. Üniformalık ve yuvarlaklık katsayıları 1 olup birleştirilmiş sınıflandırma sisteminde (SP) olarak tarif edilmektedir. Minimum birim hacim ağırlığı 15.2 KN/m³, maksimum birim hacim ağırlığı ise 17.8 KN/m³' tür.

2.2.2. Donatı Malzemesi Özellikleri

Deneylerde donatı malzemesi olarak, yarı şeffaf HDPE' den yapılmış süt kapları kullanılmıştır. Bu elemanlar üzerinde yapılan çekme deneylerinden elde edilen sonuçlara göre, malzemenin ortalama çekme mukavemeti 16.4 M Pa ve elastisite modülü ise 900 M Pa' dır. Birim hacim ağırlığı 17.8 KN/m³ kum numunesi içine yerleştğinde, kum ile donatı arasındaki yüzeysel sürtünme açısı 19° olmaktadır. Genel olarak donatı malzemesi kalınlığı 0.6 cm olup yüzey boyutları oranı 4, 8, 12 olan (yani genişliği 0.6 cm ve boyları sırasıyla 2.4 cm ,4.8 cm ve 7.2 cm) elemanlar seçilerek deneyler yapılmıştır. Boyutların bu oranlarda seçilmesi, hem laboratuvar da hem de şantiye sahasında donatıların zemin içerisine yerleştirilmesi kolaylığını sağlamaktadır. Bununla birlikte deneylerde kullanılan donatı malzemesi miktarı kullanılan zemin ağırlığının bir yüzdesi olarak ifade edilebilir. Buna göre sırasıyla %0, %1, %2, %3, %4 ağırlık oranlarında donatı malzemesi kullanılarak deneyler yapılmıştır.

2.2.3. CBR Deneyleri

CBR (Kaliforniya taşıma oranı) deneylerinin yapılış amaçlarından biri, yüke bağlı penetrasyon miktarını (CBR) bulmak ve bir diğeri ise sekant modülünü hesap etmek olarak özetlenebilir. Hazırlanan numuneler, 15.2 cm çaplı çelikten yapılmış CBR kapları içine yerleştirilmiştir. Kum ve donatı elemanlarından oluşan numuneler

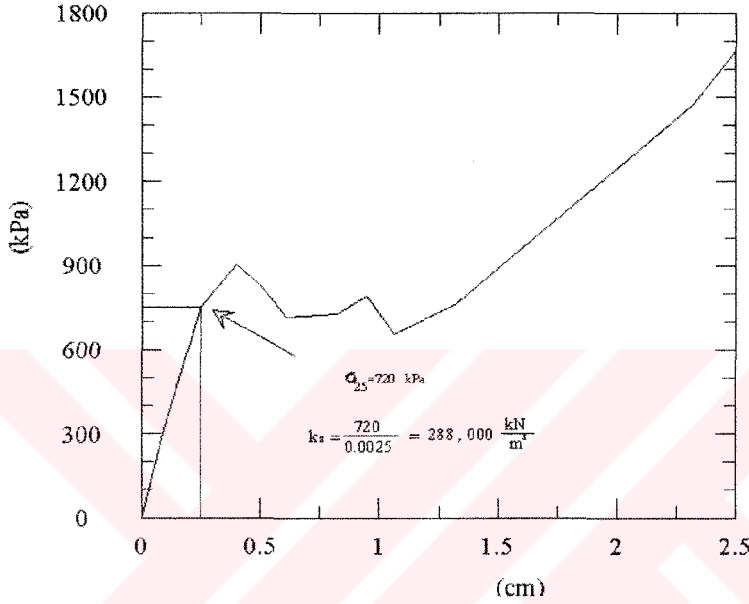
yerleştirilirken bir spatula kullanılmış ve daha sonra titreşimli bir tabla yardımıyla, numune rölatif yoğunluğu 1 olacak şekilde vibrasyona tabi tutularak birim hacim ağırlığının maksimum miktar olan 17.8 KN/m^3 e ulaşması sağlanmıştır.

Deneylerde sık aralıklı olmayan rastgele donatı yerleşim düzeneği teşkil edilmiştir. Bir yük plakası, numuneler üzerine 2.44 Kpa lık bir ön basınç uygulayacak şekilde ayarlanmıştır. Yükün uygulandığı piston kesit alanı 19.4 cm^2 olan bir de deformasyon ölçen okuyucu bağlanmıştır. Bütün deneylerde 0.002 cm/sn penetrasyon hızı kullanılmış ve penetrasyon miktarı 2.5 cm ye ulaştığında deneye son verilmiştir.



Deneyde CBR, 2.5 cm penetrasyona karşı gelen yükleme gerilmesinin, penetrasyona oranının yüzdesi olarak hesaplanmaktadır. Secant modülü (k_8)ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$k_8 = (\sigma_{2.5}) / 0.0025 \text{ m} \quad (2.1)$$



Şekil 2.2. CBR deneyinde yükleme-penetrasyon eğrisi (Vidal,1978)

2.2.4. Resilient Modülü Deneyleri

Resilient Modülü, zeminin dinamik değişken yükler altındaki elastisite modülü olarak tanımlanabilir. Donatılı bir zemin için bu modül belirlenirken üç eksenli basınç deneyi sistemi kullanılmaktadır. Düşük gerilme seviyelerinden yüksek gerilme seviyelerine çıkılarak her bir deviatörük gerilme durumu için 100 adet yükleme-boşaltma uygulanmakta ve en son durumdaki yükleme halinde deviatörük gerilmenin eksenel deformasyona oranı tespit edilerek modül, aşağıdaki formülle saptanmaktadır.

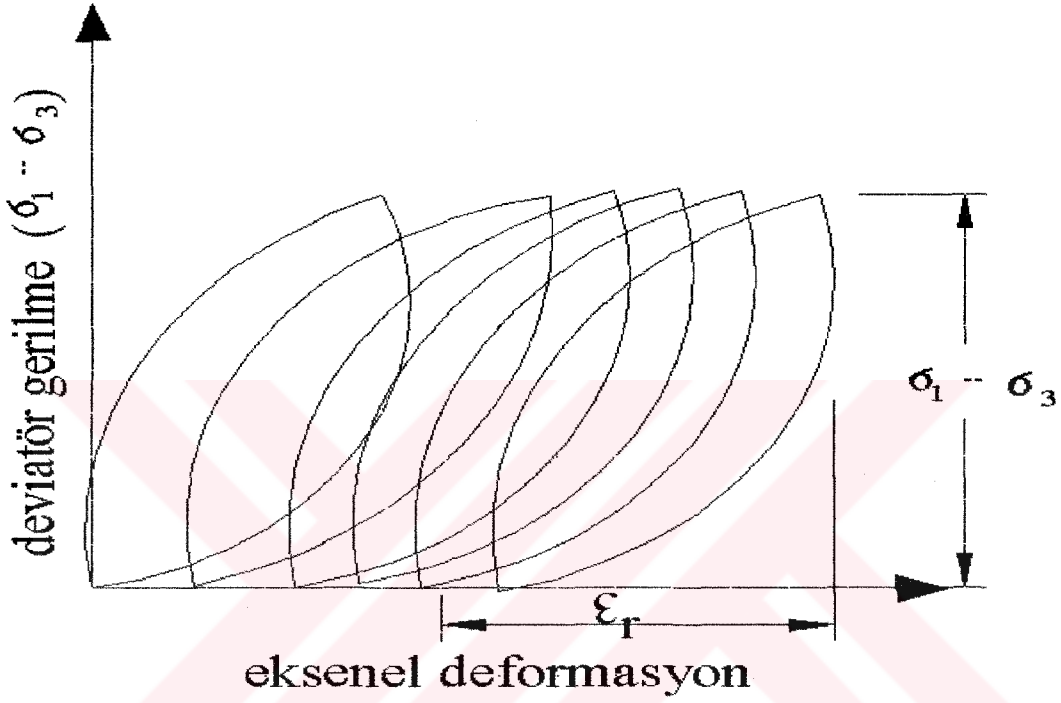
$$M_r = (\sigma_1 - \sigma_3) / (\epsilon_r) \quad (2.2)$$

Donatılı zemin için deney başlangıcında rölatif yoğunluk 1 ve birim hacim ağırlığı 17.8 KN/m^3 olacak şekilde vibrasyon işlemi yapılmaktadır. Donatı malzemesi zemin içerisinde çok sık olmayan rastgele bir dağılıma sahiptir. Yükleme aşağıdaki tabloda olduğu gibidir.

Tablo 2.1. Resilient modülü deneyinde yükleme aşamaları (Vidal ,1978)

YÜKLEME NO (1)	SERBEST BASINÇ DİRENCİ (σ_3 ,kPa) (2)	DEVIATÖR GERİLME ($\sigma_1 - \sigma_3$, kPa) (3)	YÜKLEME ADEDİ (4)
1	21	21	100
2	21	42	100
3	21	63	100
4	35	35	100
5	35	70	100
6	35	105	100
7	70	70	100
8	70	140	100
9	70	210	100
10	105	70	100
11	105	105	100
12	105	210	100
13	140	105	100
14	140	140	100
15	140	280	100

Dikkate alınacak eksenel deformasyon, son 5 yükleme-boşaltmaya ait deformasyonların ortalamasıdır. Her yükleme kombinasyonu için hesaplanan deviatörük gerilmeye bağlı olarak resilient modülü ve ayrıca toplam hacimsel gerilme (σ_b) hesaplanabilir. Buna göre toplam hacimsel gerilme $\sigma_b = \sigma_1 + 2\sigma_3$ ile ifade edilir. Resilient modülünün şematik gösterimi aşağıdaki şekilde olduğu gibidir.



Şekil 2.3. Resilient modülü deneyinde yükleme-boşaltma eğrileri (Vidal,1978)

2.2.5. Direkt Kesme Deneyleri

ASTM-D3080 standartlarına göre geliştirilmiş bir deneydir. Deneyde boyutsal etkilerin derecesini minimuma indirebilmek amacıyla özel olarak imal edilmiş olan 28 cm çapında ve 25 cm derinliğe sahip büyük ölçekli bir silindirik direkt kesme aleti kullanılmıştır (Benson ve Khire-1992). Deneyde kayma gerilmeleri ve normal gerilmeler, pnömatik ve hidrolik olarak uygulanmaktadır. Uygulanan gerilmeler gerilme ölçen hücreler ile, deformasyonlar ise LVDT (Linear variable differential transducers) vasıtası ile ölçülmektedir. Zemin numunesi doğrudan çelik ring içerisine yerleştirilmekte ve birim hacim ağırlığı 17.8 KN/m^3

olacak şekilde sıkıştırılmaktadır. Donatı malzemesi olarak rastgele yerleştirilmiş elemanlar söz konusudur. Kayma gerilmesi alt ringten ve 0.004 cm/sn hızıyla uygulanmakta ve yatay deformasyon 2.5 cm' ye ulaştığında veya pik gerilme, deformasyon noktasına geldiğinde deneye son verilmelidir. Benzer bir deney; bu kez (Wykehem-France) tarafından geliştirilmiş olan 6.4 cm x 6.4 cm boyutlu kare kesitli direkt kesme kutusu ile donatısız kum zemin numunesi üzerinde gerçekleştirilmiş ve her iki durum için Mohr-Coulomb kırılma zarfı çizilerek karşılaştırılmıştır (Benson ve Khire-1992).

2.2.6. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçları aşağıdaki gibi maddeler halinde özetlemek mümkündür.

1) Deneylerde kullanılan donatı elemanları için yüzey oranı arttıkça CBR ve secant modülünde artmaktadır. Örneğin yüzey oranı 8 iken her iki test sonucu da, oranın 4 olduğu test sonuçlarından fazladır. Öte yandan yüzey oranı 4 iken her iki sonuçta donatısız kum numuneye göre çok düşük bir artış göstermektedir.

2) Donatı yüzdesi %0-%3 arasında değişirken CBR dereceli artış göstermiştir.

3) Donatı yüzdesi %4 iken CBR , donatısız bir numuneye göre 5 kat daha fazla çıkmıştır.

4) Secant modülü, donatı yüzdesinin artışı ile çok daha hızlı bir artış göstermektedir. Donatıların uzamaya karşı gösterdiği direnç ve buna bağlı olarak donatı ile zemin arasındaki sürtünme, donatısız kum zemine göre donatılı kum zeminin CBR değerini bir hayli arttırmıştır.

5) İlk maddedeki sonucu doğuran mekanizma şöyle açıklanabilir: yüzey oranı düşük oldukça (4 gibi), donatı elemanlarının boyu kısalmakta bu durumda da yeterli sürtünme sağlanamamaktadır. Ayrıca donatı yüzdesi sabit tutulduğunda, bu durumda donatı adedi artmaktadır. Donatı adedinin artması, donatı ile zemin

arasındaki içsel sürtünme açısını azaltmaktadır. Çünkü zeminin içsel sürtünme açısı 36° iken, zemin ile HDPE donatı arasındaki içsel sürtünme açısı 19° dir. Fakat yüzey oranı arttıkça mekanizma tersine işlemekte ve gerek secant modülü gerekse CBR artmaktadır.

6) Resilient modülü değerlendirmesinde donatılı bir zemin numunesi için, verilen bir donatı oranı ve hacimsel gerilme vasıtası ile elde edilen resilient modülünün (M_r), donatısız bir zemin numunesi için elde edilen resilient modülüne (M_{r0}) oranı yani, normalize edilmiş resilient modülü tanımı kullanılmaktadır.

7) (M) değeri için 853.0 , 118.7 ve 140.6 Mpa değerleri, hacimsel gerilme için ise 140, 250, 560 Kpa değerleri uygulanmıştır.

8) Donatı oranı %2' nin altında iken resilient modülü artışı yok denecek kadar azdır. %2-%3 arasındaki artış maksimum seviyede olup %3 noktası pik noktadır. Donatı oranının %3' den fazla arttırılması halinde resilient modülü azalmaktadır.

9) Donatı oranına bağlı resilient modülü artımı, aynı zamanda hacimsel gerilme miktarına da bağlıdır. %2' nin üzerindeki donatı oranında hacimsel gerilmedeki artış, resilient modülünü de arttırmaktadır.

10) CBR deneyinde pistonun uyguladığı penetrasyon basıncı nedeni ile donatılarda dikkate değer boy uzamaları ve deformasyonlar görülmekte iken, bu durum resilient modülü deneyinde donatılarda çok daha az oranlarda görülmektedir. Fakat yinede deney boyunca donatılar sürtünmeden doğan çekme etkisine maruz kalmakta ve resilient modülü ancak bu sayede artış gösterebilmektedir.

11) Resilient modülünü etkileyen en önemli parametrelerden biri, CBR sonuçlarını da benzer şekilde etkileyen donatı yüzeyi oranı olmaktadır. Bu oran 8 iken en yüksek resilient modülü elde edilmekte olup oran 4 veya altında iken donatılı zemin numunesi için modül, donatısız numuneninkinin bile altında kalmaktadır.

12) Benzer sonuç hacimsel gerilmenin bütün değerleri için elde edilmiştir.

13) Direkt kesme deneyi, hem donatılı hem donatısız kum numuneler üzerinde yapılmış ve Mohr-Coulomb kırılma zarfı sonuçları itibariyle karşılaştırılmıştır. Donatılı numunelerin hepsinde yüzey oranı 8 alınmıştır.

14) Düşük normal gerilme uygulanması durumunda zemine donatı ilave edilmesi, numunenin içsel sürtünme açısında artıma neden olmuştur.

15) Donatı elemanlarının yüzey oranı 8 olarak alındığında, donatı yüzdesi arttırıldıkça kritik efektif serbest basınç direnci artmaktadır. Bu artım %1.5 donatı oranına kadar tedrici olmakta, %1.5' ten sonra ise daha hızlı olarak gerçekleşmektedir. Bununla birlikte donatılı zemine ait içsel sürtünme açısı donatı oranıyla birlikte (ancak %1 donatı oranına kadar) artmakta, %1 donatı oranından sonra ise azalmaktadır.

16) Deney sonucunda donatı elemanları üzerinde yapılan incelemede, donatı elemanlarındaki boy değişiminden çalışma mekanizması açısından yeterli çekme gerilmesi aldıkları, fakat bu etkinin kopma noktasına ulaşacak büklükte olmadığı sonucuna varılmıştır. Nitekim benzer bulguları 1983 yılında Gray ve Ohashi de elde etmişlerdir. Onlar da donatı elemanlarında çekme etkisinin varlığını bulmuşlar fakat kesme etkisiyle donatı elemanlarında bir kesme kopmasına rastlanmamıştır.

17) Normal gerilme 12 Kpa, donatı yüzey oranı 8 iken donatı yüzdesi değiştikçe normalize edilmiş yanal deformasyon ile hacimsel deformasyon değişmektedir. Donatısız numune için normalize edilmiş yanal deformasyon artsa da hacimsel deformasyonda büyük bir değişme görülmemekte fakat donatı oranı arttırıldıkça, aynı bir yanal deformasyon için daha büyük bir hacimsel değişim görülmektedir.

Bu incelemede:

ϵ_v : Düşey deformasyon.

ϵ_v : $(\Delta H/H_0) \times 100$

ΔH : Kayma etkisinde numunenin yüksekliği

H_0 : Numunenin ilk yüksekliği.

ΔH_n : Normalize edilmiş yatay deplasman.

ΔH_n : $\Delta/D \times 100$

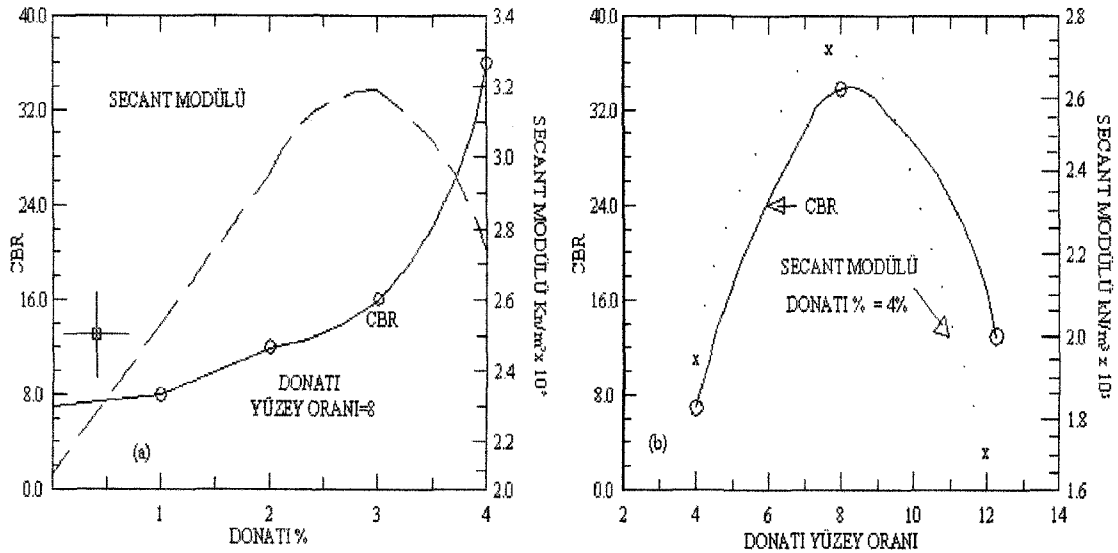
Δ : Yatay yer değiştirme.

D : Numune çapı

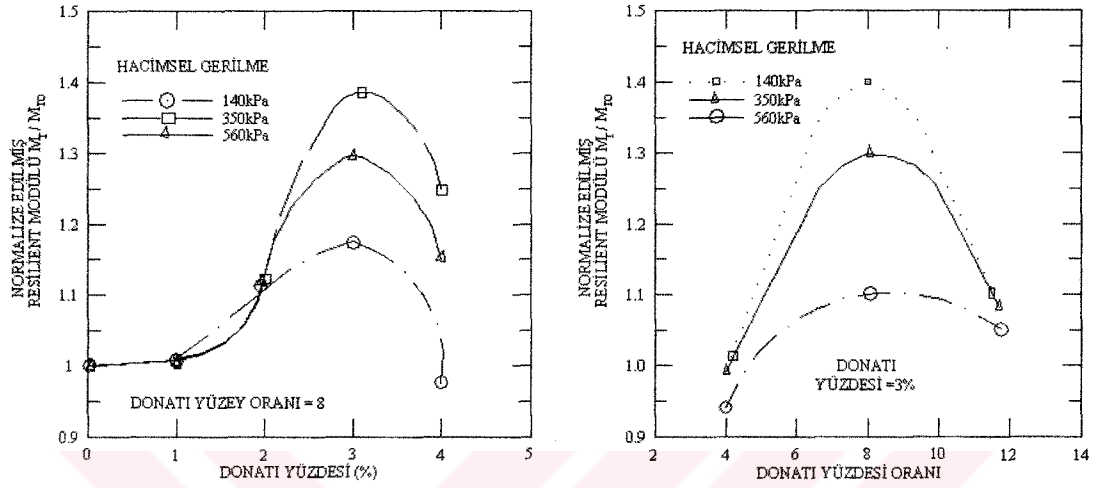
18) Donatı elemanlarının ilave edilmesi kayma aktif zonunun oluşmasına neden olmakta ve böylece hacimsel bir genişleme ortaya çıkmaktadır. Shewbridge ve Sitar (1989) ortak çalışmasında benzer bir sonuç elde etmişlerdir.

19) Donatı yüzey oranı ile içsel efektif sürtünme açısı ve serbest basınç direnci arasında bir noktaya kadar doğru daha sonra ters orantı görülmüştür. Bu incelemede donatı oranı %4 olarak sabit tutulmuş ve yüzey oranı 4-12 arasında değiştirilmiştir. İncelenen her iki büyüklük için en büyük değerler yüzey oranı 8 iken elde edilmiştir.

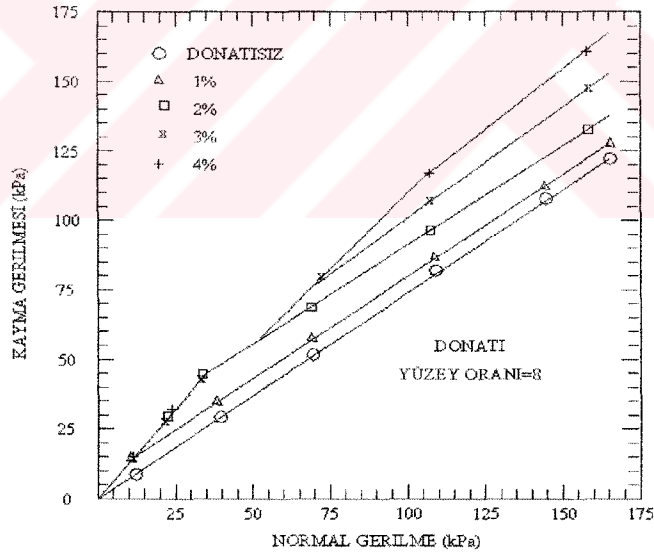
Bununla birlikte donatı oranı ne olursa olsun efektif içsel sürtünme açısı, donatısız bir numuneye göre daima daha büyüktür.



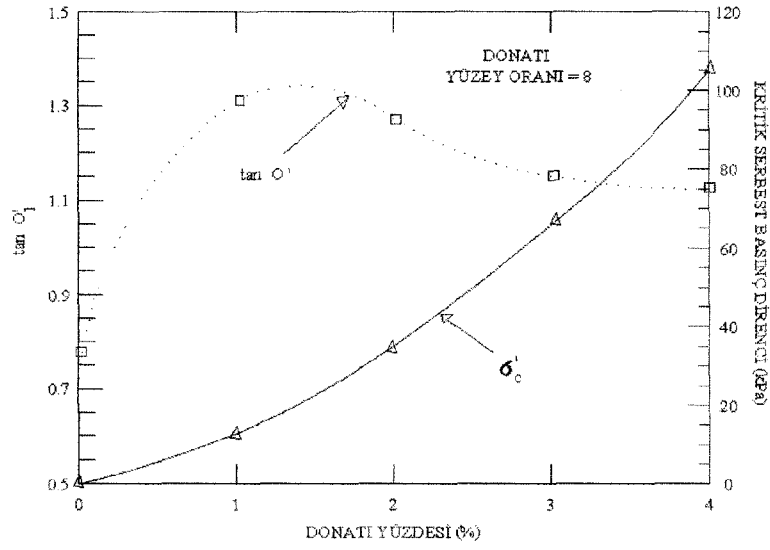
Şekil 2.3. Donatı oranı ve donatı yüzey oranının resilient modülüne etkisi (Vidal,1978)



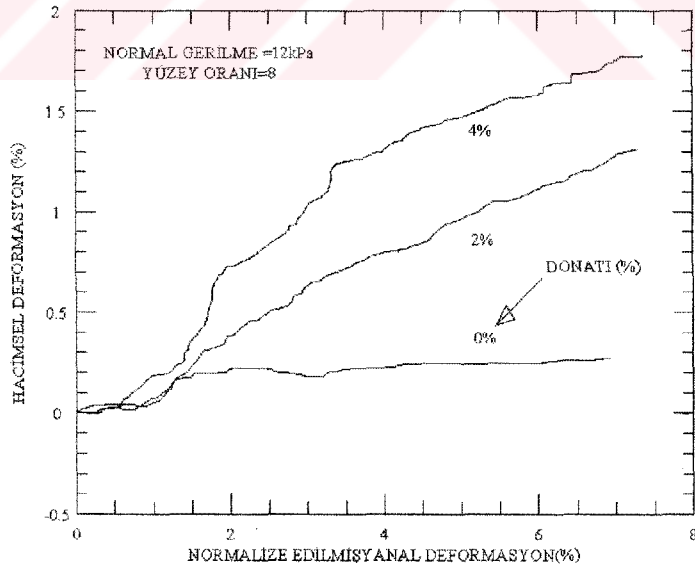
Şekil 2.4. Donatı oranı ve donatı yüzey oranının CBR değerine etkisi.(Vidal, 1978)



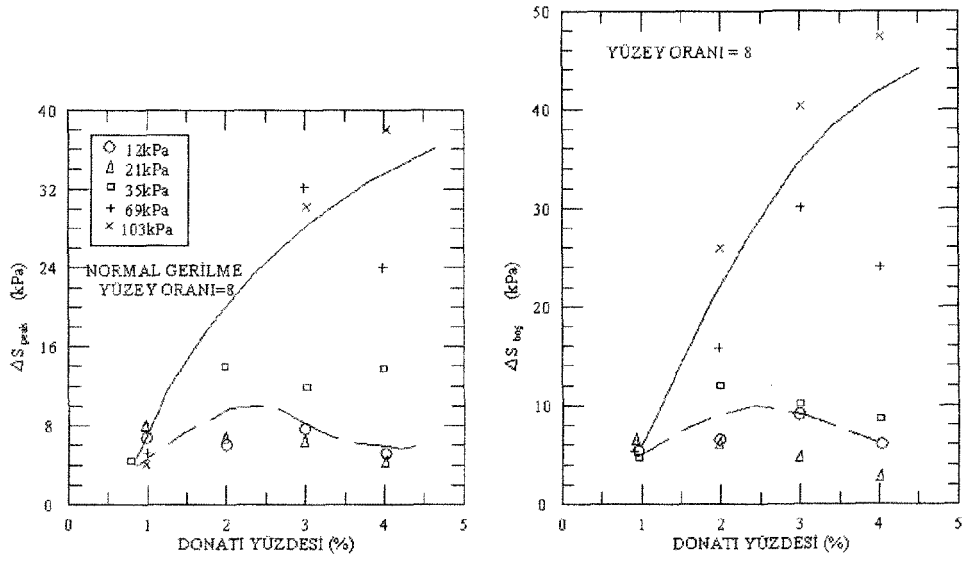
Şekil 2.5. Değişik donatı yüzdeleri için Mohr-Coulomb kırılma zarfları.



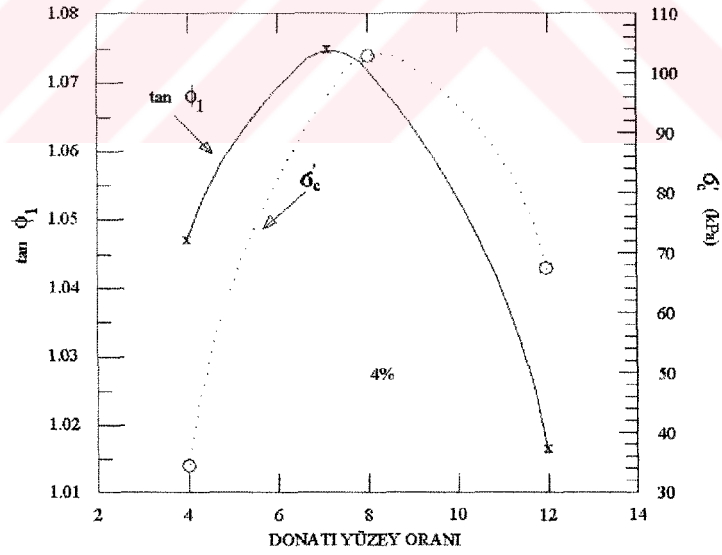
Şekil 2.6. Donatı yüzdesine göre kritik serbest basınç direncinin ve içsel sürtünme açısının değişim (Vidal, 1978)



Şekil 2.7. Direkt kesme deneyinde donatı yüzdesine göre zemin numunesinin değişimi(Vidal, 1978)



Şekil 2.8. Donatı oranına bağlı olarak pik ve kalıcı kayma mukavemetindeki artış (Vidal, 1978)



Şekil 2.9. Donatı yüzey oranının zemin numunesinin kritik serbest basınç direnci ve içsel sürtünme açısı değerlerine etkisi (Vidal, 1978)

2.3. Donatılı Zemin Dayanma Yapılarının Arazi Davranışlarının Tam Ölçekli Deneylerle Saptanması

Donatılı zemin dayanma yapılarının performanslarında en etkili olan faktör, yapım süreci ve bu süreçte izlenen yapım tekniğidir. Doğal olarak gerek panellerin yerleştirilmesinde ve gerekse geriye bağlanıp duvar arkası dolgusunun sıkıştırılmasında aşağıdan yukarıya doğru bir sıra izlenir. İlk yerleştirilen yüzey paneller, geriye bağlanıp o seviyedeki dolgu tamamlanıncaya kadar payandalar ile desteklenir. Dolgu yapılıp sıkıştırıldıktan sonra payandalar kaldırıldığında donatılara da yükleme yapılmış olur. Paneller arasındaki dolgunun serilme işlemi kepçesi ön tarafta olan loaderler tarafından yapılır ve ilk seviyedeki dolgunun serilmesi işlemi tamamlandıktan sonra sıkıştırma işlemine geçilir. Duvar yüzeyine yakın bölümlerdeki dolgu Jumping Jack adı verilen düşen tokmaklar vasıtasıyla, daha yüksek bir enerji ile sıkıştırılır. Duvar yüzeyinden uzaktaki dolgu hacmi ise, daha düşük enerji seviyeli bir vibratör vasıtasıyla sıkıştırılır. Bu işlemler her bir donatı seviyesi dolgusu için tekrarlanır ve duvar yükseldikçe, duvar ön yüzeyindeki destek payandaları kaldırılır. Böylece donatı elemanlarına giderek artan bir şekilde zeminden yük aktarımı başlamış olur.

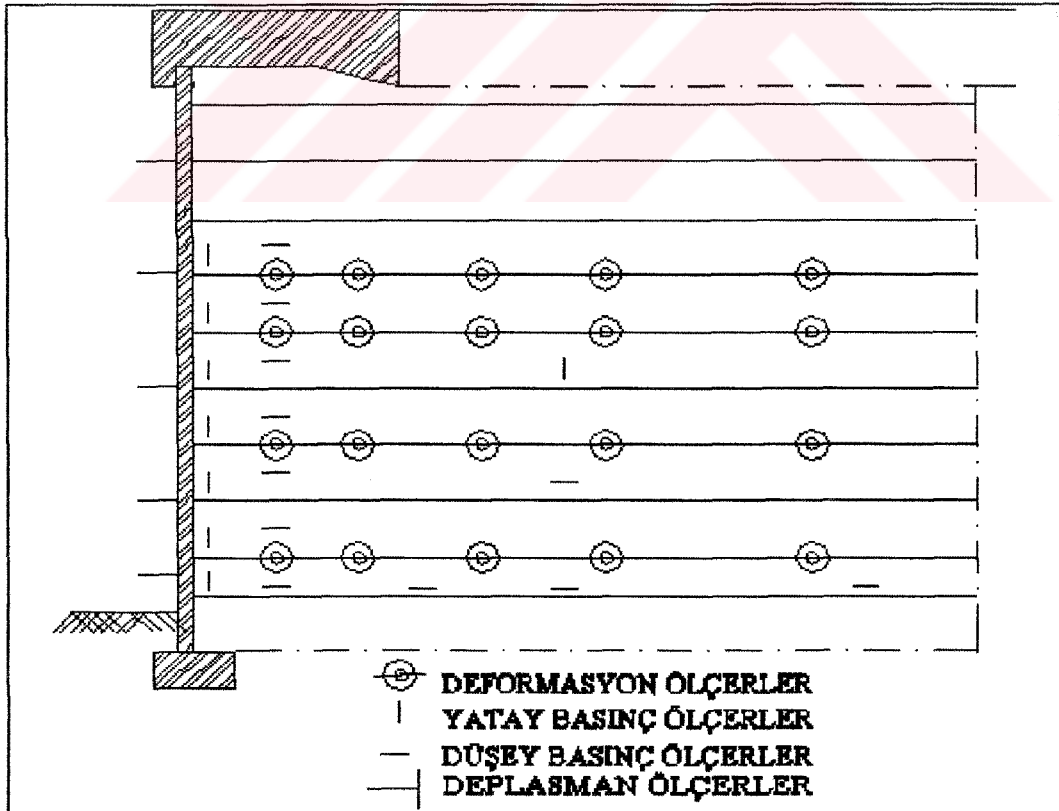
Duvar yukarıdaki gibi inşa edilirken, önceden tespit edilen belirli koordinatlara çeşitli özellikte ve sayıda ölçüm aletleri yerleştirilir. Bu ölçüm aletleri:

- a) Yüzey panel elemanlarının öne doğru hareketinin izlenmesi.
- b) Donatı elemanlarında meydana gelen deformasyonların izlenmesi.
- c) Zemin yatay ve düşey deplasmanlarının izlenmesi.
- d) Duvar yüzeyine gelen yanal zemin itkisinin ve donatılar boyunca ortaya çıkan düşey gerilme dağılımlarının izlenmesi.
- e) Donatılı zemin kütle içinde zamana bağlı ısı değişimlerinin takibi amaçlarını yerine getirmektedir.

Bu amaçlar doğrultusunda kullanılan 4 tip ölçüm aleti söz konusudur:

- a) Deformasyon ölçer.
- b) İndüktans bobini.
- c) Düşey gerilme ölçer.
- d) Isı ölçer.

Donatılı zemin dayanma yapılarının gerçek davranışlarını izlemek için arazide büyük ölçekli deneyler yapılmış olup yukarıdaki aletlerin yerleştirilme biçimleri aşağıdaki şekilde görüldüğü gibidir.



Şekil 2.10. Tam ölçekli dayanma yapıları ve ölçüm aletlerinin lokasyonu (The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998”

Bir donatılı zemin istinat yapısının tasarımı, hem dış hem de iç stabilite analizlerini içermektedir. Yapılan bu deneysel çalışmada, donatılı zemin kütle içerisindeki gerek gerilme gerekse deformasyonların zamana bağlı değişimleri, alışagelmiş tasarım kriterleri neticesi beklenen değerlerle karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte dış stabilite analizleri bu çalışmaya dahil edilmemiş, yalnızca iç stabilite irdelenmiştir.

İç stabilite analizi, bir donatılı zemin kütlenin gerek kendi ağırlığından doğan yüklere gerekse dışarıdan etkiyen yüklere göre dayanımının irdelenmesidir. Bu dayanımın temel mekanizması, zemin kütlesinden gelen yatay itkilerin donatı elemanlarına aktarılmasıdır.. Donatı elemanlarının yerleştirilmesi ve aralıklarının tayini, bu mekanizmanın doğru işlemesi açısından önemlidir. Düşeyde donatı aralıkları, donatılarda herhangi bir kopma uzamasına neden olmayacak mertebede birbirine yakın olmalı ve boyları ise iç stabilite analizinde belirlenen kayma dairesinin ötesine kadar uzanmalıdır.

Büyük ölçekli bu arazi deney çalışmasında kullanılan malzeme ve doğal zemin parametreleri aşağıdaki gibidir.

$$T_i \text{ (İzin verilen maksimum donatı güvenlik gerilmesi)} = 19.3 \text{ KN/m}$$

$$\gamma_u \text{ (Duvar dolgusunun toplam birim hacim ağırlığı)} = 19.6 \text{ N/m}^3$$

$$\gamma_b \text{ (Duvar arkası dolgusunun toplam birim hacim ağırlığı)} = 18.0 \text{ KN/m}^3$$

$$\Phi_u \text{ (Duvar dolgusunun içsel sürtünme açısı)} = 34^\circ$$

$$\Phi_b \text{ (Duvar arkası dolgusunun içsel sürtünme açısı)} = 30^\circ$$

Buradan i. seviyedeki donatı elemanlarına birim genişlik için gelen çekme kuvveti T_i ile gösterilirse, değeri;

$$T_i = K_{aw} \times \sigma_{vi} \times V_i \quad (2.3)$$

Şeklinde hesaplanır. Yukarıdaki çarpanlar aşağıdaki gibi tariflenebilir:

K_{aw} : Duvar dolgusu için aktif toprak basıncı katsayısı.

σ_{vi} : i.seviyedeki maksimum zemin düşey gerilmesi.

V_i : Donatılar arasındaki düşey mesafe.

Bu çalışmada σ_{vi} ,düşey gerilmelerin i. seviyesindeki geogrid donatıları boyunca lineer dağıldığı varsayımına göre belirlenmiştir. Bu varsayım, düşeyde iki donatı aralığına eşit bir yüksekliğe sahip ve yatayda ise donatılı zemin kütledeki donatı boyuna eşit derinliğe sahip bir numune blok düşünüldüğünde görülebilir.

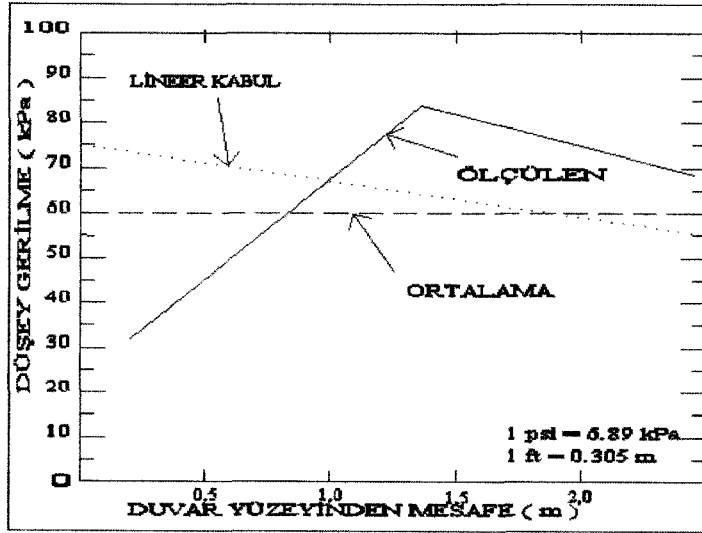
Bu numune blok kendi ağırlığı etkisinden doğan bir yatay toprak basıncı etkisine maruz kalmaktadır. Tabandaki maksimum gerilmeler ise o seviyedeki (i, seviyedeki) düşey gerilmeyle σ_{vi} temsil edilmektedir. Yatay toprak basıncı etkisi, bir devrilme momenti etkisine neden olmakta, bu etki de yatayda gerilme dağılımını ünlformluktan uzaklaştırmaktadır. Buna karşılık, dağılımın lineer olduğu varsayılarak tabandaki taşıma gücü değerlerinin tüm plan alanı boyunca basınç etkisinde olduğu kabul edilirse σ_{vi} ile gösterilen bu lineer dağılım duvar yüzeyi yakınındaki maksimum düşey gerilmeyle ifade edilen bir trapez dağılım görüntüsü çizer. Bununla birlikte her bir donatı elemanı, kırılma dairesinin ötesine kadar uzanarak sıyrılma etkisine karşı yeterli bir ankraj boyuna sahip olmak zorundadır. Böylece yeterli bir sürtünme direnci sağlanarak iç stabilite güvence altına alınmış olur.

Geleneksel donatılı zemin tasarım metotları, donatılı zemin kütle içerisinde gelişen gerilme ve deformasyonların hesabını içeren geniş bir analize sahip değildir. Bu nedenle gerçekte arazi ölçüm değerleri ile beklenen veya kabul edilen tasarım değerlerinin tam olarak karşılaştırılması mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte yine de tasarım ve arazi gözlemlerine ait bazı büyüklüklerin bire bir karşılaştırılması mümkündür.

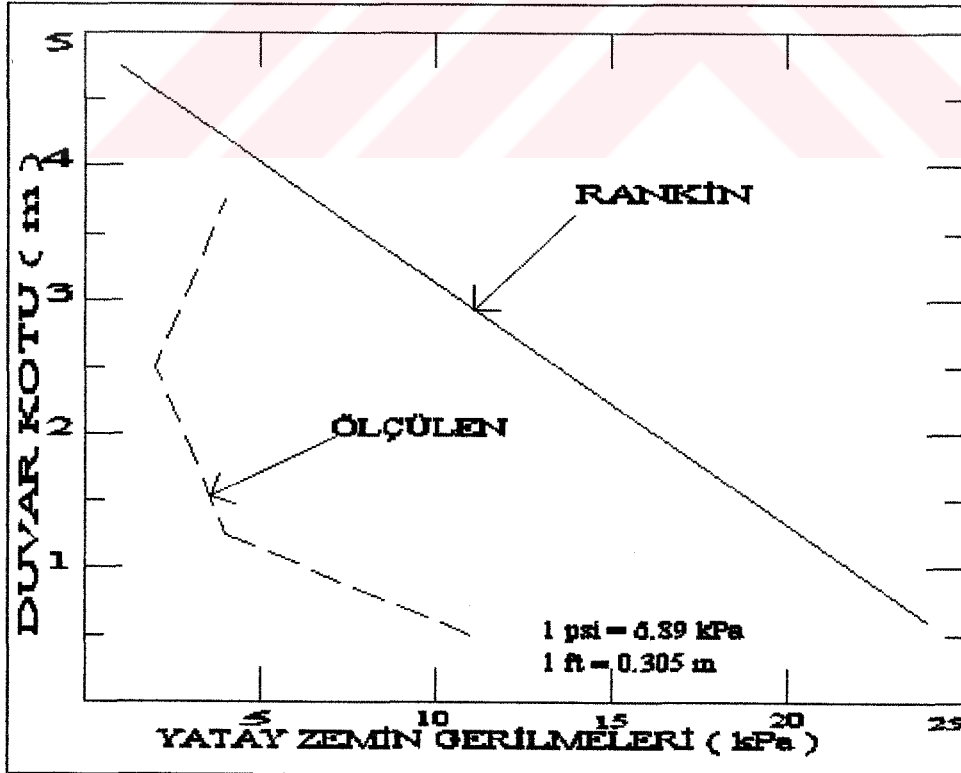
Arazi ölçümleri ilk olarak duvar inşası sırasında yapılmakta olup daha yapının tamamlanmasından bir yıl gibi süreden sonra ikinci okumalar yapılmaktadır. Bir yıllık süreç sonunda okumalarda meydana gelen düzensiz değişimler, mevsimlere bağlı ve zemin içerisinde ortaya çıkan fiziksel ve ısı değişimlerinden ileri gelmektedir. Özellikle ısı değişimlerinin donatılı zemin dayanma yapısı davranışı ve/veya okuma aletleri üzerindeki düzensiz etkisi oldukça önemlidir.

Deformasyonlara karşı direnç ölçen tipteki okuyucular sıcaklık değişimlerinden en az etkilenmektedir. Bu büyüklükte, bir yıllık süreç sonunda pek de önemli olmayan veya tutarlı sayılabilecek değişimler gözlenmiştir.

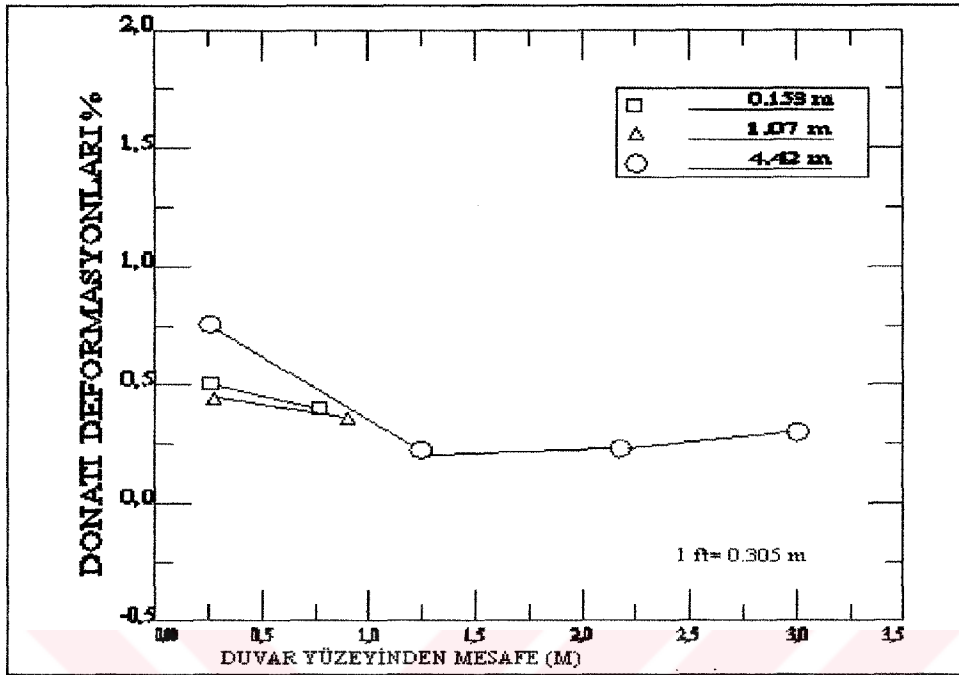
Donatı elemanlarında oluşması beklenen akma olayının, okumaların yapıldığı bir yıllık süreç sonunda ortaya çıkmadığı gözlemlenmiştir. Akma etkisinin, büyük bir olasılıkla sıcaklık değişimi etkisi tarafından ortaya çıkışının engellendiği söylenebilir. Bununla birlikte, geogrid donatı elemanlarında ölçülen gerilme seviyesinin zaten akma olayını ortaya çıkaracak büyüklükte olmadığı da gözlemler sonucu ortaya çıkarılan bir gerçektir. Aşağıdaki şekiller donatılı zemin kütlesi içerisindeki indüktans bobinlerden ve deformasyon ölçerlerden elde edilen gerilme – deformasyon davranışlarını göstermektedir.



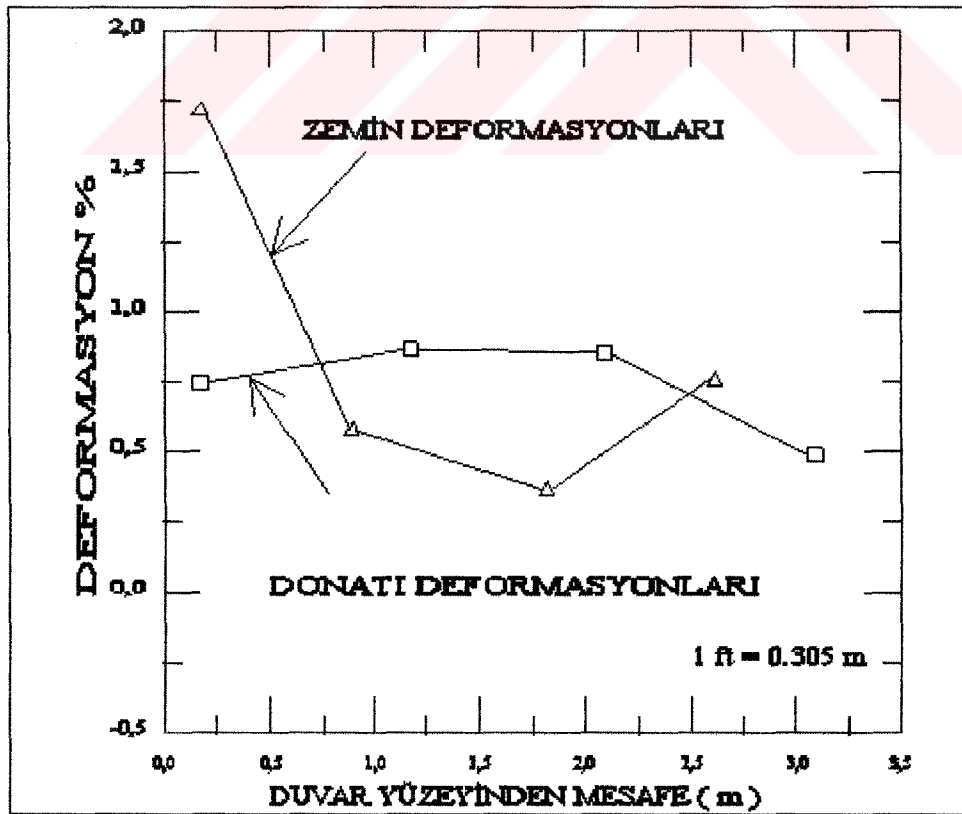
Şekil 2.11. Ölçülen düşey gerilme dağılımları (Vidal, 1978)



Şekil 2.12. Duvar yüzeyi yanında ölçülen yanal toprak basıncı (Vidal, 1978)

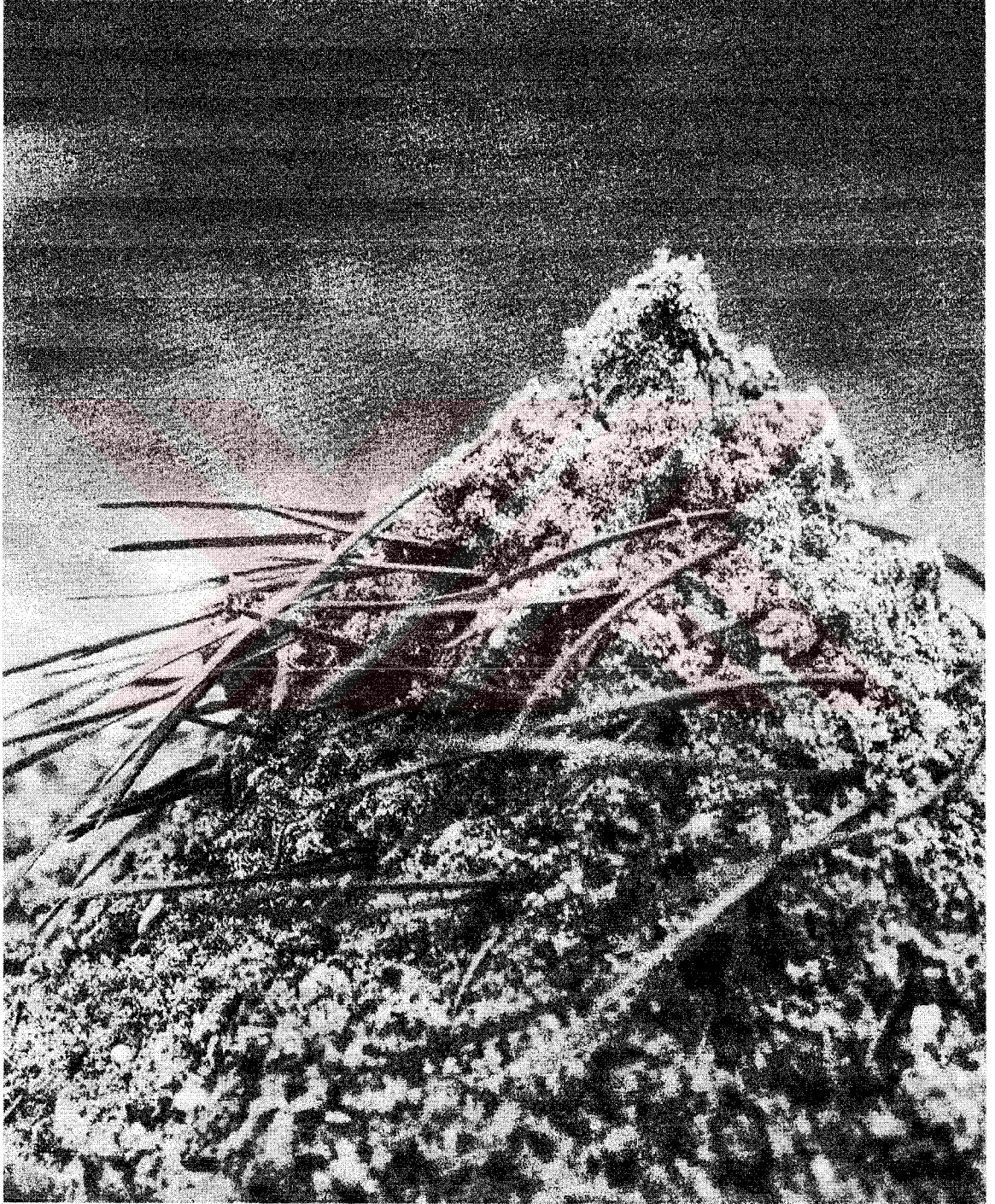


Şekil 2.13. Ölçülen geogrid donatı deformasyonları (Vidal, 1978)



Şekil 2.14. Ölçülen geogrid ve zemin deformasyonları mukayesesi (Vidal, 1978)

2.4 Donatılı Zemin Uygulama Alanları



Şekil 2.15:Zemin donatı birleşimi donatılı zemin kavramının özünü oluşturmaktadır (The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998)



Şekil 2.16: Tabiat şartlarına uygun donatılı istinat yapısı
(The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998)



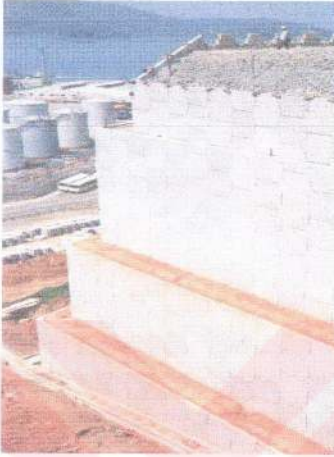
Şekil 2.17: Donatılı zemin inşaatı(Reinforced Earth Company kataloğu, 1998)



Şekil 2.18: Yol inşaatında istinat yapısı olarak kullanılışı
(The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998)



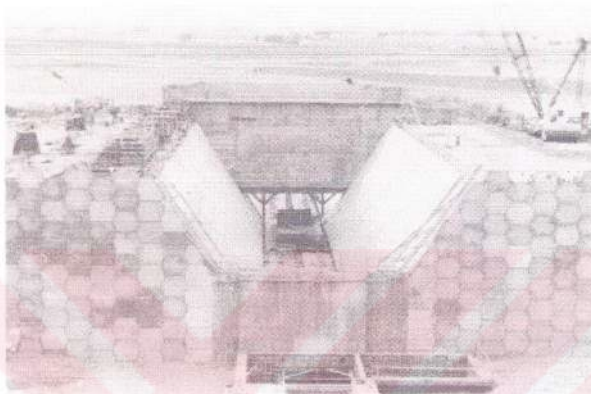
Şekil 2.19: Toprakarme inşaatında kullanılan dış yüzey panelleri
(The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998)



Şekil 2.20: İstinat yapısı olarak kullanılışı(The Reinforced Earth Company katalogu, 1998)



Şekil 2.21: (The Reinforced Earth Company, 1998) kataloğundan



Şekil 2.22 :Maden işletmesinde kullanılması(The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998)



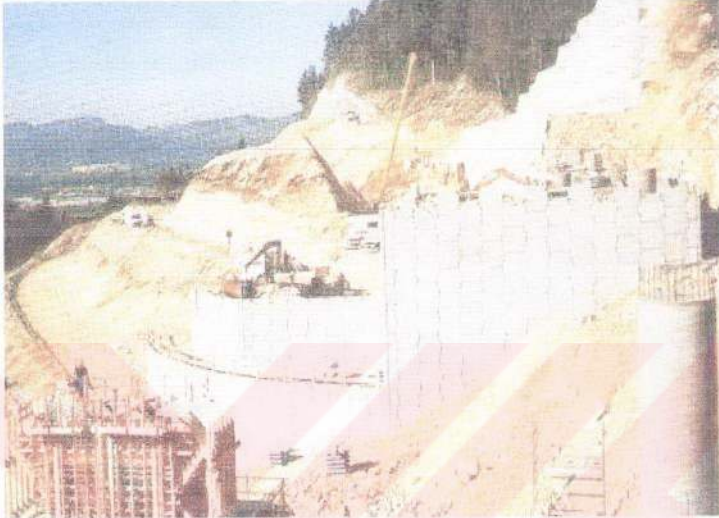
Şekil 2.23: İnşaat esnasında şeritlerin serilmesi(The Reinforced Earth Company kataloğu,1998)



Şekil 2.24: Silo inşaatında donatılı zeminin kullanılışı(The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998)



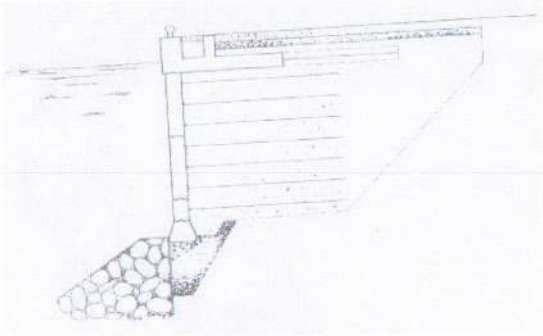
Şekil 2.25: Baraj inşaatında kullanılışı(The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998)



Şekil 2.26 : İnşaat esnasında (The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998)



Şekil 2.27: Geotekstil uygulaması (The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998)



Şekil 2.28: Kıyı yapısında donatılı zemin uygulaması (The Reinforced Earth Company kataloğu, 1998)

3. Materyal ve Metot

3.1. Plaxis Paket Program Hakkında Bilgi

Plaxis, geoteknik mühendisliği projelerinde stabilite ve deformasyon analizlerini çözmek amacıyla, sonlu elemanlar metodu kullanılarak hazırlanmış bir paket programdır. İlk olarak 1987 yılında Hollanda Devlet Su İşlerinin insiyatifinde Delf Teknik Üniversitesine yumuşak zeminlere oturan kıyı yapılarının projelendirilmesi amacıyla yaptırılmıştır. İlerleyen yıllarda Plaxis' in kullanımı geoteknik mühendisliği çevrelerinde yaygınlaşmıştır. Bunun üzerine 1993 yılında PLAXIS BV isimli şirket kurulmuş ve hala işlevini devam ettirmektedir.

Geoteknik uygulamalar, zamana bağlı zemin davranışları ile Lineer olmayan simulasyon için ileri yapısal modellere ihtiyaç duyar. İlave olarak zeminler çok safhali materyaller oldukları için zemin içindeki hidrostatik ve non-hidrostatik boşluk suyu basınçlarını göstermek için özel prosedürlere ihtiyaç duyarlar. Zeminleri modellemek başlı başına bir problem olmasına rağmen, çoğu geoteknik proje yapı modelleri ve zemin ile yapı etkileşimini içerir. Plaxis, karmaşık geoteknik yapıların çözümlerinin nasıl yapıldığını gösteren yada çözümüne imkan sağlayan alternatifleri sunmak için donatılmıştır.

3.2. Girdi Özellikleri

3.2.1. Geometri Modellerinin Grafik Özellikleri

Zemin tabakaları, yapılar, inşaat evreleri, yüklemeler ve sınır durumları uygun çizim metotlarına göre girilir (Bilgisayar destekli çizim esasına göre). Bu girdiler, tam ve gerçek durumun gerçekleştirilmesini sağlar. Girilen geometrik modele göre sonlu eleman ağları otomatik olarak oluşturulur.

3.2.2. Otomatik Ağ Oluşturma

Plaxis, ince lokal ve global ağ seçenekleri için sonlu eleman ağlarının tam otomatik olarak oluşturulmasına izin verir. Bu ağ binlerce eleman içerebilir.

3.2.3. Yüksek Mertebeli Elemanlar

Zemin içerisinde ve kırılma yükünün tam ve doğru olarak tahmininde düzgün gerilme dağıtımı için yüksek mertebeli eleman mevcuttur. Buna ilave olarak simetrik analizlerde mkemmek performans için kuadratik 6 düğümlü üçgen elemanlarla 15 düğümlü kübik üçgen elemanlar mevcuttur.

3.2.4. Kirişler

İstinat duvarı eğilmesi, tünel dış kabuğu ve diğer zayıf yapıları modellemek için özel kiriş elemanları kullanılır. Bu elemanların davranışı eğilme rijitliği, normal gerilme ve nihai moment değerleri ile tanımlanırlar. Elasto-plastik kirişler için nihai moment oluşsun oluşmasın plastik mafsalları yerleştirilebilir. Geoteknik yapıların büyük bir kısmının gerçekçi çözümleri kirişlerin i yüzey elemanlarının zemin ile etkileşiminin dikkate alınması ile birlikte yapılır.

3.2.5. Kiriş Mafsalları

Kiriş mafsalları, birleşme noktasındaki süreksiz dönmeye izin veren kiriş bağlantısıdır. Kiriş mafsalları kiriş ucuna serbestçe dönmeyi oluşturacak biçimde yerleştirilebilir.

3.2.6. Birleşim Elemanları

Zemin - yapı etkileşimi hesaplamalarında birleşim elemanlarına ihtiyaç duyulur. Birleşim elemanları, temellerin zeminle kontak kurdukları yerde, kazıklarda, geotekstillerde ve istinat duvarlarında yoğun kesme malzemelerinin zayıf zonlarını canlandırmak için kullanılırlar. Zemin çevresindeki kohezyon ve sürtünme açısı ile aynı olması gerekmeyen adhezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri bu elemanlara atanabilir.

3.2.7. Ankrajlar

Ankrajları ve destek elemanları modellemek için elastoplastik yay elemanları kullanılır. Bu elemanların davranışı normal kuvvet ve maksimum kuvvet değerleri kullanılarak tanımlanır. Kazı destekleri ve öngerilmeli yer ankrajlarının analizleri için Plaxis' de özel seçenek opsiyonu vardır.

3.2.8. Geotekstiller

Geotekstiller ve geogridler, uygulamada istinat duvarı yapılarında yada donatılı tabakaların inşasında sıkça kullanılır. Bunlar, Plaxis' de özel gerilme elemanları olarak tanımlanabilirler. Bu elemanların etrafındaki zemin ile etkileşiminin (interfaces komutu ile) modellenmesi genellikle uygun olur.

3.2.9. Tüneller

Plaxis, dairesel ve dairesel olmayan kemer tünelleri oluşturmak için uygun bir seçenek sunmaktadır. Tünel dış yüzeyini ve tünel dışındaki zemin ile etkileşimini

modellemek için kirişler (*Beams*) ve içyüzey (*interfaces*) komutları kullanılabilir. Tam izoparametrik elemanlar, sonlu eleman ağları ile birlikte eğrisel sınırları modellemek için kullanılırlar. Tünel inşaatından dolayı meydana gelecek deformasyonları analiz etmek için farklı pratik metodlar da uygulanabilir.

3.2.10. Sınır Şartları

Sınır durumunun belirtilmesi deformasyonların sıfır olduğu sınır çizgilerinin belirlenmesi (*boundary conditions*) komutu ile gerçekleştirilebilir. Bu durum X ve Y yönünde hem noktasal hem de çizgisel olarak uygulanır. Komutu verilen deplasmanlar, bu çizgilerin deplasmanını kontrol etmek için geometrik doğrularda komutlanmış özel durumlardır. Plaxis’ de bir çok durumda standart sınır şartlarını uygulamak için uygun seçenek vardır.

3.2.11. Yükler

Noktasal kuvvetleri ve katar yüklerini uygulamak için, iki bağımsız yük sistemi kullanılabilir. Noktasal kuvvetler herhangi bir geometrik noktaya uygulanırken, katar yükleri doğrusal bir çizgi üzerine uygulanır.

3.3. Zemin Davranışları

3.3.1. Malzeme Bilgileri

Yapı elemanlarının ve zeminlerin malzeme özellikleri proje dosyasına girilir. Kopyalanan bilgiler saklanarak diğer projelerde’ de kullanılabilir.

3.3.2. Mohr-Coulomb Modeli

Bu basit non-lineer model, çoğu pratik durumlarda bilinen zemin parametreleri temeline dayanan bir modeldir. Ancak zemin davranışının tüm non-lineer özellikleri bu modele dahil değildir. Buna rağmen Mohr-coulomb modeli kısa kazıklar ve dairesel temellerin gerçekçi nihai yüklerini hesaplamak için de kullanılabilir. Güvenlik faktörünü hesaplamak için “phi, c azaltımı” yaklaşımı kullanılabilir. Bu modelde 5 adet zemin parametresi vardır. Bunlar;

E: Elastisite modülü yada Young modülü

ν : poisson oranı.

C: Kohezyon.

ϕ : İçsel sürtünme açısı.

Ψ : Zahiri sürtünme katsayısı.

3.3.3. Lineer Elastik Model

Bu model izotropik lineer elastik Hooke kanununu temsil eder. Zemin tam izotropik olmadığı için bu model zemin davranışını tam olarak temsil edemez. Bu modelde Young modülü E, poisson oranı ν olarak bilinen iki adet elastisite parametresi vardır.

3.3.4. İleri Zemin Modelleri

Plaxis Mohr-Coulomb modeline ilave olarak farklı zemin modelleri ile analiz yapma imkanı da sunmaktadır. Bu modeller;

1-Yumuşak zemin modeli (soft soil model): Normal konsolide yumuşak zeminlerin logaritmik sıkışma davranışlarını doğru analiz etmek için kullanılan bir modeldir.

2-Yumuşak zemin krep modeli (soft soil creep model): Bu model, yumuşak zemin modelin ikincil sıkışmayı da içeren daha gelişmiş versiyonudur.

3-Setleşmiş zemin modeli (hardening soil model) : Aşırı konsolide killler ve kumlar gibi daha sert zeminler için hiperbolik modelin elasto-plastik tipidir.

3.3.5. Sabit Boşluksuyu Basıncı

Boşluk suyu basıncının sabit durumunu oluşturmak için iki alternatif yaklaşım vardır.

3.3.6. Zemin Suyu Akış Analizi

Karmaşık boşluksuyu basıncı dağıtımı iki boyutlu yüzeysel akış analizi temeline göre yapılabilir.

3.3.7. Phreatic Doğrular

Daha basit durumlar için bir alternatif olarak, tam lineer boşluksuyu dağıtımı phreatic doğrular temeline göre doğrudan oluşturulabilir. Her bir zemin tabakası için ayrı phreatic doğru girilebilir. Ayrıca zemin tabakalarındaki boşluk suyu basıncı birbirine bitişik zemin tabakalarındaki boşluksuyu basıncından interpolate edilebilir.

3.3.8. Aşırı Boşluksuyu Basıncı

Plaxis, drenajlı ve drenajsız zeminleri modellemek için geçirimli kumlarla geçirimsiz killeri arasındaki farkı ayırt eder. Aşırı boşluk suyu basıncı, drenajsız zemin tabakaları yüklendiği zaman plastik hesaplamalar boyunca dikkate alınarak hesap edilir. Drenajsız yükleme durumları geoteknik yapıların stabilitesi için kesindir. Yetersiz stabilite olduğu takdirde aşırı boşluksuyu basıncını azaltmak için normal konsolidasyon periyotlarına girilebilir.

3.3.9. İlk Gerilme Oluşumu

Plaxis' de ilk gerilmeler, kendi ağırlık yüklerini yada sükunetteki toprak basıncı katsayısı K_0 ' ı kullanarak oluşturulabilir. Cam-Clay tip modeller için ön konsolidasyon basıncını oluşturmak (OCR:Overconsolidation ratio) yada POP (Pre-overburden pressure) ile mümkündür.

3.4. Hesap Özellikleri

Hesap programı sadece deformasyon analizleri ile ilgilenir ve plastik hesap, konsolidasyon analizi ve güncellenmiş ağ analiz arasında seçim yapar. Her bir proje hesaplama öncesinde değişik hesaplama evrelerine ayrılabilir.

3.4.1. Plastik Hesap

Plastik hesaplamada yük arttırıcılar aktif hale getirilir. Uygulanmak istenen noktasal yük ile yayılı yük öngörülen deplasman, zemin ağırlığı ve inşaa metodunun canlandırılması için özel bir özellik vardır.

3.4.2. İşaat Safhaları

Eleman kümelerini aktif hale getirerek inşaat ve kazı metotlarını canlandırmak mümkündür. Bu metot meydana gelen deplasman ve gerilmelerin gerçekçi olarak değeriendirilmesini sağlar. Derin temel kazılarında ve toprak baraj inşaatlarında olduğu gibi inşaat safhaları seçeneğinde boşluk suyu basınç dağıtımını da değıştirilebilir.

3.4.3. Konsolidasyon

Konsolidasyon analizlerinde zamanla aşırı boşluksuyu basınçlarından meydana gelen çökme hesap edilebilir. Konsolidasyon analizlerinde farklı zemin tabakalarındaki permeabilite katsayısının girilmesine de ihtiyaç duyulur. Otomatik zaman adımı metodu analizleri sağlam ve kolay olarak kullanılır.

3.4.4. Geliştirilmiş Lagranj Analizi

Bu seçenek kullanıldığında hesaplama süresince sonlu eleman ağıları sürekli güncelleştirilir. Bazı durumlarda geleneksel küçük strain analizleri geometride bir değışiklik gösterebilir. Bu durumlarda daha kesin hesaplama için geliştirilmiş lagranj hesaplaması önerilir. Bazı durumlarda daha kesin hesaplama için geliştirilmiş ağ analizi olarak adlandırılan lagrangian hesaplaması önerilmektedir.

3.4.5. Güvenlik Faktörü

Güvenlik faktörü genellikle kırılma yükünün çalışma yüküne oranı olarak tanımlanır. Bu tanım temel yapıları için uygundur fakat dolgu ve kazıklar için uygun değildir. Uygun olmayan ikinci tip yapılarda, eşitliklerde ihtiyaç duyulan mevcut kesme gerilmesinin minimum kesme gerilmesine oranı olan güvenlik faktörünün, zemin mekaniği tanımlarında olduğu gibi kullanılması uygundur. Plaxis’ de güvenlik faktörü “phi-c azaltımı” metodu kullanılarak hesap edilir.

3.4.6. Hesap Yöneticisi

Hesap yöneticisinde son hesaplamalar için farklı projeler seçilebilir. Bu seçenek bilgisayar kullanımının daha verimli çalışmasını sağlar. Alternatif olarak bu seçenek parametrik çalışmalarda kullanım için uygundur.

3.4.7. Otomatik Yük Adımları

Plaxis otomatik zaman adım metodunda ve otomatik adım boyutunda çalıştırılabilir. Bu kullanıcıyı kendi başlarına plastik hesaplama için uygun yük artım seçme ihtiyacından alıkoyar. Buda sağlam ve garantili hesaplama metodunu sağlar.

3.4.8. Yay Uzunluğu Kontrolü

Bu özellik, meydana gelen çökme yükü ve kırılma mekanizmasının tam ve doğru olarak hesaplanmasına imkan sağlar. Geleneksel yük kontrollü hesaplamaların iterative yöntemlerinde sistem kırılır kırılmaz zayıf bölge yanındaki yük artırılır.

Arc-length kontrol ile zayıf yükü yada herhangi bir rezidual yükü yakalamak için uygulanan yükün ölçeği küçültülür.

3.5. Çıktı Özellikleri

Plaxis paket program bilgisayar sonuçlarını görüntülemek için grafik özellikleri zenginleştirmiştir. Tam deplasman değerleri, gerilme ve yapı kuvvetleri çıktı tablolarından alınabilir. Grafikler tam renkli ve tablolar windows destekli printer yada plotter' dan direkt alınabilir.

3.5.1. Deformasyonlar

Deformasyonlar için grafik çıktılar mevcuttur. Bu çıktılar deforme ağlar, toplam ve incremental deplasmanlar ile yerdeğiştirmelerdir. Tüm deplasman ve oturma grafikleri deplasman çizgileri kontur çizgileri yada gölge ile görüntülenebilir.

3.5.2. Gerilmeler

Gerilmelerin grafik çıktılarında, efektif gerilmeler, toplam gerilmeler, boşluksuyu basıncı ve aşırı boşluksuyu basınçları vardır. Gerilmeler ekranda kontur çizgileri ve kontur gölgeleri ile görüntülenebilir.

3.5.3. Yapı Kuvvetleri ve Deplasmanlar

Kesme kuvvetleri ve aks kuvvetlerinin direkt çıktıları için grafik ve tablolar mevcuttur. Bunun yanında yapı elemanlarının deplasman ve gerilmelerinin çıktıları da ekranda görüntülenebilir.

3.5.4. Enine Kesit

Plaxis' de geometrinin istenen kesitinde gerilme ve deplasmanların tüm tiplerinin grafik olarak oluşturulması için uygun seçenek vardır.

3.5.5. Yük-Deplasman Eğrileri ve Gerilme İzi

Yük-deplasman, Gerilme-oturma ve gerilme izi eğrileri çizimi için özel bir aygıt vardır.

3.6. Plaxis Hakkında Bilgi

Plaxisi kullanarak sonlu eleman ağlarını gerçekleştirmek için kullanıcı sonlu eleman modeli, malzeme özellikleri ve sınır durumunu oluşturmak zorundadır. Bu *INPUT* programda yapılır. Sonlu eleman ağlarını kurmak için, kullanıcı oluşturulan noktalar, doğrular ve diğer elemanları kullanarak iki boyutlu geometri modeli oluşturmalıdır. Sonlu eleman ağları, sınır durumu ve diğer elemanlar girilen geometrik modele göre plaxis tarafından otomatik olarak yapılır. Yeterli olmayan yada yanlış girdi durumlarında plaxis tarafından ikaz edilecektir ve yanlışın kullanıcı tarafından düzeltilmesi istenecektir.

3.6.1. Girdiler ve Hesaplamalar

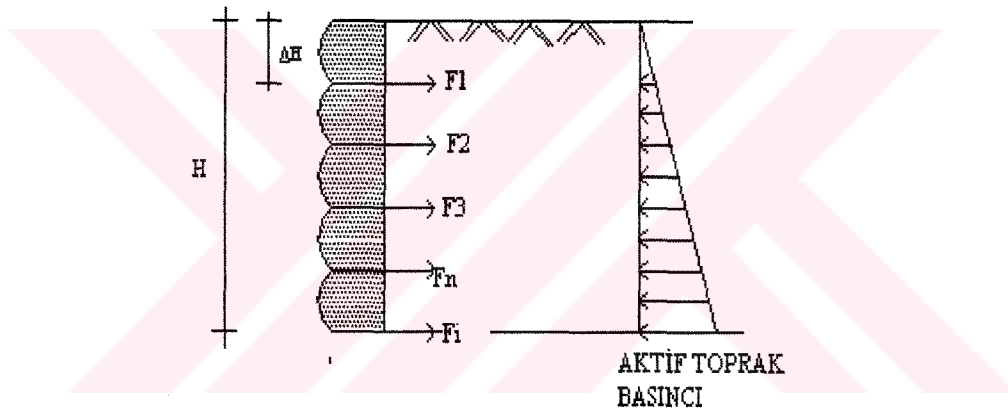
Program çalıştırılmaya başlandığında görülen diyalog kutusunda ya mevcut olan bir projenin açılması yada yeni bir proje oluşturulması istenecektir (*Exist project, new project*). Eğer *new project* seçilirse *general settings* penceresi görülecektir. *General settings* penceresinde projede kullanılacak birimlerin (Uzunluk, yük ve zaman) girilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda geometrik çizimin yapılacağı çizim alanı ve grid oluşturulması da bu pencere içindedir. Çizim alanı oluşturulduktan sonra projenin geometrisi CAD (Bilgisayar destekli çizim) esasına göre gerçek boyutlarında çizilir. Bunun için *Geometry line* seçeneği kullanılır. Geometrik çizim tamamlandıktan sonra kiriş, ankraj, tünel, geotekstil gibi yapı elemanları uygun seçenekler kullanılarak çizilir (*Beams, anchors, tunnel, geotextil*). Yapı elemanları ve zemin tabakaları belirlendikten sonra *the material sub-menu* ye girilir. Zemin özellikleri (birim ağırlık, permeabilite katsayısı, elastisite v.b) ve hesaplamada kullanılacak model (mohr-coulomb, linear elastik model v.s) tanımlanır. Aynı şekilde yapı elemanları ile ilgili bilgiler girilir. Zemin ve malzeme bilgileri girildikten sonra bu bilgiler daha önce geometrisi oluşturulan projede uygun yerlere atanır. Böylece projeye ilgili bilgilerin girişi tamamlanmış olur.

Geometrik bilgiler tamamlandıktan sonra *Mesh generation* seçeneği ile sonlu eleman ağları otomatik olarak oluşturulur. Sonlu eleman ağlarının oluşturulmasından sonra *Calculation* komutu ile projenin hesabı tamamlanır.

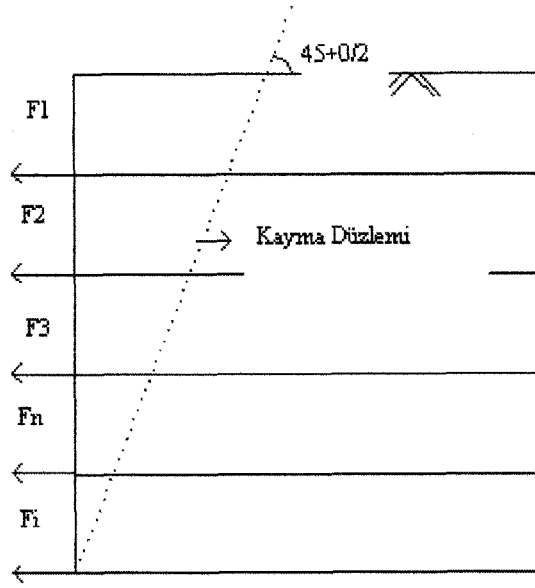
Hesaplamalar sona erdikten sonra tüm deplasman, gerilme ve yapıya gelen yüklerle ilgili bilgileri ekranda görüntülemek, print almak mümkündür.

3.7. Donatılı Zemin Hesabı

El ile yapılan donatılı zemin hesabında “Terre arme” olarak bilinen toprakarme yapıların şerit uzunluğunun nasıl bulunduğu araştırıldı. H yüksekliğinde bir toprakarme duvarda düşey şerit yükseklikleri sabit (yapım kolaylığı ve ekonomi için), yatay şerit mesafeleri sabit ve 1m olarak alındı. Hesaplamalar Mohr-coulomb parametreleri kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.1. Her bir şeride gelen eksenel yükler (DAS.B.M)



Şekil 3.2. Kayma düzlemi ile eksenel kuvvetler (DAS.B.M)

Donatılara gelen eksenel kuvvetler aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.

$$F_1 = \frac{1}{2} \cdot K_A \cdot (1,5\Delta H)^2$$

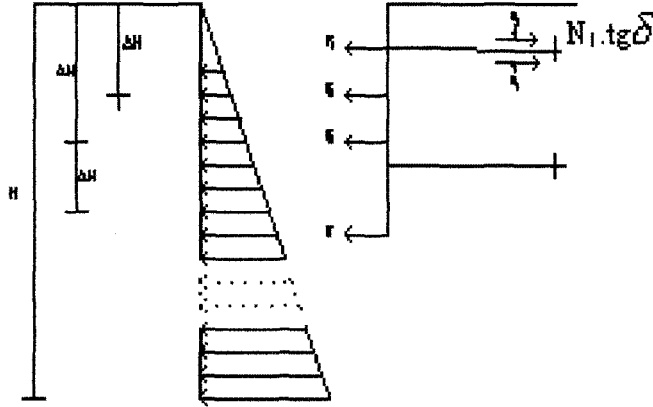
$$F_2 = \frac{1}{2} \cdot K_A \cdot (2,5\Delta H)^2 - F_1$$

$$F_3 = \frac{1}{2} \cdot K_A \cdot (3,5\Delta H)^2 - F_1 - F_2$$

$$F_n = \frac{1}{2} \cdot K_A \cdot \left(\left(n + \frac{1}{2} \right) \Delta H \right)^2 - F_{n-1} - F_{n-2} - \dots - F_1$$

$$F_i = \frac{1}{2} \cdot K_A \cdot (i \Delta H)^2 - \Sigma F_n$$

En alt şeritte $i = N$ olarak alınacaktır.



Kesit tesirlerine göre çubuklarda kopma ve sıyrılma tahkikleri yapılır(DAS.B.M)

3.8. Kopma Tahkiki

Kopma tahkiki için ilk olarak şeritlere gelen eksenel kuvvetler belirlenir. Bu kuvvetlerden en büyük kuvvet (F_{max}) belirlenir. Şerit malzemenin kopma gerilmesi bilindiğinden A kesitinin boyutu kolayca bulunur.

$$A = \frac{F_{max}}{\sigma} \quad (5.1)$$

Bulunan A kesitinden faydalanarak standartlara uygun A_1 kesiti seçilir. Seçilen kesit emniyetli kopma gerilmesi ile mukayese edilir.

$$\sigma_s = \frac{F_{max}}{A_1} \quad (5.2)$$

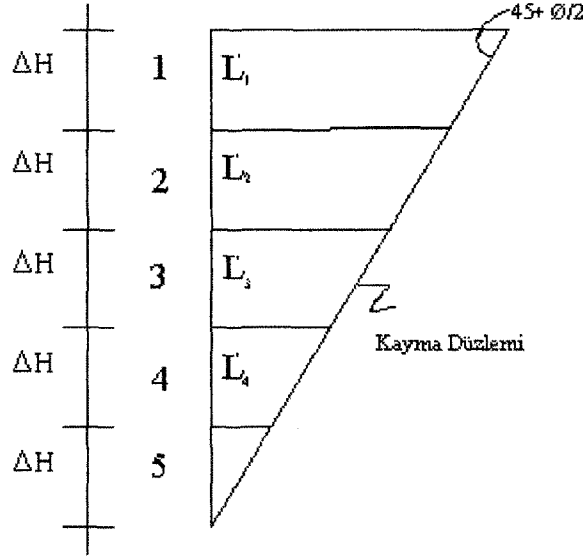
Bu mukayese sonucunda:

$\sigma_s < \sigma$ ise kopma tahkikine göre kesit uygundur.

Aksi durum söz konusu ise kesit boyutları değiştirilir

3.9. Sıyrılma Tahkiki

Sıyrılma tahkikinde seçilen kesitten faydalanılır. Kayma düzlemi içinde kalan şerit boyu yok kabul edilerek belirli bir güvenlik katsayısı sınırlarında etkili donatı boyu hesaplanır.



Şekil 3.3. Kayma düzlemi içindeki etkisiz şerit boyları(DAS.B.M)

$$L'_1 = 4\Delta H \cdot \phi \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$L'_4 = \Delta H \cdot \operatorname{tg} \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \dots \dots \dots (5.3)$$

$L'_1, L'_2, \dots, L'_n$: Kayma düzleminde kalan ancak etkili olarak çalışmayan şerit boylarıdır.

Düşey şerit mesafeleri (ΔH), montaj kolay ve ekonomi açısından genellikle eşit alınır. Güvenlik katsayısı seçilir ve aşağıda verilen formüle göre etkili donatı uzunlukları hesap edilir.

$$F_1^* G_s = \gamma (n \cdot \Delta H) \cdot \operatorname{tg} \delta (L_n - L'_1) * s * 2 \quad (5.4)$$

G_s : Güvenlik Sayısı

s : Şerit genişliği

L_n : Şerit uzunluğu

δ : Zahiri sürtünme açısı

3.10. Problem

İçsel sürtünme açısı $\Phi=30^\circ$, kuru birim ağırlık $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$, yüksekliği $H=1.5 \text{ m}$, şerit genişliği 1 m , şerit kopma gerilmesi $14 \times 10^4 \text{ KN/m}^2$ ve içsel sürtünme açısı 20° olan toprakarme duvarda şerit hesabı yapılacaktır.

Şerit boyutu $3 \times 80 \text{ mm}$ ve şerit sayısı $n=5$ seçildiğinde düşey şerit mesafesi 0.30 m olarak alınarak (5.1), (5.2), (5.3), (5.4) ifadeleri yardımıyla aşağıdaki şerit boyları bulunur:

$L_1=300 \text{ cm}$

$L_2=258 \text{ cm}$

$L_3=241 \text{ cm}$

$L_4=223 \text{ cm}$

$L_5=98 \text{ cm}$

3.11. Q BASIC Bilgisayar Programı

Yukarıda bulunan şerit boylarının daha seri biçimde yapılması için QBASIC Programlama dilinde bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bu program iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci bölümde programa şu bilgiler girilir:

İçsel sürtünme açısı, Φ

Birim hacim ağırlık, $\gamma \text{ (gr/cm}^3\text{)}$

Duvar yüksekliği, $H \text{ (m)}$

Şerit sayısı, N

Şerit kopma gerilmesi, $G \text{ (kN/m}^2\text{)}$

Girilen bu bilgiler sonucunda A kesitinin kesit alanı program tarafından bulunur. Bu kesit alanına göre standartlara uygun kesit yeniden girilir. Tekrar girilen kesitin kopma durumu bilgisayar tarafından mukayese edilir. Seçilen kesit uygunsa Bilgisayara şu bilgilerin girilmesi gerekmektedir.

Güvenlik katsayısı, G_s

Şerit genişliği (m)

Zahiri sürtünme açısı

Bu değerler girildikten sonra bütün şerit boyları hesaplanır. Q Basic Programlama dilinde yazılan bu programın listesi aşağıdadır.

CLS

5 INPUT "G" ; G

10 INPUT "Φ" ; Φ

20 INPUT "γ" ; γ

30 INPUT "H=" ; H

40 INPUT "N=" ; N

45 DIM F(N+2) : DIM FL(N+2) : DIM FT(N+2) : DIM (K+2) : DIM L(L+2) : DIM L

50 DH=H/N : XL=((45-(Φ/2))*(22/7))/180

60 DH=TAN(XL)^ 2

70 F(0) =0:TOPLAM=0

75 FOR J=1 TO N

76 IF J=N THEN GO TO 79

77 L=J+1/2

78 GOTO 82

79 L=N

82 K=L*DH

83 X=K*K

84 Y=G*KA*X

90 FL(J) =Y/2

92 F(J)=(FL(J)-TOPLAM): FT(J)=F(J)

```
96 TOPLAM =TOPLAM+F(J)
110 NEXT J:K(1) =F(1)
120 FOR T=1 TO (J-1)
130 IF K(T)<F(T+1) THEN K(T) =F(T+1):FBUY=F(T)
140 NEXT T
145 FOR R=1 TO N :PRINT "F";(R) ,"="; F(R) : NEXT
150 PRINT "MAX F=" ;FBUY
210 A=F MAX/SIGMA
220 PRINT "A=";A
GİR
250 INPUT "A1 GİR" ;A1
260 SIGMA1 =F MAX/A1
270 IF SIGMA1<SIGMA THEN PRINT "SEÇİLEN KESİT UYGUN";A1
275 IF SIGMA1>SIGMA THEN PRINT "SEÇİLEN KESİT UYGUN DEĞİL":
PRINT "YENİDEN";
280 GR=N :XR=TAN(XL)
290 FOR R=1 TO N
300 GR=GR-1
310 L(R) =DH*XR*GR
320 PRINT "L="; (R); "="; L(R)
330 NEXT
340 INPUT "ZAHİRİ SÜRTÜNME AÇISINI GİR";F12
345 INPUT "GÜVENLİK KATSAYISI" ;GS
346 INPUT "ŞERİT GENİŞLİĞİ";SER
350 FZ=TAN((F12 *(22/7)/180))
360 FOR R=1 TO N
370 LL(R)=((F(R)*GS)/(G*R*DH*FZ*2*SER))+L(R)
380 PRINT "L=";(R); "=";LL(R)
390 NEXT
```

Programı çalıştırmak için SHIFT+F5 tuşlarına birlikte basmak yeterlidir.

3.12. Q BASIC Bilgisayar Programı Sonuçları

Bu kısımda değişik yüksekliklerdeki toprakarme duvarlarda şerit boyları hesaplanmış ve aşağıdaki tablo oluşturulmuştur.

$$\Phi=30^0$$

$$\gamma=18\text{kN/m}^3$$

$$G=14 \times 10^4 \text{ kN/m}^2$$

$$G_s=1.2$$

$$\text{Şerit genişliği}=0.08\text{m}$$

$$\text{Zahiri sürtünme açısı}=20^0$$

$$H : 1.5 \text{ m}, 3.0 \text{ m}, 4.5 \text{ m}, 6.0 \text{ m}$$

$$N: 5, 6$$

$$DH: 0.30 \text{ m}, 0.60 \text{ m}, 0.90 \text{ m}, 1.00 \text{ m}, 1.20 \text{ m}$$

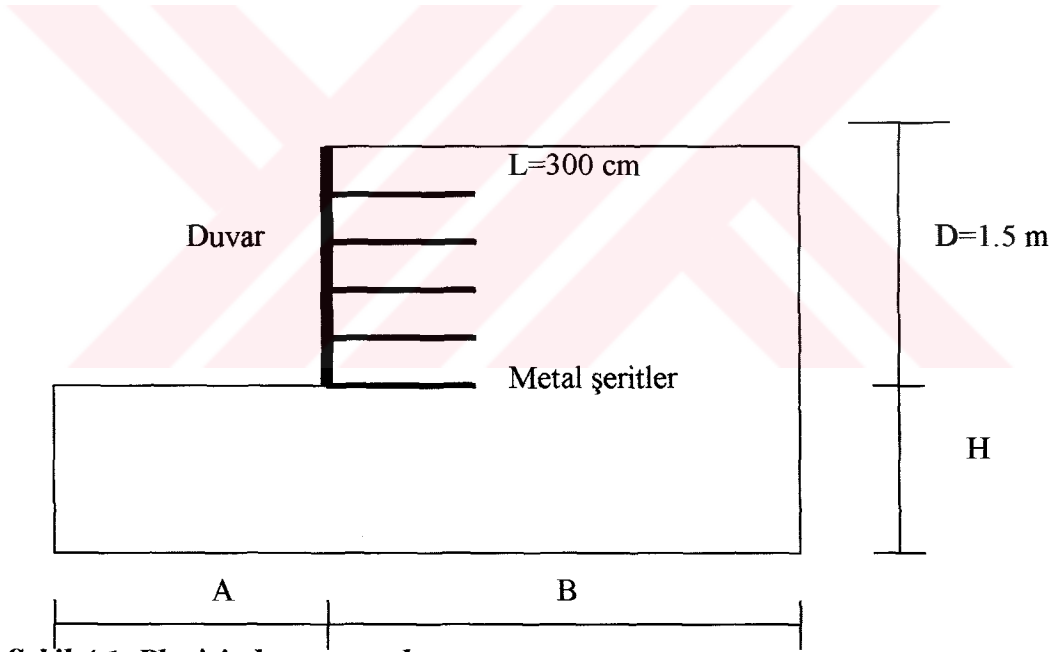
Tablo 3.1. Bilgisayar programından elde edilen şerit boyları.

H(m)	L1(m)	L2(m)	L3(m)	L4(m)	L5(m)	L6(m)	DH(cm)
1.50	3.00	2.58	2.41	2.24	0.98		30
3.00	6.00	5.16	4.82	4.47	1.96		60
4.50	9.00	7.74	7.22	6.71	2.94		90
6.00	12.00	10.32	9.63	8.94	3.92		120
6.00	10.62	9.18	8.61	8.03	7.45	3.29	100

4. Bulgular ve Değerlendirmeler

4.1. Plaxis' de Sınır Şartlarının Araştırılması

Plaxis paket programı ile ilgili detaylı bilgiler Bölüm 3' te verilmiştir. Plaxis' de hesap yapmak için ilk olarak projenin geometrisinin girilmesi gerekir. Çok sayıda problem çözümünde değişik sınırlarda alınan geometriler farklı sonuçlar ortaya çıkardı. Şekil 4.1' de görülen geometride A, B ve H boyutları ile oynanarak sınır etkileri araştırılmıştır.

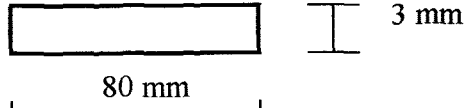


Şekil 4.1. Plaxis' de sınır şartları araştırması

Şekil 4.1' de geometrisi oluşturulan yapı ile ilgili olarak zemin, duvar ve şerit elemanlarına ait parametreler aşağıda verilmektedir.

4.2. Şerit Parametreleri

Şekil 4.2' de görüldüğü gibi şerit kesit boyutu 3 mm x 8 mm olarak alınmıştır.



Şekil 4.2. Şerit enkesiti

Bu ölçülerden faydalanarak aşağıdaki büyüklüklere ulaşılmıştır.

Kesit alanı: $A=2.4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

Atalet momenti: $I=6 \times 10^{-10} \text{ m}^4$

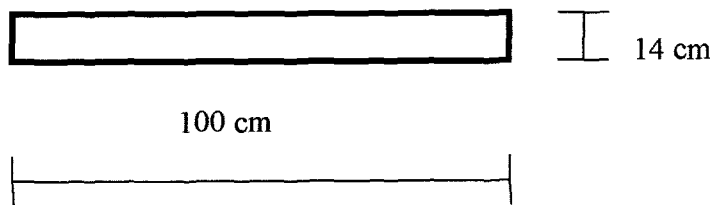
Elastisite modülü: $E=21 \times 10^7 \text{ kn/m}^2$

Eksenel rijitlik: $AE=50400 \text{ kN/m}^2$

Eğilme rijitliği: $EI=0.136 \text{ KN.m}^2$

4.3. Duvar parametreleri

Şekil 4.3' te görüldüğü gibi duvar genişliği birim genişlik olan 100 cm alınmıştır. Duvar kalınlığı ise toprakarme duvarlarda sıkça kullanılan 14 cm olarak alınmıştır. Bu geometrik ölçüler bağlamında aşağıdaki büyüklükler hesap edilmiştir.



Şekil 4.3. Duvar enkesidi

Kesit alanı: $A=0.14 \text{ cm}^2$

Atalet momenti: $I=1.372 \times 10^{-3} \text{ m}^4$

Elastisite modülü: $E=21 \times 10^6 \text{ KN/M}^2$

Eksenel rijitlik: $AE= 2940 \text{ kN}$

Eğilme rijitliği: $EI=28812 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$

4.4. Zemin Parametreleri

Seçilen zemin kum olup gerekli parametreler ilgili tablolardan alınmıştır.

Kuru birim ağırlık: $\gamma_{\text{dry}}=18 \text{ KN/m}^3$

Permeabilite katsayıları: $k_x=k_y=1.00$

Elastisite modülü: $E_{\text{ref}}= 40000 \text{ KN/m}^2$

Poisson oranı: $\nu= 0.30$

Kohezyon: $c= 1 \text{ KN/m}^2$

İçsel sürtünme açısı: $\Phi= 30^\circ$

Zahiri sürtünme açısı: $\Psi=20^\circ$

Geometrik sınırın değiştirilmesi ile birlikte yapı elemanında meydana gelen eksenel yüklerin değişimi ile ilgili olarak tablo 4.1 oluşturulmuştur.

Tablo 4.1. Plaxis' de sınır şartlarının araştırılması

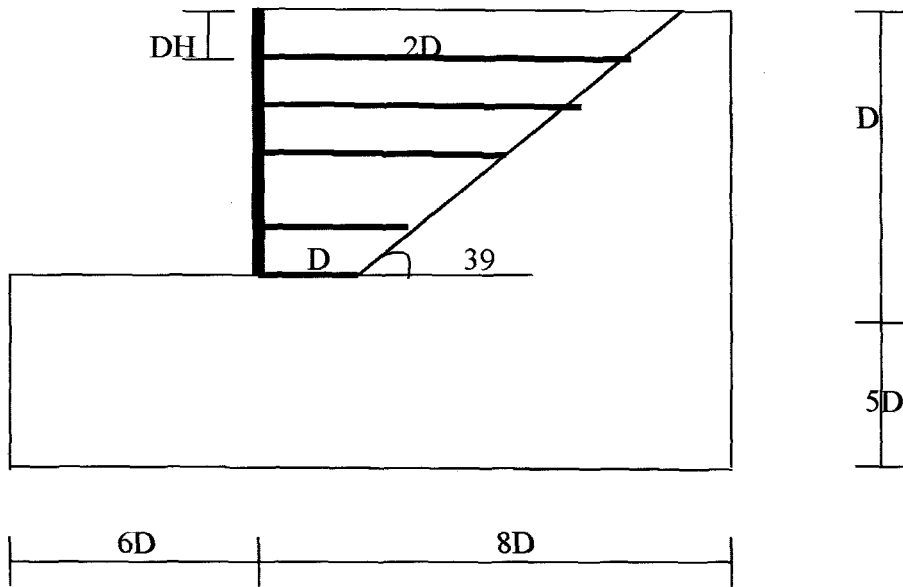
A(m)	B(m)	H(m)	F1(kN/m)	F2(kN/m)	F3(kN/m)	F4(kN/m)	F5kN/m)
3 (2D)	6(4D)	1.5(D)	0.788	1.16	1.66	2.15	2.37
6 (4D)	“	“	0.827	1.18	1.67	2.12	2.15
9 (6D)	“	“	0.835	1.19	1.69	2.16	2.37

“	9 (6D)	“	0.811	1.18	1.68	2.13	2.29
“	12(8D)	“	0.811	1.19	1.69	2.18	2.67
“	“	3 (2D)	0.702	1.20	1.75	2.26	2.60
“	“	6 (4D)	1.04	1.20	1.74	2.19	2.66
“	“	7.5(5D)	0.984	1.21	1.73	2.13	2.69

Plaxis’ de yapılan hesaplarda A, B ve H geometrilerinin 6D, 8D ve 5D olarak alınmasının uygun olacağı yukarıdaki tabloda görülmektedir.

4.5. Q BASIC Sonuçlarının Plaxis ile Mukayese Edilmesi

Q Basic’ le bulunan şerit boylarının Plaxis’ de kontrolü yapılarak uygun deplasman, kesme kuvveti ve eğilme momentinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olup olmadığı araştırıldı. Bu amaçla çok sayıda plaxis çözümü yapıldı ve aşağıdaki sonuçlara ulaşıldı.



Şekil 4.4. Plaxis’ de donatıların geometrik olarak yerleştirilmesi

Tablo 4.2' de daha önce Q Basic programı ile yapılan değişik yüksekliklerdeki şerit boyları görülmektedir. 1.5 m, 3.00 m, 4.50 m ve 6.00 m yükseklikteki duvarların şerit sayısı ve düşey şerit mesafeleri tabloda görülmektedir. Q Basic' le bulunan şerit boylarına grafik olarak benzer boylarda şeritlerle Plaxis de modeller oluşturuldu. Buradan elde edilen sonuçlar;

- 1- Duvar yüksekliği arttıkça yanal deplasman artmaktadır. Plaxis hesaplarda deplasmanları dikkate alırken, Q Basic almamaktadır.
- 2- Duvar yüksekliği arttıkça maksimum eğilme momenti artmaktadır. Bu da duvarın eğilmeye karşı dayanımının tekrar kontrol edilmesi gereğini ortaya çıkarmaktadır. Yada düşey şerit mesafelerinin arttırılmasını gerektirmektedir.
- 3- Yüksekliğe bağlı olarak maksimum kesme kuvveti de artmaktadır. Bu da kayma gerilmesinin kontrolünü gerektirmektedir.
- 4- 4.5 m yüksekliğe kadar yanal deplasmanlarla ilgili problem görülmemekte ancak daha sonraki yüksekliklerde şerit sayısının arttırılması gerekmektedir.
- 5- Plaxis ve Program sonuçları D yüksekliklerinin küçük olduğu durumlarda birbirine yakinken, daha büyük D' ler de değişmektedir.

Yukarıdaki sonuçlar ışığında Q Basic' le bulunan sonuçlar Plaxis' le doğrulmuş ve Şekil 4.4' e benzer bir geometri oluşturulmuştur. Buna göre 4.5 m yüksekliğe kadar olan duvarlarda 5 adet şerit konabilirken, 4.5 m' nin üzerindeki duvarlarda düşey şerit mesafelerinin 1.00 m' yi aşmaması gerekmektedir. Tablo 4.2' de de görüleceği gibi 6 m yüksekliğindeki duvara 5 adet şerit konduğu zaman 22.37 mm' lik deplasman olurken, 6 adet şerit konduğu zaman deplasman 21.65 mm olmaktadır.

Şekil 4.4 yardımıyla herhangi bir hesaba gerek kalmaksızın donatılı bir duvarın şerit boyları ile ilgili mühendisçe bir yaklaşım sergilenebilir.

Tablo 6.2. Plaxis ile Q Basic' in mukayese edilmesi.

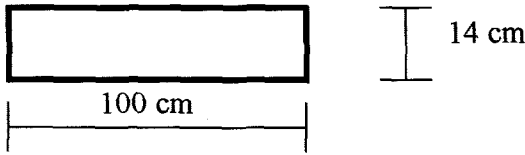
Şerit boyu (cm)	Q'BASIC	PLAXIS	D=1.5m DH=30 cm
L1	300	300	Max ΔL =2.36 mm Max T=0.423 kN/m Max M=0.329 kN.m/m
L2	258	263	
L3	241	225	
L4	224	188	
L5	98	150	
			D=3 m DH=60cm
L1	600	600	Max ΔL =5.2 mm Max T=0.678 kN/m Max M=0.414 kN.m/m
L2	516	525	
L3	482	450	
L4	447	375	
L5	196	300	
			D=4.5m DH=90 cm
L1	900	900	Max ΔL =12.04 mm Max T =1.26 kN/m Max M=0.528 kN.m/m
L2	774	788	
L3	722	675	
L4	671	563	

L5	294	450	
Şerit boyu(cm)	Q'BASIC	PLAXIS	D=6 m DH=120 cm
L1	1200	1200	Max ΔL =22.37 mm Max T=1.88 kN/m Max M=1.16 kN.m/m
L2	1032	1050	
L3	963	900	
L4	894	750	
L5	392	600	
			D=6 m DH=100 cm
L1	1062	1200	Max ΔL =21.65 mm Max T=1.56 kN/m Max M=0.958 kN.m/m
L2	918	1080	
L3	861	960	
L4	803	840	
L5	745	720	
L6	329	600	

Bölüm sonunda EK-A' da, duvar yüksekliği 3 m ve şerit sayısı 5 olan bir donatılı duvarın Plaxis sonuçları detaylı bir biçimde verilmiştir.

4.6. Betonarme Duvar Tahkiki

Tablo 4.2' de bulunan maksimum moment ve maksimum kesme kuvvetine göre betonarme duvarda eğilme ve kayma tahkiklerinin yapılması gerekmektedir.

4.6.1. Eğilme Tahkiki

$$M_{\max} = 1.16 \text{ kN.m/m} = 11600 \text{ kg.cm}$$

$$W = 100 \cdot 14^2 / 6 = 3266 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\text{em}} = M_{\max} / W$$

$$\sigma_{\text{em}} = 11600 / 3266 = 4 \text{ kgf/cm}^2 > 60 \text{ kgf/cm}^2 \text{ olduğundan eğilmeye karşı uygundur.}$$

4.6.2. Kayma Tahkiki

$$T_{\max} = 188 \text{ kgf/cm}^2$$

$$S_{\max} = 9800 \text{ cm}^3$$

$$B = 14 \text{ cm}$$

$$I = 100 \cdot 14^3 / 12 = 22866 \text{ cm}^4$$

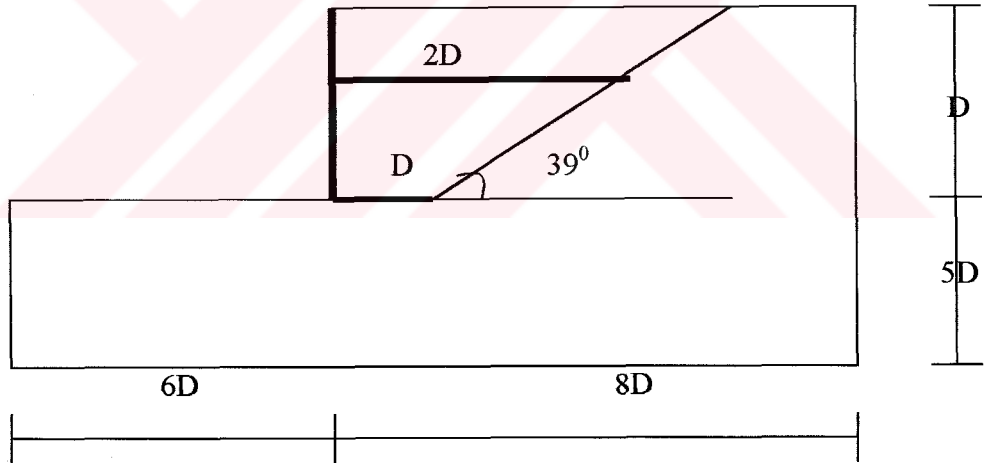
$$\tau_{\text{em}} = T_{\max} \cdot S_x / I \cdot B$$

$$\tau_{\text{em}} = 188 \cdot 9800 / 22866 \cdot 14 = 6 \text{ kgf/cm}^2 \text{ olduğundan kesmeye karşı dayanıklıdır.}$$

5. Sonuç ve Öneriler

5.1. Sonuçlar

- 1- Donatılı zeminlerle ilgili önemli çalışmalar incelendi.
- 2- Donatılı zeminlerde şerit boyu hesabı yapan bir bilgisayar programı geliştirildi.
- 3- Plaxis paket programı tanıtıldı ve bu programda donatılı zemin hesabı yapıldı.
- 4- Plaxis paket programla, geliştirilen bilgisayar programı sonuçları karşılaştırıldı. Bu karşılaştırma sonucunda Şekil 5.1' de görülen geometrik sonuca ulaşıldı.



Şekil 5.1. Donatılı bir duvarda şerit boyları.

5-Duvar yüksekliği 4.5 m' ye kadar şerit sayısı 5 olduğu zaman deplasmanlar makul düzeyde iken daha fazla yüksekliklerde şerit sayısı, şerit düşey mesafesi 1 m' yi geçmeyecek şekilde arttırılmalıdır.

6-En alttaki şerit duvar yüksekliğine eşit olarak yerleştirilecek, daha sonra şerit bitim noktaları yatayla 39^0 açı yapacak şekilde yukarıya doğru yerleştirilmeli ve en üstteki şerit boyu duvar yüksekliğinin iki katı olmalıdır.

7-Şekil 5.1' de görülen geometri duvarın maksimum moment, maksimum kesme kuvveti ve maksimum deplasmanlarını dikkate almak suretiyle çok sayıda analiz sonucunda ortaya çıkmıştır.

5.2. Öneriler

1-Yukarıda yapılan analizlerde Mohr-Coulomb modeli kullanılmıştır. Daha gelişmiş zemin modelleri kullanılarak bu çalışma genişletilebilir.

2-Bu çalışma dinamik olarak modellenip deprem durumundaki davranışları incelenebilir.

3-Trafik yükleri dikkate alınarak analizler yapılabilir.

4-Yer altı su seviyesi durumlarına göre farklı analizler yapılabilir.

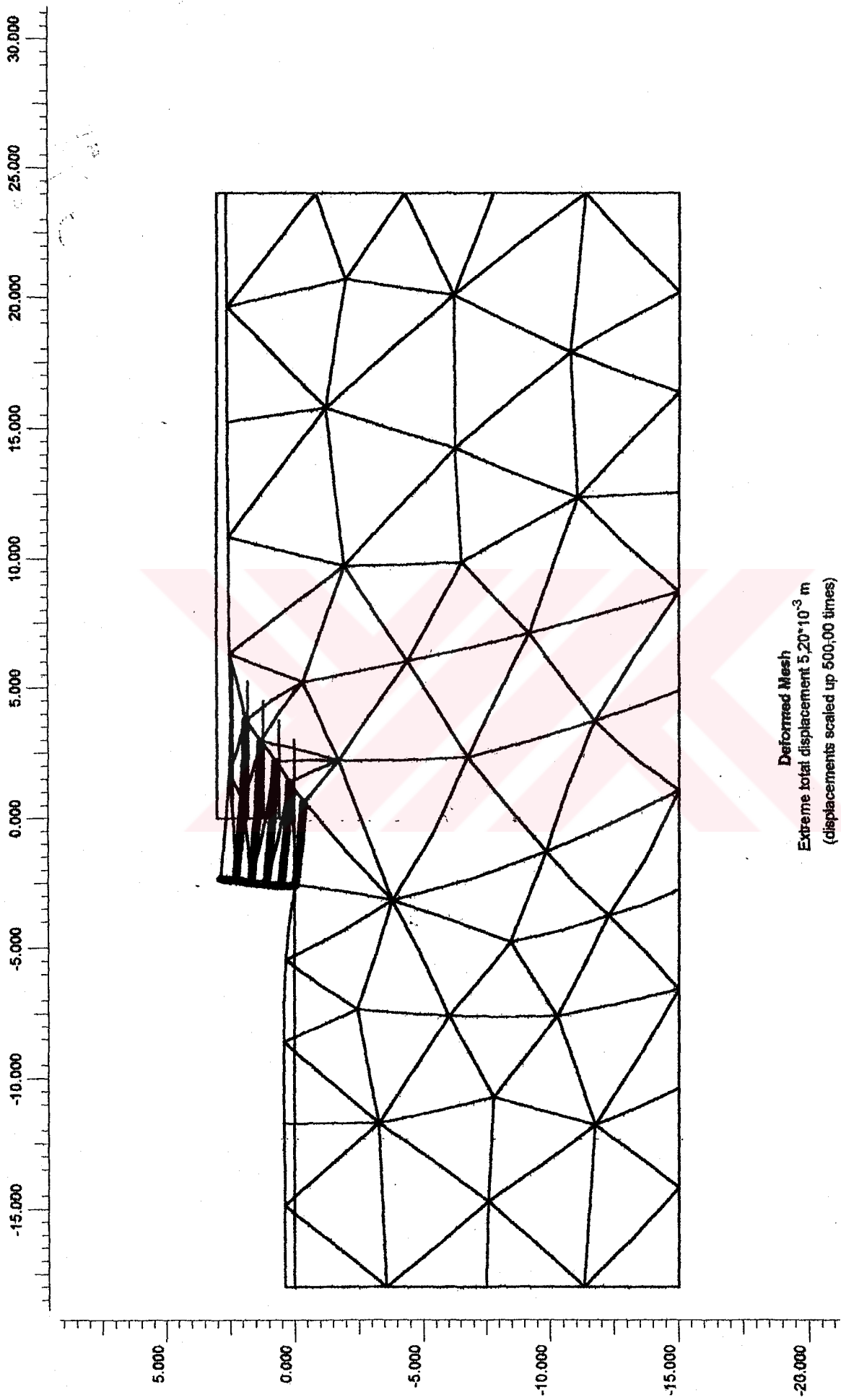
KAYNAKLAR

- ANDERSLAND AND CHATTAK. "Stabilite Interne Des Murs En Terre Armee " Canadian Geotechnical Journal, 1979
- ARENİCZ AND CHOWDHURY. Analysis of staged Construction for a Reinforced Earth Wall, Geotechnical Engineering Congress, 1988
- BENSON.H AND KHIRE.M.V. Reinforcing Sand With Strips of Reclaimed High Density Polyethylene , 1992
- DAS.B.M. Reinforced Earth Structures. Principles of Foundation Engineering, Second Edition.
- GRAY AND AL-REFAI. Behaviour of Fabric –Versus Fiber –Reinforced sand Journal of geotechnical Engineering, 1987
- HOARE, Finite Element System-getting startet, User Manuals , Verification Manuals, Finite Element Library, 1979
- INGOLD.T.S. Reinforced earth, Thomas Telford Ltd. London, 1982
- LAWTON.A.C. Reinforcement of Soils by Multioriented Geosynthatic Inclusions, 1993
- MAHER AND GRAY. Performance of Anizotropik Geosynthetic Reinforced Cohesive soil mass, 1990
- MC GROWN , Exsperimetal Behavior of Polymeric Geogrids in Pullout, 1985
- OHASHI AND GRAY. Behaviour of Fabric –Versus Fiber –Reinforced sand, 1983
- SCHLOSSER.F, AND LONG.N.T. "Comportement de la Terre Armeess Dans Les Ouvrags de Soutenement ", Proceeding of the Fifth European Conferance on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1972
- SHEVBRIDGE AND SITAR. Field behaviour of Instumented Geogrid Soil Reinforced earth wall, 1989
- TAI ."The Reinforced Earth Company" katalogu, 1998
- VERMA AND CHAR. "Recent results, n French Research on Reinforced Earth. Journal of the Construction Division, 1978
- VIDAL,M.H. "The Development and Future of Reinforced Earth" , Symposium on Earth Reinforcement, 1978

ÖZGEÇMİŞ

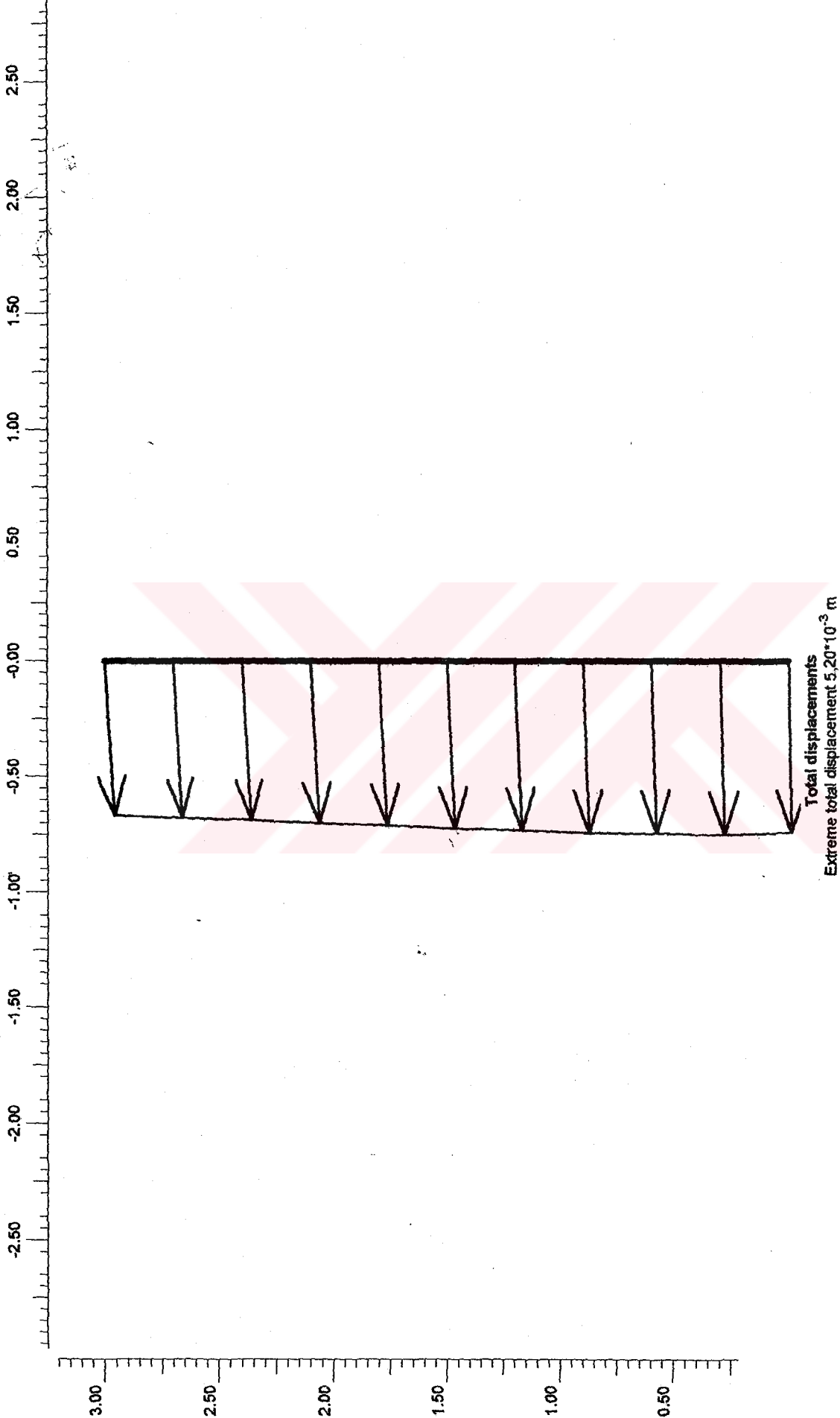
1968 Yılında Hatay'ın İskenderun ilçesinde doğdum.İlk, Orta ve Lise tahsilimi İskenderun'da tamamladım.1990 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesinden İnşaat Mühendisi olarak mezun oldum. Halen Mustafa Kemal Üniversitesi, İskenderun Meslek yüksekokulu, İnşaat Programında Öğretim görevlisi olarak çalışmaktayım.





Deformed Mesh
Extreme total displacement $5,20 \cdot 10^{-3}$ m
(displacements scaled up 500,00 times)

PLAXIS Finite Element Code for Soil and Rock Analyses		Project description	
Project name mhyildirim		Step 9	Date 23.09.01
Project name mhyildirim		User name Cukurova University	



Project description

PLAXIS
Finite Element Code for Soil and Rock Analyses
Version 7.2.9.147

mhyildirim

Project name

mhyildirim

Step

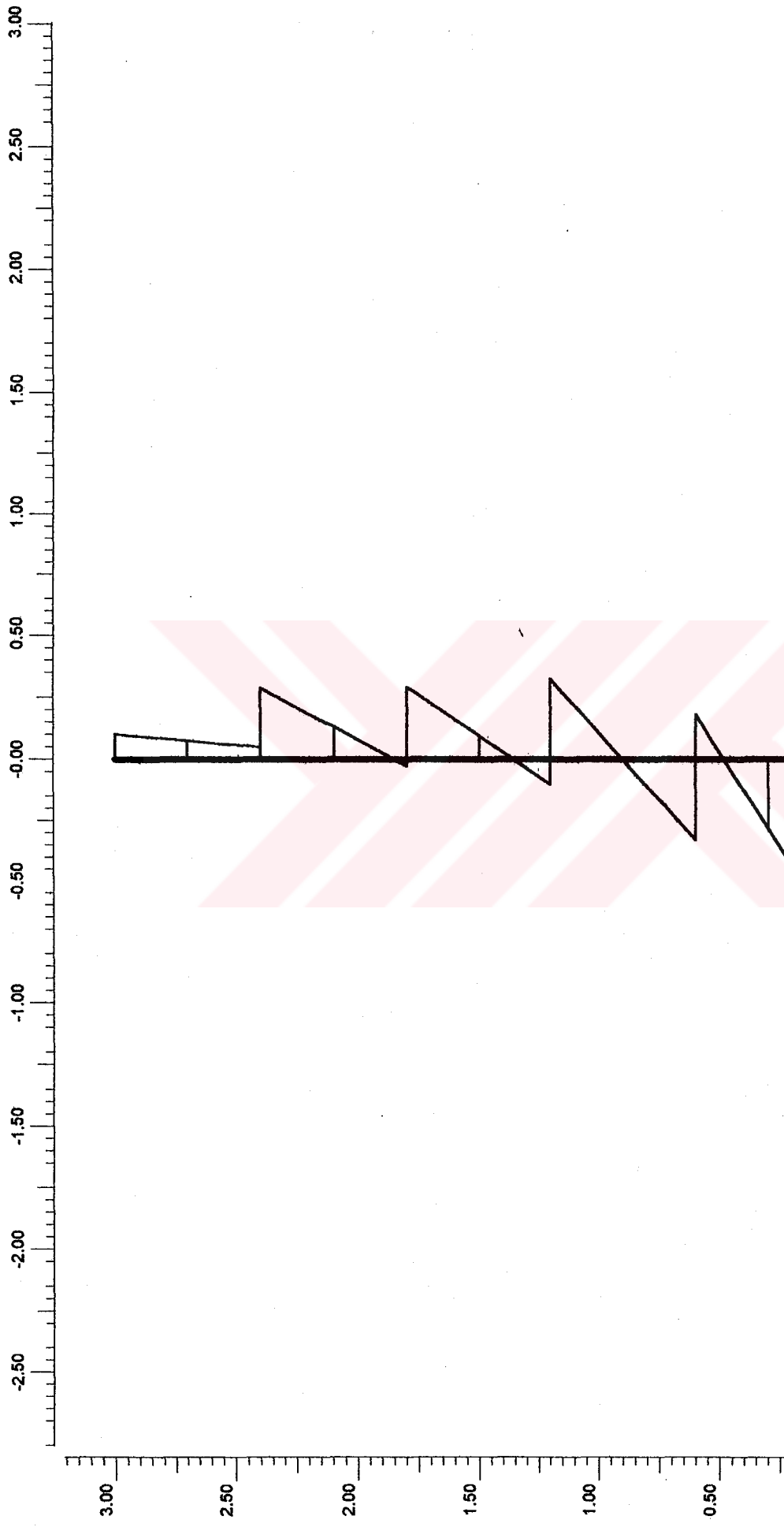
9

Date

23.09.01

User name

Cukurova University



Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Version 7.2.9.147

Project description

Project name

mhyıldırım

Project description

User name

mhyıldırım

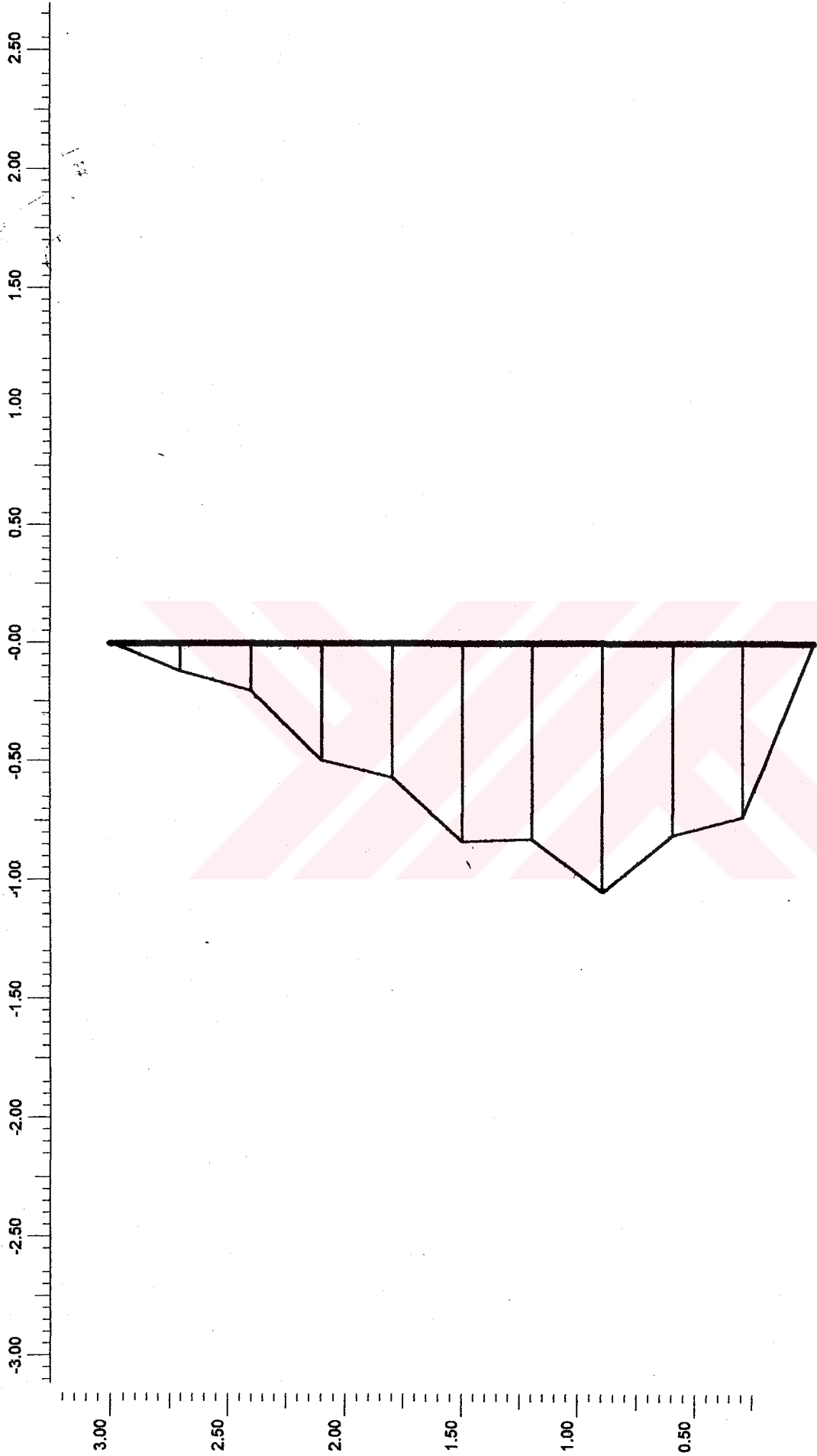
Date

23.09.01

Step

9

Cukurova University



Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Date : 23.09.2001

Project description : mhyildirim

User name : Cukurova University

Project name : mhyildirim

Output : Soil element displacements

Step : 9 Page : 14

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 ⁻³ m]	Uy [10 ⁻³ m]	ΔUx [10 ⁻¹⁸ m]	ΔUy [10 ⁻¹⁸ m]
183	12,802	-11,108	-0,879	0,105	-1,203	2,985
184	15,453	-10,963	-0,668	0,098	-1,000	2,801
185	13,863	-8,663	-1,190	0,053	-1,750	2,528
186	16,364	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
187	17,234	-12,908	-0,280	0,079	0,173	2,108
188	18,273	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
189	16,000	3,000	-1,526	-0,784	-0,264	3,424
190	16,229	1,007	-1,450	-0,604	-0,442	3,174
191	18,000	3,000	-1,133	-0,760	-0,269	3,040
192	19,143	-12,908	-0,198	0,076	0,262	1,229
193	20,182	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
194	22,091	-13,200	-0,066	0,067	0,331	0,559
195	24,000	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
196	24,000	-13,200	0,000	0,067	0,000	1,377

Plaxts - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Date : 23.09.2001

Project description : mhyildirim
 User name : Cukurova University
 Project name : mhyildirim
 Output : Soil element displacements

Step : 9 Page : 13

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 ⁻³ m]	Uy [10 ⁻³ m]	ΔUx [10 ⁻¹⁸ m]	ΔUy [10 ⁻¹⁸ m]
169	12,674	-13,055	-0,468	0,087	0,066	1,447
170	14,455	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
171	11,833	-8,808	-1,443	0,059	-1,283	3,109
172	10,864	-6,507	-2,001	-0,058	-0,258	3,483
173	10,917	-4,111	-2,304	-0,225	-0,489	3,656
174	12,894	-6,362	-1,662	-0,058	-0,624	3,024
175	11,485	0,642	-2,455	-0,648	-0,598	3,779
176	10,971	-1,715	-2,492	-0,433	-0,058	3,617
177	12,948	-3,966	-1,909	-0,224	-0,506	2,781
178	13,714	-1,358	-1,915	-0,435	-0,447	3,435
179	12,000	3,000	-2,354	-0,903	-0,839	3,790
180	14,229	1,007	-1,825	-0,649	-0,480	3,861
181	14,000	3,000	-1,924	-0,841	-0,412	3,740
182	14,583	-13,055	-0,376	0,080	-0,413	1,466

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Date : 23.09.2001

Project description : mhyildirim
 User name : Cukurova University
 Project name : mhyildirim
 Output : Soil element displacements

Step : 9 Page : 11

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 ⁻³ m]	Uy [10 ⁻³ m]	ΔUx [10 ⁻¹⁸ m]	ΔUy [10 ⁻¹⁸ m]
141	5,250	1,800	-4,577	-1,018	-1,385	2,701
142	6,129	0,884	-3,918	-0,731	-0,926	3,096
143	5,625	2,100	-4,513	-1,036	-1,463	2,854
144	6,504	1,184	-3,852	-0,736	-1,022	3,258
145	6,000	2,400	-4,484	-1,036	-1,539	2,998
146	5,000	2,700	-4,550	-1,029	-1,770	2,536
147	4,000	3,000	-4,525	-0,950	-2,055	1,961
148	7,000	2,700	-3,902	-1,078	-1,417	3,258
149	6,000	3,000	-4,324	-1,084	-1,709	2,944
150	8,405	-12,112	-1,026	0,110	-0,003	0,709
151	8,727	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
152	10,764	-13,055	-0,567	0,092	0,075	0,079
153	10,636	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
154	7,811	-6,745	-2,538	-0,066	-0,248	3,390

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Date : 23.09.2001

Project description : mhyildirim
 User name : Cukurova University
 Project name : mhyildirim
 Output : Soil element displacements

Step : 9 Page : 10

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 ⁻³ m]	Uy [10 ⁻³ m]	ΔUx [10 ⁻¹⁸ m]	ΔUy [10 ⁻¹⁸ m]
127	4,728	-13,382	-0,873	0,098	-0,218	0,116
128	6,818	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
129	4,284	-9,233	-2,603	0,014	0,815	2,746
130	4,547	-11,764	-1,617	0,087	0,585	0,912
131	6,637	-13,382	-0,712	0,088	-0,185	0,761
132	6,315	-10,494	-1,825	0,085	0,234	2,993
133	4,154	-4,056	-3,853	-0,322	-0,094	2,811
134	4,022	-6,701	-3,375	-0,129	-0,047	3,375
135	6,052	-7,963	-2,617	-0,019	0,150	3,004
136	5,780	-5,483	-3,217	-0,183	-0,297	3,152
137	4,768	0,195	-4,276	-0,741	-0,847	2,667
138	4,286	-1,410	-4,149	-0,568	-0,175	2,462
139	5,913	-2,838	-3,576	-0,386	-0,003	3,867
140	5,647	-0,721	-3,867	-0,571	-0,551	3,353

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Date : 23.09.2001

Project description : mhyildirim
 User name : Cukurova University
 Project name : mhyildirim
 Output : Soil element displacements

Step : 9 Page : 9

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 ⁻³ m]	Uy [10 ⁻³ m]	ΔUx [10 ⁻¹⁸ m]	ΔUy [10 ⁻¹⁸ m]
113	0,000	2,100	-4,868	-0,251	-1,732	-0,384
114	0,000	1,800	-4,929	-0,241	-1,587	-0,377
115	1,500	2,100	-4,760	-0,578	-1,704	0,520
116	1,500	2,400	-4,704	-0,586	-1,852	0,509
117	0,000	2,400	-4,771	-0,257	-1,876	-0,394
118	2,000	2,700	-4,629	-0,681	-2,005	0,805
119	0,000	3,000	-4,638	-0,267	-2,225	-0,403
120	0,000	2,700	-4,708	-0,264	-2,049	-0,401
121	2,000	3,000	-4,577	-0,684	-2,180	0,799
122	4,125	2,100	-4,616	-0,949	-1,584	2,067
123	3,000	2,400	-4,635	-0,827	-1,787	1,404
124	4,500	2,400	-4,570	-0,992	-1,682	2,277
125	3,500	2,700	-4,574	-0,894	-1,925	1,685
126	4,909	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Date : 23.09.2001

Project description : mhyildirm

User name : Cukurova University

Project name : mhyildirm

Step : 9 Page : 8

Output : Soil element displacements

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 ⁻³ m]	Uy [10 ⁻³ m]	ΔUx [10 ⁻¹⁸ m]	ΔUy [10 ⁻¹⁸ m]
99	-0,777	-3,883	-4,750	0,167	0,088	0,575
100	1,111	-1,942	-4,862	-0,201	-0,318	1,409
101	1,755	-2,647	-4,588	-0,276	-0,016	2,062
102	3,000	0,000	-4,721	-0,743	-0,757	1,624
103	3,643	-0,705	-4,425	-0,662	-0,469	2,046
104	3,375	0,300	-4,715	-0,800	-0,864	1,748
105	3,750	0,600	-4,733	-0,850	-1,019	1,945
106	4,018	-0,405	-4,386	-0,690	-0,588	2,172
107	4,125	0,900	-4,683	-0,902	-1,140	2,146
108	4,393	-0,105	-4,334	-0,718	-0,742	2,437
109	4,500	1,200	-4,662	-0,946	-1,236	2,348
110	2,250	1,500	-4,801	-0,694	-1,420	0,986
111	4,875	1,500	-4,609	-0,985	-1,316	2,524
112	2,625	1,800	-4,736	-0,761	-1,527	1,188

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Date : 23.09.2001

Step : 9 Page : 7

Project description : mhyildirim
 User name : Cukurova University
 Project name : mhyildirim
 Output : Soil element displacements

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 ⁻³ m]	Uy [10 ⁻³ m]	ΔUx [10 ⁻¹⁸ m]	ΔUy [10 ⁻¹⁸ m]
85	0,000	0,900	-5,151	-0,187	-1,280	-0,146
86	1,875	0,900	-4,895	-0,607	-1,188	0,795
87	0,000	1,200	-5,068	-0,212	-1,366	-0,249
88	2,250	1,200	-4,836	-0,683	-1,300	0,993
89	0,000	1,500	-5,020	-0,227	-1,476	-0,319
90	0,770	-12,331	-2,097	0,260	1,277	0,845
91	1,091	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
92	3,000	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
93	2,819	-13,382	-1,089	0,117	0,256	1,141
94	-0,163	-6,772	-4,300	-0,408	0,744	0,530
95	0,450	-9,661	-3,459	-0,361	1,252	1,133
96	2,498	-10,713	-2,411	0,032	1,409	2,658
97	2,236	-8,181	-3,431	-0,182	0,724	2,379
98	1,622	-5,292	-4,241	-0,281	0,088	2,493

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Date : 23.09.2001

Step : 9 Page : 6

Project description : mhyldirnm
 User name : Cukurova University
 Project name : mhyldirnm
 Output : Soil element displacements

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 ⁻³ m]	Uy [10 ⁻³ m]	ΔUx [10 ⁻¹⁸ m]	ΔUy [10 ⁻¹⁸ m]
71	-2,007	-6,145	-3,887	-0,043	0,997	-0,206
72	-5,719	-2,691	-3,212	0,495	0,161	-2,004
73	-4,659	-1,345	-3,544	0,625	-0,313	-1,457
74	-3,248	-3,287	-3,988	0,271	0,297	-0,637
75	-3,600	0,000	-3,719	0,692	-0,950	-0,865
76	-2,189	-1,942	-4,379	0,311	-0,080	-0,151
77	-1,800	0,000	-4,323	0,403	-0,957	0,028
78	-0,389	-1,942	-4,880	-0,236	-0,388	0,419
79	1,500	0,000	-4,969	-0,490	-0,915	0,786
80	0,000	0,000	-5,129	-0,075	-0,953	0,182
81	0,000	0,300	-5,197	-0,123	-1,077	0,064
82	1,875	0,300	-4,913	-0,580	-0,977	0,886
83	1,875	0,600	-4,913	-0,594	-1,076	0,857
84	0,000	0,600	-5,162	-0,160	-1,180	-0,033

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Date : 23.09.2001

Step : 9 Page : 5

Project description : mhyildirim
 User name : Cukurova University
 Project name : mhyildirim
 Output : Soil element displacements

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 ⁻³ m]	Uy [10 ⁻³ m]	ΔUx [10 ⁻¹⁸ m]	ΔUy [10 ⁻¹⁸ m]
57	-5,400	0,000	-3,266	0,821	-0,599	-1,675
58	-2,727	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
59	-2,837	-13,606	-0,935	-0,134	0,594	-0,060
60	-0,818	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
61	-3,092	-10,309	-2,473	-0,134	0,548	-1,535
62	-2,947	-12,211	-1,576	-0,114	0,842	-0,630
63	-0,928	-13,606	-1,245	-0,210	0,788	0,285
64	-1,248	-10,936	-2,610	-0,077	1,301	0,275
65	-4,716	-7,243	-2,943	0,007	1,677	-1,747
66	-6,195	-6,079	-2,754	0,141	1,605	-1,685
67	-5,957	-4,385	-3,025	0,299	0,699	-1,828
68	-3,486	-4,981	-3,675	0,112	0,663	-0,954
69	-3,236	-8,407	-3,059	-0,096	0,921	-2,302
70	-1,393	-9,034	-3,313	-0,188	0,585	-1,105

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Date : 23.09.2001

Step : 9 Page : 4

Project descrip
User name
Project name
Output

tion : mhyldirim
: Cukurova University
: mhyldirim
: Soil element displacements

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 ⁻³ m]	Uy [10 ⁻³ m]	ΔUx [10 ⁻¹⁸ m]	ΔUy [10 ⁻¹⁸ m]
43	- 8,308	-9,004	-1,718	-0,056	1,417	-1,988
44	- 9,906	-7,808	-1,588	0,032	1,184	-1,714
45	-1 0,364	-5,648	-1,726	0,215	0,895	-1,722
46	- 8,051	-6,944	-2,144	0,091	1,557	-2,086
47	- 6,453	-8,139	-2,317	-0,019	1,776	-1,622
48	- 6,711	-10,199	-1,748	-0,129	0,923	-2,219
49	- 4,829	-11,205	-1,747	-0,166	0,887	-2,926
50	- 4,974	-9,303	-2,380	-0,107	0,737	-2,904
51	- 8,509	-4,784	-2,279	0,304	1,119	-2,684
52	-1 0,823	-3,489	-1,752	0,438	0,662	-1,849
53	- 9,011	-1,744	-2,295	0,647	0,381	-2,066
54	- 8,271	-3,090	-2,453	0,492	0,428	-2,435
55	- 7,200	0,000	-2,803	0,857	-0,036	-2,119
56	- 6,459	-1,345	-3,012	0,688	-0,073	-2,177

Plaxls - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Date : 23.09.2001

Project description : mhyildirim

User name : Cukurova University

Project name : mhyildirim

Step : 9 Page : 3

Output : Soil element displacements

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 ⁻³ m]	Uy [10 ⁻³ m]	ΔUx [10 ⁻¹⁸ m]	ΔUy [10 ⁻¹⁸ m]
29	-18,000	0,000	0,000	0,761	0,000	-1,022
30	-18,000	-1,875	0,000	0,561	0,000	-1,097
31	-18,000	-3,750	0,000	0,368	0,000	-1,032
32	-16,200	-1,875	-0,446	0,564	0,082	-0,668
33	-14,400	0,000	-0,920	0,783	0,272	-0,671
34	-12,611	-1,744	-1,351	0,609	0,434	-0,818
35	-12,600	0,000	-1,383	0,803	0,734	-0,976
36	-10,800	0,000	-1,852	0,826	0,739	-1,582
37	-10,811	-1,744	-1,817	0,632	0,495	-1,718
38	-9,000	0,000	-2,323	0,846	0,451	-1,939
39	-6,628	-12,600	-0,962	-0,142	-0,075	-0,930
40	-6,545	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
41	-4,636	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
42	-4,746	-13,606	-0,712	-0,101	0,047	-0,120

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Project description	: mhyildirim	Date	: 23.09.2001
User name	: Cukurova University		
Project name	: mhyildirim		
Output	: Soil element displacements	Step	: 9
		Page	: 2

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 ⁻³ m]	Uy [10 ⁻³ m]	ΔUx [10 ⁻¹⁸ m]	ΔUy [10 ⁻¹⁸ m]
15	-12,900	-9,636	-0,779	-0,069	-0,177	0,026
16	-10,364	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17	-10,901	-13,345	-0,390	-0,098	0,471	0,650
18	-8,455	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19	-8,992	-13,345	-0,510	-0,107	-0,378	0,496
20	-11,439	-11,691	-0,677	-0,118	-0,067	0,837
21	-9,075	-10,945	-1,145	-0,128	-0,027	-1,640
22	-10,672	-9,750	-1,130	-0,079	0,740	0,160
23	-12,133	-7,695	-1,132	0,042	0,253	-0,676
24	-14,361	-7,581	-0,694	0,047	-0,502	-0,646
25	-16,181	-5,666	-0,395	0,194	-0,216	-0,844
26	-12,592	-5,535	-1,204	0,221	0,229	-1,094
27	-14,411	-3,619	-0,855	0,395	0,106	-0,249
28	-16,200	0,000	-0,459	0,766	0,050	-0,721

T.C. YÖKÜKÜLTÜR VE TURİZM BAKANLIĞI
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI

Plaxis - Finite Element Code for Soil and Rock Analyses

Date : 23.09.2001

Step : 9 Page : 1

Project description : mhyldirim

User name : Cukurova University

Project name : mhyldirim

Output : Soil element displacements

Node	X [m]	Y [m]	Ux [10 ⁻³ m]	Uy [10 ⁻³ m]	ΔUx [10 ⁻¹⁸ m]	ΔUy [10 ⁻¹⁸ m]
1	-18,000	-13,125	0,000	-0,091	0,000	-1,164
2	-18,000	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	-16,091	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	-16,091	-13,125	-0,111	-0,090	0,142	-1,432
5	-12,810	-13,345	-0,276	-0,088	0,320	0,480
6	-12,273	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	-14,182	-15,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	-14,719	-11,470	-0,347	-0,109	0,119	-0,852
9	-18,000	-9,375	0,000	-0,052	0,000	-1,397
10	-16,181	-9,416	-0,281	-0,056	-0,428	-1,440
11	-18,000	-11,250	0,000	-0,105	0,000	-2,515
12	-18,000	-7,500	0,000	0,050	0,000	-0,975
13	-16,181	-7,541	-0,345	0,048	-0,190	-1,301
14	-18,000	-5,625	0,000	0,192	0,000	-0,912